

На правах рукописи



ПОЛИКАРПОВ АЛЕКСАНДР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТКАНЕЙ
ИЗ АРАМИДНОЙ ПРЯЖИ**

Специальность 05.19.02 – Технология и первичная обработка текстильных
материалов и сырья

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет имени А.Н.Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» на кафедре Проектирования и художественного оформления текстильных изделий.

Научный руководитель: **Николаев Сергей Дмитриевич**, доктор технических наук, профессор кафедры Проектирования и художественного оформления текстильных изделий ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н.Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»

Официальные оппоненты: **Карева Татьяна Юрьевна**, доктор технических наук, заведующая кафедрой Технологии и проектирования текстильных изделий ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» г. Иваново

Романов Владимир Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры Технологии текстильного производства Камышинского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» г. Камышин

Ведущая организация ООО «ТЕКС-ЦЕНТР», г. Москва

Защита состоится 5 июня 2018 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.144.06, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Садовническая, д.33, стр.1, ауд 156

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» и на сайте университета <http://www.kosygin-rgu.ru/>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2018 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Кирсанова Е.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Технический текстиль сегодня в мире наиболее динамично развивающаяся отрасль среди других направлений развития текстиля. Российский рынок технического текстиля в сравнении с другими товарными группами отрасли наиболее динамичен и прогрессивен. На сегодняшний день предприятия, выпускающие технический текстиль или текстиль специального назначения, как правило, работают достаточно эффективно. Большим спросом пользуются огнезащитные ткани, используемые в различных отраслях промышленности. Это довольно большая группа отраслей – одежда для работников МЧС, текстильные фильтры, работающие при достаточно высоких температурах, одежда для работников горячих цехов. В качестве сырья используются арамидные, стеклянные, кварцевые, базальтовые, углеродные нити. В последние годы возрастает интерес к арамидным тканям. Высокая прочность арамидных нитей позволяет получать необходимые ткани заданной структуры и с заданными свойствами. При изготовлении тканей, конечно, возникают некоторые трудности, связанные с небольшим разрывным удлинением. На наш взгляд, проблему удешевления арамидных тканей возможно решать за счет использования арамидной пряжи, полученной из отходов и других вторичных материалов. Использование отходов в производстве улучшает экологическую обстановку в регионе, где имеются предприятия, работающие с арамидом. Конечно, арамидная пряжа по сравнению с арамидной нитью имеет несколько другие физико – механические показатели. Так, разрывная нагрузка пряжи в 1,5 – 2 раза ниже разрывной нагрузки арамидной нити, но разрывное удлинение арамидной пряжи по сравнению с разрывным удлинением арамидной нити увеличивается на 20-30% - это благоприятно сказывается на технологическом процессе изготовления ткани. Вышеизложенное позволяет сделать вывод об актуальности данной темы.

Цель исследований – разработка метода проектирования и создание новых огнезащитных тканей, отвечающих современным требованиям защитных и функциональных эксплуатационных свойств.

Задачи исследований:

- систематизация огнезащитных тканей;
- исследование свойств отечественных термостойких нитей для изготовления специальной одежды;
- разработка метода проектирования тканей с учетом геометрической и физической нелинейности использованных материалов;
- проектирование новых тканей из арамидной пряжи;
- разработка технологического режима изготовления огнезащитных тканей с учетом их структуры и свойств использованных нитей и прогнозирование напряженности заправки при изготовлении арамидных тканей;
- исследование структуры и свойств тканей из арамидной пряжи;
- установление причинно-следственных связей между параметрами заправки и структуры тканей, физико – механическими свойствами использованных нитей и исследуемых тканей, обрывностью нитей основы и утка на ткацком станке.

Основные методы исследований. В основу работы были положены экспериментальные и теоретические исследования в области строения и проектирования тканей.

При аналитических исследованиях использовались геометрический метод проектирования однослойных тканей, линейная теория вязкоупругости, теория прочности, дифференциальное исчисление.

При проведении экспериментальных исследований использованы современные методы, использованы методы математической статистики.

В работе использованы известные методы определения свойств и параметров структуры пряжи и ткани.

Научная новизна диссертационной работы заключается в:

- разработке метода проектирования тканей из арамидной пряжи по заданным параметрам структуры и прочностным показателям с учетом реальных свойств арамидной пряжи и технологии изготовления ткани;
- прогнозировании натяжения и деформации арамидной пряжи на ткацком станке;
- оценке повреждаемости нитей на ткацком станке, что позволяет вырабатывать огнезащитные ткани при определенных параметрах на основе критерия Москвитина;
- сравнительном анализе свойств арамидных нитей и пряжи и предсказании их поведения на ткацком станке;
- зависимости технологических параметров, свойств и структуры арамидных тканей, используя теорию информации.

Практическая значимость заключается в том, что:

- предложен метод проектирования огнезащитных тканей, учитывающий параметры структуры и свойства используемых нитей;
- предложены новые структуры огнезащитных тканей, отвечающие предъявляемым требованиям;
- получена статистика данных, позволяющая прогнозировать структуру и свойства огнезащитных тканей;
- предложены современные методы научного исследования – использование современных информационных технологий при анализе структуры тканей;
- предложены оптимальные технологические режимы изготовления огнезащитных тканей.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на:

- заседаниях кафедры ПиХОТИ РГУ имени А.Н.Косыгина (2016, 2017 гг);
- международном научном симпозиуме «Первые Косыгинские чтения», РГУ им. А.Н.Косыгина, октябрь 2017 года;
- международных научно-технических конференциях «ИННОВАЦИИ-2015», «ИННОВАЦИИ-2016», Москва;
- международных научно-технических конференциях в г.Витебск – «Моделирование в технике и экономике» (2016 г), XLVIII Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной 50-летию

- Витебского государственного технологического университета (2015 г), «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности» (2015 г);
- международной научно-технической конференции "ЛЕН-2016", Кострома;
 - X Всероссийской научно-практической конференции, г. Камышин (2015 г);
 - внутривузовской научной конференции молодых ученых МГУДТ «МИР-2015», Москва;
 - межвузовской научно-технической конференции молодых ученых и студентов Костромского государственного технологического университета (2016 г).

Личный вклад автора состоит в определении цели и задач исследования, написании аналитического обзора, проведении аналитических расчетов, участии в научных экспериментальных исследованиях выработки тканей, в обработке и анализе экспериментальных данных, формулировании выводов и рекомендаций по работе, написании диссертации.

Публикации. По работе имеется 20 публикаций, из них 5 – в журналах, рекомендованных ВАК. Материал главы 2 опубликован в работах 2-4,7,10, 17, 20, материал главы 3 – в работах 12, 14, материал главы 4 – в работах 1, 5,6,8,9, 11, 13, 15, 16, 19, материал главы 5 – в работе 18.

Структура и объём работы. Работа изложена на 141 страницах, состоит из введения, 5 глав с выводами, основных результатов, выводов и рекомендаций по работе, списка используемой литературы из 176 источников, приложений, содержит 20 рисунков, 41 таблицу.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы диссертации, обозначены объекты исследования, определена цель и сформулированы задачи исследований, а также показана научная новизна и практическая значимость работы.

Глава 1 посвящена анализу литературных источников по теме исследования. Аналитический обзор литературы проводился по следующим направлениям: работы по проектированию тканей; работы по огнезащитным тканям; работы по исследованию структуры и свойств тканей специального назначения; работы по оценке напряженности заправки ткацкого станка.

Наибольший вклад в решение проблем, возникающих в области технического текстиля (проектирования тканей, исследование их структуры и свойств, прогнозирование технологии), внесли многие ведущие ученые: Н.Г.Новиков, В.А.Гордеев, Ф.М.Розанов, П.В.Власов, А.А.Мартынова, В.П.Щербаков, С.Д.Николаев, С.С. Юхин, А.Н.Могильный, Б.М.Примаченко, Е.П.Лаврентьева, Н.И.Константинова, Р.М.Малафеев, Э.А.Оников, П.Т.Букаев, В.М.Милашюс, Г.Г.Сокова, А.Б.Брут-Бруляко, Т.Ю.Карева, Ю.Ф.Ерохин, Г.В.Степанов, В.С.Башметов, И.Н.Панин, С.В.Малецкая, М.В.Назарова, В.Н.Васильченко, Я.Шослвнд, С.Носек, В.Моравец, В.Прашил, Г.Хольштайн, Й.Люненшлосс и многие другие.

В нашей работе использованы термостойкие волокна. Исследованы ткани, полученные из арамидной пряжи на основе регенерированных волокон, что резко снижает себестоимость тканей. Эффективность использования данных тканей подтверждена исследованиями Андрея И.Слугина и Алексея И.Слугина.

Анализ литературных источников по теме исследования позволил выявить состояние вопроса по технологии изготовления арамидных тканей, их ассортименту и областям применения, обосновать актуальность и экономическую эффективность использования арамидной пряжи из вторичных материалов.

Глава 2 посвящена разработке метода проектирования тканей из арамидной пряжи. Специальные свойства, которые необходимы для защитной одежды из этих тканей, обеспечиваются выбором сырья – арамида. Для нас – технологов, необходимо спроектировать ткани, которые обеспечивали бы заданные вес изделия (поверхностная плотность ткани), структуру (порядок фазы строения ткани), свойства (прочностные показатели).

В табл. 1 представлены характеристики использованной арамидной пряжи.

Таблица 1 - Характеристика арамидной пряжи

Наименование показателя	Значение показателя
Линейная плотность, текс	30x2; 60x2; 83,3x2
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	40-45
Удлинение при разрыве, %	3,5
Кислородный индекс, %	33-36
Равновесное влагосодержание, %	3,5-5
Длина резки волокна, мм	35
Температура эксплуатации, °С, не более	250
Потеря массы при температуре 400°С в течение 30 минут, %, не более	7

Нами предложен новый метод проектирования тканей по заданным поверхностной плотности, порядку фазы строения и разрывным нагрузкам тканей в направлении основы и утка с учетом технологии их изготовления на ткацком станке.

При расчете поверхностной плотности использованы известные зависимости:

$$M = \frac{P_o T_o}{100} (1 + 0,01a_o) + \frac{P_y T_y}{100} (1 + 0,01a_y)$$

где P_o, P_y - плотности ткани по основе и по утку соответственно, нит/дм;
 T_o, T_y - линейные плотности ткани по основе и по утку соответственно, текс;
 a_o, a_y - уработки основных и уточных нитей, соответственно, %.

Порядок фазы строения рассчитывался по формулам линейной теории изгиба:

$$K = \frac{P_o^3 E_y I_y}{P_y^3 E_o I_o}$$

где E_o, E_y - текущие модули упругости основных и уточных нитей соответственно, Мпа; I_o, I_y - моменты инерции сечений нитей основы и утка соответственно, мм².

Порядок фазы строения ткани через отношение высот волн изгиба определяется по следующей формуле:

$$PFS = (9K + 1)/(K + 1)$$

При расчете взяты значения текущих модулей упругости нитей, которые значительно меньше мгновенных, определенных на приборах. Вязкоупругие параметры пряжи обеспечивают более комфортные условия поведения на ткацком станке по сравнению с нитями. Моменты инерции сечений нитей определялись с учетом реальных эллипсообразных форм нитей основы и утка.

При расчете разрывных нагрузок полосок тканей учитывалось уменьшение разрывной нагрузки за счет возникших повреждений нитей в процессе ткачества и увеличения нагрузки за счет переплетения с противоположной системой. Получены модели, позволяющие рассчитать разрывные нагрузки полосок ткани с учетом плотности ткани и линейной плотности противоположной системы нитей.

Разрывная нагрузка полоски ткани по направлению основы и утка равны:

$$R_{tk-o} = R_o P_o K_{1o} K_{2o} / 2; \quad R_{tk-y} = R_y P_y K_{1y} K_{2y} / 2$$

где R_o, R_y - относительная разрывная нагрузка нитей основы и утка соответственно, сН/текс; K_{1o}, K_{1y} - эмпирические коэффициенты уменьшения разрывной нагрузки нитей, вынутых из тканей по сравнению с нитями до ткачества соответственно для основы и утка, определяются экспериментально:

$$K_{1o} = 1 - AP_y T_y \quad K_{1y} = 1 - AP_o T_o$$

где K_{2o}, K_{2y} - коэффициенты, зависящие от плотности ткани и линейной плотности противоположной системы нитей:

$$K_{2o} = A_2 P_y T_y + 1; \quad K_{2y} = B_2 P_o T_o + 1;$$

где A, B - эмпирические коэффициенты, определяемые экспериментально.

Приведенные выше формулы справедливы для однослойных тканей полотняного переплетения. В работе получены уравнения для однослойных тканей с различной длиной перекрытия основных и уточных нитей. При расчете коэффициентов использованы статистические данные диссертационных исследований, проведенные ранее на кафедре. Значения коэффициентов приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Значения эмпирических коэффициентов

Коэффициенты	Отношение раппорта ткани к количеству пересечений нитей основы и утка в раппорте переплетения			
	1=2:2	1,5=3:2	2=4:2	3=6:2
$K_{1o} \times 10^{-5}$	1,210	1,139	1,071	1,003
$K_{1y} \times 10^{-5}$	1,075	1,042	0,990	0,946
$K_{2o} \times 10^{-5}$	1,528	1,445	1,436	1,066
$K_{2y} \times 10^{-5}$	1,474	1,433	1,242	1,059

Значения вязкоупругих параметров, определенных по разработанному на кафедре методу и используемых при расчете прочностных показателей, приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Значения вязкоупругих параметров

Линейная плотность пряжи, текс	Вязкоупругие параметры			Модуль упругости E, кг/мм ²
	A	β	α	
30x2 текс	0,0226	0,600	0,293	1749
60x2 текс	0,0206	0,492	0,260	1755
83,3x2 текс	0,0222	0,585	0,288	1750

По разработанному методу спроектировано 14 тканей, характеристики которых представлены в табл. 4.

Таблица 4 - Характеристики спроектированных тканей

Плотности ткани, нит/дм		Линейная плотность нитей, текс		Поверхностная плотность ткани, г/м ²	Переплетение ткани	Порядок фазы строения ткани	Прочность полоски ткани, Н	
По основе	По утку	основы	утка				По основе	По утку
140	110	83,3x2	83,3x2	456	полотно	5,7	4950	4770
138	104	83,3x2	83,3x2	432	саржа 3/1	5,9	4863	4678
170	200	30x2	30x2	235	полотно	5,1	2780	2800
95	95	30x2	30x2	125	полотно	5,0	1280	1180
95	95	30x2	30x2	120	саржа 1/2	5,0	1270	1120
150	115	60x2	60x2	334	саржа2/2	5,5	2800	2680
144	84	60x2	60x2	295	полотно	7,1	4757	2810
144	118	60x2	60x2	330	рогожка 2/2	6,3	4344	3510
149	116	60x2	60x2	327	неправильный атлас	6,5	4870	3840
180	180	60x2	60x2	467	полотно	5,0	3200	3160
180	160	60x2	60x2	432	полотно	5,4	3300	3100
200	150	30x2	60x2	355	полотно	7,5	2160	1870
200	180	30x2	30x2	238	полотно	5,5	1380	1300
200	200	30x2	30x2	265	полотно	5,0	1400	1390

Первые девять тканей по своим показателям похожи на ткани, исследованные в ранее проведенных работах на кафедре. Показатели структуры и свойств этих тканей позволяют сделать вывод о точности предложенного метода проектирования.

Итак, во второй главе:

- разработан новый метод проектирования огнезащитных тканей из арамидной пряжи, полученной из регенерированных отходов, по заданным порядку фазы строения, поверхностной плотности и прочностным показателям;
- предложен новый метод определения текущего модуля упругости нитей основы и утка в процессе формирования элемента ткани, учитывающие реальные размеры сечений нитей, вязкоупругую природу арамидной пряжи;
- усовершенствован метод расчета прочностных показателей полосок тканей, учитывающий порядок фазы строения тканей, соотношение линейных плотно-

стей ткани по основе и по утку, соотношение линейных плотностей основных и уточных нитей, вязкоупругую природу используемых нитей;

- предложен алгоритм расчета при проектировании новых тканей из арамидной пряжи с использованием современных информационных технологий;
- спроектированы новые ткани из арамидной пряжи. Проведен сравнительный анализ спроектированных тканей с уже вырабатываемыми тканями. Показана достоверность предлагаемого метода расчета.

Третья глава посвящена теоретическим исследованиям.

При анализе напряженно-деформированного состояния нитей основы за один оборот главного вала и по глубине заправки и утка за один оборот главного вала использована линейная теория вязкоупругости. При анализе напряженности заправки использована теория накопления повреждений.

В результате проведения теоретических исследований:

- произведен расчет параметров напряженно-деформированного состояния нитей основы за один оборот главного вала, который показал, что рост деформации нитей основы опережает рост натяжения нитей, что свидетельствует о возникновении в арамидной пряже обратимых деформаций. Об отсутствии необратимых деформаций свидетельствуют небольшие коэффициенты повреждаемости нитей в процессе ткачества;
- произведен расчет параметров напряженно-деформированного состояния нитей основы по глубине заправки, что позволило рассчитать параметры в процессе фронтального прибоя уточины к опушке ткани, в зоне формирования ткани, что в дальнейшем можно использовать при расчете структуры тканей из арамидной пряжи;
- произведен расчет параметров напряженно-деформированного состояния нитей утка в процессе прокладывания его в зеве. Установлен более быстрый рост деформаций по сравнению с ростом натяжения нитей. Это обуславливает снижение текущего модуля упругости уточных нитей, который можно рассчитать, что необходимо для прогнозирования структур спроектированных тканей;
- получены параметры долговечности арамидной пряжи различной линейной плотности, которые необходимы для оценки напряженности заправок ткацких станков;
- на основе критерия длительной прочности В.В.Москвитина произведен расчет коэффициента повреждаемости нитей. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что все спроектированные ткани возможно выработать на отечественном ткацком станке СТБ;
- использование при расчетах теории наследственной вязкоупругости позволяет получить реальные параметры напряженно-деформированного состояния нитей основы и утка, которые необходимы для прогнозирования структур вырабатываемых тканей и оценки напряженности заправок ткацких станков.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям. Произведено исследование десяти тканей, их характеристика представлена в табл. 5.

Таблица 5 - Характеристика тканей

Линейная плотность нитей		Плотность ткани, нит/дм		Переплетение	Поверхностная плотность, г/м ²
основы	утка	по основе	по утку		
83x2	83x2	140	110	полотно	456
83x2	83x2	138	104	саржа 3/1	432
60x2	60x2	150	115	саржа 1/2	334
60x2	60x2	144	84	полотно	295
30x2	30x2	170	200	полотно	235
60x2	60x2	180	180	полотно	467
60x2	60x2	180	160	полотно	432
30x2	60x2	200	150	полотно	355
30x2	30x2	200	180	полотно	238
30x2	30x2	200	200	полотно	265

Анализ полученных результатов позволил получить следующие положения:

- получена статистика данных натяжения основных и уточных нитей при изготовлении тканей из арамидной пряжи различной линейной плотности на станках СТБ, которая позволяет прогнозировать напряженно-деформированное состояние нитей и управлять технологическим процессом ткачества;
- заправочное натяжение основных нитей при изготовлении тканей из арамидной пряжи составляет 2-2,5% от разрывной нагрузки нитей, что значительно меньше рекомендаций, указанных в учебной литературе по ткачеству;
- натяжение уточной нити при прокладывании её на бесчелночных ткацких станках СТБ соизмеримо с натяжением основных нитей;
- при использовании бобин крестовой намотки с удельной плотностью намотки 0,5 г/см³ наблюдается большая неравномерность натяжения утка при его прокладывании, что отрицательно сказывается на повышении скоростного режима оборудования. Для снижения неравномерности натяжения утка целесообразно использовать цилиндрические бобины сомкнутой намотки с постоянным углом сдвига витков и удельной плотностью намотки до 0,8 г/см³;
- значения параметров структуры тканей из арамидной пряжи, полученные экспериментально, при использовании современных информационных технологий, подтверждают правильность выбранных моделей строения однослойных тканей;
- получена статистика данных по исследованию структуры тканей из арамидной пряжи различной линейной плотности, которая позволяет разрабатывать модели строения и прогнозировать структуру тканей рационального строения. Получена хорошая сходимость расчетных и экспериментальных данных;
- определены основные физико-механические свойства тканей из арамидной пряжи. Их значения отвечают требованиям, предъявляемым к огнезащитным тканям для специальной одежды;
- получена статистика прочностных показателей тканей из арамидной пряжи, что позволяет на стадии проектирования тканей прогнозировать их свойства.

Пятая глава посвящена определению причинно-следственных связей между свойствами использованных нитей и полученных тканей, параметрами заправ-

ки и структуры тканей, технологическими параметрами их изготовления на ткацком станке.

Использование нами дорогостоящего арамидного сырья требует использования новых методов и средств экспериментального исследования.

Одним из эффективных методов, на наш взгляд, является использование причинно-следственной теории информации. Во-первых, она позволяет проводить исследования по выявлению влияния большого количества факторов, воздействующих на функцию цели. Количество исследуемых факторов здесь практически неограниченно. Во вторых, при исследовании не надо устанавливать значения факторов на том или ином уровне, как это делается при использовании практически всех методов планирования и анализа эксперимента. В-третьих, исследуемые факторы имеют различную размерность. В четвертых, эта теория позволяет дать количественную оценку интенсивности прямых и косвенных причинных влияний тех или иных факторов в процессе.

Энтропия распределения вероятностей для одномерной случайной величины определяется по формуле:

$$H_i = \sum_1^k P(X_{k_i}) \log_2 P(X_{k_i}) ;$$

где $P(X_{k_i})$ – вероятность состояний случайной величины X_{k_i} .

Информации между i -м и j -м факторами определяется по формуле:

$$I_{ij} = \sum_1^{k,r} P(X_{k_i}, X_{r_j}) \log_2 \frac{P(X_{k_i}, X_{r_j})}{P(X_{k_i}) P(X_{r_j})} ;$$

где $P(X_{r_j})$ – вероятность состояний случайной величины X_{r_j} ; $P(X_{k_i}, X_{r_j})$ – вероятность состояний случайных величин X_{k_i} и X_{r_j} .

Для функционалов энтропии и информации справедливо следующее равенство:

$$\Gamma_{ij} = I_{ij} / H_i ;$$

где Γ_{ij} – коэффициент причинного влияния j -го фактора на i -й.

В нашем исследовании тканей из арамидной пряжи использован 21 фактор: X_1 - линейная плотность основы, текс; X_2 - линейная плотность утка, текс; X_3 - плотность ткани по основе, нит/дм; X_4 - плотность ткани по утку, нит/дм; X_5 - разрывная нагрузка основы, Н; X_6 - разрывное удлинение основы, %; X_7 - разрывная нагрузка утка, Н; X_8 - разрывное удлинение утка, %; X_9 - выносливость к многократным нагрузкам основы, циклов; X_{10} - стойкость нитей основы к истиранию, циклов; X_{11} - поверхностная плотность ткани, г/м²; X_{12} - порядок фазы строения ткани; X_{13} - заправочное натяжение основы, сН; X_{14} - величина угла заступа, град; X_{15} - положение скала по вертикали, мм; X_{16} - разрывная нагрузка ткани, Н; X_{17} - разрывное удлинение ткани по основе, %; X_{18} - разрывная нагрузка ткани по утку, Н; X_{19} - разрывное удлинение ткани по утку, %; X_{20} - обрывность основы, обр/м; X_{21} - обрывность утка, обр/м.

Ориентированный граф причинно-следственных связей дан на рис. 1.

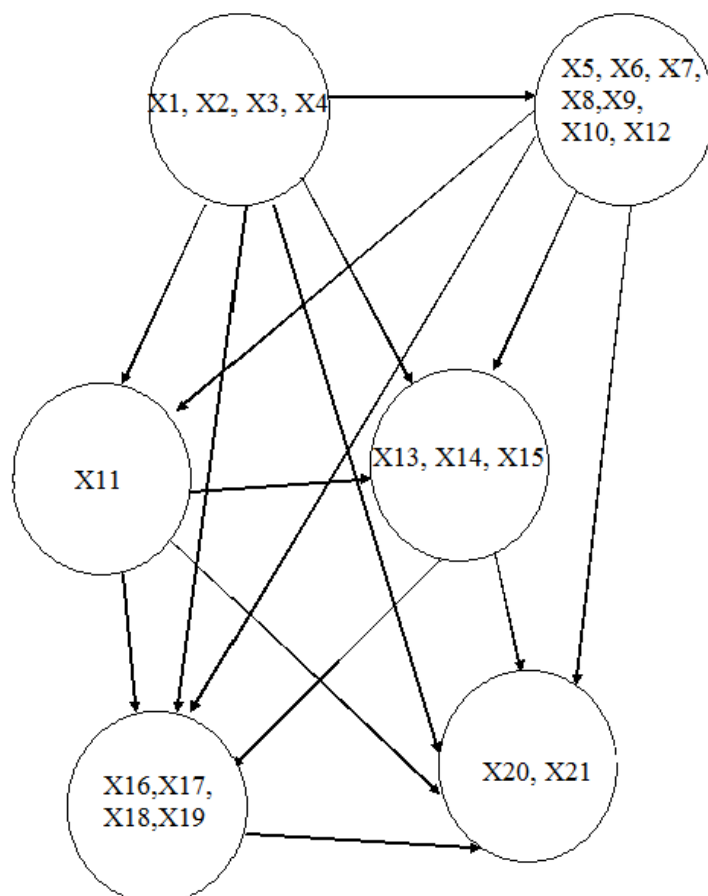


Рисунок 1 - Ориентированный граф причинно-следственных связей

Анализ представленного графа позволяет сделать следующие выводы:

- линейная плотность нитей основы и утка (X_1 и X_2) является причиной выбора плотностей ткани по основе и по утку для получения тканей заданного строения (X_3 и X_4);
- параметры заправки ткани (линейные плотности ткани по основе X_1 и по утку X_2 и плотности ткани по основе X_3 и по утку X_4) определяют структуру ткани порядок фазы строения X_{12} , а она определяет уработку основных и уточных нитей, размеры сечений нитей основы и утка) и выбор нитей, обладающих определенными свойствами (полуцикловые характеристики основы X_5 и X_6 , утка X_7 и X_8 , выносливость к многократным нагрузкам X_9 и стойкость нитей к истиранию X_{10});
- параметры заправки тканей, параметры структуры тканей, свойства используемых нитей определяют поверхностную плотность ткани X_{11} ;
- перечисленные в предыдущем абзаце факторы X_1 - X_{12} предопределяют установку тех или иных технологических параметров (заправочное натяжение основы X_{13} , величину угла заступа X_{14} , положение скала по вертикали X_{15});
- факторы X_1 - X_{15} в конечном итоге определяют физико-механические свойства тканей: полуцикловые характеристики тканей вдоль основы (X_{16} - X_{17}) и полуцикловые характеристики ткани вдоль утка (X_{18} - X_{19});

- факторы X_1 - X_{19} определяют напряженность заправки ткацкого станка, обрывность нитей основы X_{20} и утка X_{21} на ткацком станке, производительность ткацкого станка и экономические характеристики.

Парные коэффициенты Γ_{ij} не могут служить мерой истинной тесноты связи между факторами. В качестве такой меры могут использоваться частные коэффициенты причинного влияния g_{ij} , причем $\sum \Gamma_{ij} \leq \sum g_{ij}$. Разность $\Gamma_{ij} - g_{ij}$ может служить оценкой косвенного причинного влияния X_j на X_i . Частные коэффициенты причинного влияния не равны парным. Для определения частных коэффициентов причинного влияния необходимо решить транспортную задачу. При четырех факторах надо решить 6 уравнений с 6 неизвестными, для 5 факторов – 10, для 6-15.

Вид этих уравнений при исследовании 6 факторов имеет вид:

$$\Gamma_{12}=g_{12};$$

$$\Gamma_{13}=g_{13}+g_{12}g_{23};$$

$$\Gamma_{14}=g_{14}+g_{12}g_{24}+g_{13}g_{34}+g_{12}g_{23}g_{34};$$

$$\Gamma_{15}=g_{15}+g_{12}g_{25}+g_{13}g_{35}+g_{14}g_{45}+g_{12}g_{23}g_{35}+g_{12}g_{24}g_{45}+g_{23}g_{34}g_{45}$$

$$\Gamma_{16}=g_{16}+g_{12}g_{26}+g_{13}g_{36}+g_{14}g_{46}+g_{15}g_{56}+g_{12}g_{23}g_{36}+g_{12}g_{24}g_{46}+g_{12}g_{25}g_{56}+g_{13}g_{34}g_{46}+g_{13}g_{35}g_{56}+g_{14}g_{45}g_{56}$$

$$\Gamma_{23}=g_{23};$$

$$\Gamma_{24}=g_{24}+g_{23}g_{34};$$

$$\Gamma_{25}=g_{25}+g_{23}g_{35}+g_{24}g_{45}+g_{23}g_{34}g_{45};$$

$$\Gamma_{26}=g_{26}+g_{23}g_{36}+g_{24}g_{46}+g_{25}g_{56}+g_{23}g_{34}g_{46}+g_{23}g_{35}g_{56}+g_{34}g_{45}g_{56}$$

$$\Gamma_{34}=g_{34};$$

$$\Gamma_{35}=g_{35}+g_{34}g_{45};$$

$$\Gamma_{36}=g_{36}+g_{34}g_{46}+g_{35}g_{56}+g_{34}g_{45}g_{56};$$

$$\Gamma_{45}=g_{45};$$

$$\Gamma_{46}=g_{46}+g_{45}g_{56};$$

$$\Gamma_{46}=g_{46};$$

Решены 6 практических задач, которые позволяют сделать следующие выводы:

- используя бинарную причинно-следственную теорию информацию установлены причинно-следственные связи между свойствами используемых нитей и исследованных тканей, параметрами заправки и структуры тканей, обрывностью нитей на ткацком станке при изготовлении материалов из параарамидной пряжи, полученной из вторичных материалов;
- установлена направленность причинно-следственных связей при изготовлении тканей из параарамидной пряжи: параметры заправки тканей - свойства используемых нитей – параметры структуры тканей – поверхностная плотность тканей – физико-механические свойства тканей – обрывность нитей основы и утка;
- определены эффекты сопутствия и влияния друг на друга отдельных факторов, что позволило получить более достоверную статистику данных;

- идентификация факторов позволила установить, что наибольшее влияние на другие факторы из технологических параметров оказывает заправочное натяжение нитей основы;
- влияние исследованных факторов на обрывность нитей основы и утка не такое большое, как при изготовлении массового ассортимента тканей, но, тем не менее, наибольшее влияние на обрывность основы, как и для обычных тканей, оказывает выносливость нитей к многократному растяжению и стойкость нитей к истиранию, а на обрывность утка – полуцикловые характеристики нитей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Определены область применения тканей из арамидной пряжи, требования, предъявляемые к огнезащитным тканям для специальной одежды по поверхностной плотности материала, его структуры и прочностным показателям.

2. Показана применимость арамидной пряжи для получения тканей, несмотря на то, что по сравнению с арамидными нитями пряжа имеет разрывную нагрузку в 2 – 3 раза меньше, а разрывное удлинение на 30-50% выше, что обеспечивает получение текстильных материалов с заданными свойствами. Ощутима экономическая эффективность по стоимости - арамидная пряжа в 5-6 раз дешевле арамидных нитей.

3. Разработан новый метод проектирования тканей из арамидной пряжи по нескольким параметрам на основе использования современных информационных технологий с учетом реальных свойств нитей и технологии изготовления тканей.

4. Получены усовершенствованные математические модели для расчета разрывной нагрузки тканей, показывающие степень уменьшения её за счет повреждения нитей в ткачестве и увеличения за счет соединения нитей в ткань, что позволяет прогнозировать заданные свойства арамидных тканей.

5. На аналитическом уровне показана возможность управления структурой ткани, взаимным расположением нитей основы и утка друг относительно друга, за счет использования в основе и утке арамидной пряжи различной линейной плотности.

6. Спроектированы новые ткани из арамидной пряжи, полученной из регенерированных отходов, удовлетворяющие предъявляемым по структуре и свойствам требованиям.

7. Даны рекомендации по стабилизации технологического процесса ткачества арамидных тканей из регенерированной пряжи, Определено, что заправочное натяжение нитей основы находится в пределах 2-2,5% от разрывной нагрузки нитей, а натяжение утка соизмеримо с натяжением основы.

8. Теоретически при помощи критерия Москвитина показана возможность изготовления тканей из дорогостоящего арамидного сырья, что впоследствии подтверждено экспериментальными исследованиями.

9. Экспериментальные исследования технологии изготовления, структуры и свойств тканей из арамидной пряжи подтвердили теоретические расчеты и гипотезы, а полученная статистика данных позволяет в дальнейшем использовать ее при проектировании новых тканей и осуществлять прогнозирование технологии, структуры и свойств новых текстильных материалов.

10. Установлена причинно-следственная связь между свойствами арамидной пряжи, параметрами структуры и свойствами тканей и технологическими параметрами.

11. Определена статистическая неопределенность исследуемых факторов на основе расчета энтропии и построены ориентированные графы причинно-следственных связей, которые позволяют выявить факторы (причины), в наибольшей степени влияющие на функцию цели (следствия) на основе расчета информации и коэффициентов причинного влияния, что позволило идентифицировать исследуемые факторы, устранить эффекты сопутствия, использовать любую статистику экспериментальных данных. Определена цепочка причинно-следственных связей для выбранных и исследуемых тканей.

12. Полученные результаты, экспериментальные методы, средства исследования и теоретические модели используется в промышленности и учебном процессе. Об этом свидетельствуют полученные акты об апробации результатов исследования.

**Материалы исследований опубликованы в следующих работах:
статьи в журналах, рекомендованных ВАК:**

1. С.Д.Николаев, О.В.Кашеев, А.В.Поликарпов, Р.Е.Мастраков. Определение параметров строения ткани по ее микросрезам // Дизайн и технологии, 2015. №49, с. 80-84.

2. Поликарпов А.В., Николаев С.Д. Требования к огнезащитным тканям. // Вестник технологического университета, 2016, т.19, №20, с.87-90.

3. С.Д.Николаев, А.В.Поликарпов, Е.В.Евсюкова, О.В.Ковалева, И.В. Рыбаулина. Проектирование тканей специального назначения по ее поверхностной плотности и порядку фазы строения // Дизайн и технологии, 2016, №55, с. 53-60.

4. Поликарпов А.В., Николаев С.Д. Разработка новой ткани специального назначения по ее поверхностной плотности и порядку фазы строения // Известия вузов. Технология легкой промышленности, 2017, с.47-50.

5. Панин И.Н., Николаев С.Д., Кашеев О.В., Николаева Н.А., Поликарпов А.В. Условия формирования мотальных паковок сомкнутой структуры. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2017 г., №1(367), с.129-133.

публикации в других изданиях:

6. Р.Е.Мастраков, А.В.Поликарпов, С.Д.Николаев. Особенности строения тканей с продольными полосами различного переплетения. // Сборник научных трудов аспирантов, № 20, 2014, с.10-16.

7. Кашеев О.В., Кан Э.М., Мастраков Р.Е., Поликарпов А.В., Кожевникова А.Ю. Проектирование тканей по заданной поверхностной плотности и порядку фазы строения. // Материалы конференции. Международная научно-техническая конференция «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (ИННОВАЦИИ-2015). Москва, МГУДТ, 2015, с.15-17.

8. Поликарпов А.В., Евсюкова Е.В., Николаев С.Д. Свойства огнезащитных тканей, области их применения и требования к ним. // XLVIII Международная научно-техническая конференция преподавателей и студентов, посвященная 50-летию Витебского государственного технологического университета. Материалы конференции, 2015, с. 350-352.

9. Поликарпов А.В., Евсюкова Е.В., Николаев С.Д. Свойства огнезащитных тканей, области их применения и требования к ним // Тезисы докладов 48 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной 50-летию университета, Витебск, 2015, с.94-95

10. Поликарпов А.В., Николаев С.Д. Ассортимент огнестойких волокон и тканей на их основе // Тезисы докладов внутривузовской научной конференции молодых ученых МГУДТ «МИР-2015», 2015, с.99

11. А.В.Поликарпов, М.О.Григорьева, А.Е.Цветкова, Е.Д.Балкиевская, Николаев С.Д. Анализ свойств и строения огнестойких тканей // Тезисы докладов внутривузовской научной конференции Костромского государственного технологического университета, 2015, Тезисы докладов, с.53.

12. А.В.Поликарпов, Д.В.Озеркова, Е.Е.Грачева, П.А.Ткаченко. Проектирование технологического процесса изготовления тканей из арамидной пряжи. // Международная научно-техническая конференция «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности», Витебск, 2015, с.81-82.

13. Поликарпов А.В., Николаев С.Д. Исследование свойств тканей для одежды пожарного // В сборнике «Инновационные технологии в обучении и производстве: материалы X Всероссийской научно-практической конференции, г. Камышин, 2015 г.: в 2 т.: ВолгГТУ. – Волгоград 2016, с.155-157.

14. Поликарпов А.В., Озеркова Д.В., Николаев С.Д. Математическая модель напряженно-деформированного состояния нитей основы на ткацком станке // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Моделирование в технике и экономике», Витебск, 2016, с.141-143.

15. Озеркова Д.В., Поликарпов А.В., Николаев С.Д. Исследования свойств, строения и технологии изготовления защитной ткани // Материалы 68-й межвузовской научно-технической конференции молодых ученых и студентов Костромского государственного технологического университета, 2016, с.46.

16. Поликарпов А.В., Кашеев О.В., Николаев С.Д. Исследование натяжения основных нитей при изготовлении арамидных тканей // Материалы международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2016)», Москва, 2016, с.89-92.

17. Поликарпов А.В., Данилов А.В., Николаев С.Д. Расчет структуры тканей из арамидной пряжи // Материалы международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2016)», Москва, с.92-94.

18. Николаев С.Д., Кашеев О.В., Поликарпов А.В., Николаева Н.А., Рыбаулина И.В. Причинно-следственные связи при исследовании арамидных тканей // Материалы международной научно-технической конференции "ЛЕН-2016", с.91-94.

19. Поликарпов А.В., Данилов А.В., Кашеев О.В., Николаев С.Д. Анализ параметров структуры арамидных тканей различного переплетения // Материалы международного научного симпозиума «Первые Косыгинские чтения», Москва, 2017, с. 197-201

20. Поликарпов А.В. Требования к тканям для защитной одежды пожарного // Материалы международной научно-технической конференции молодых специалистов и ученых «Инновационное развитие легкой промышленности», Казанский национальный исследовательский университет, т.1, 2017 – с.224-230.

ПОЛИКАРПОВ АЛЕКСАНДР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТКАНЕЙ
ИЗ АРАМИДНОЙ ПРЯЖИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Специальность: 05.19.02 - Технология и первичная обработка
текстильных материалов и сырья

Усл.-печ. 1,0 п.л. Тираж 80 экз. Заказ № ____
Редакционно-издательский отдел РГУ им. А.Н. Косыгина
117997, г. Москва, ул. Садовническая, 33, стр. 1
отпечатано в РИО РГУ им. А.Н. Косыгина