

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. А.Н. КОСЫГИНА (ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)»

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»

Диссертация на соискание
учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
д-р техн. наук, проф. Николаев С. Д.

Москва 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	9
1.1. Работы по проектированию тканей	9
1.2. Работы по огнезащитным тканям	16
1.3. Исследования свойств и строения тканей.....	26
1.4. Работы по прогнозированию технологии тканей.....	28
Выводы по главе 1.....	31
2. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АРАМИДНЫХ ТКАНЕЙ... 33	
2.1. Требования к огнезащитным тканям.....	33
2.2. Алгоритм проектирования арамидных тканей из пряжи	35
2.3. Исследование прочности арамидной пряжи и тканей, полученных из неё 42	
2.4. Исследование вязкоупругих свойств арамидной пряжи	48
2.5. Проектирование тканей	57
Выводы по главе 2.....	60
3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАТЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ОСНОВЫ И УТКА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТКАНЕЙ ИЗ АРАМИДНОЙ ПРЯЖИ 62	
3.1. Математическая модель состояния нитей основы на ткацком станке.....	62
3.2. Исследования натяжения и деформации нитей основы по глубине заправки ткацкого станка.....	68
3.3. Анализ состояния нитей утка на станке СТБ	73
3.4. Прогнозирование возможности выработки тканей на ткацком станке ...	78
Выводы по главе 3.....	82
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТКАНЕЙ ИЗ АРАМИДНОЙ ПРЯЖИ.....	84
4.1. Анализ технологии изготовления арамидной ткани на бесчелночных ткацких станках СТБ	84
4.1.1. Анализ натяжения основных нитей	84
4.1.2. Анализ натяжения уточных нитей	87
4.1.2.1. Анализ натяжения утка при использовании	87
стандартных конических бобин.....	87
4.1.2.2. Анализ натяжения утка при использовании цилиндрических бобин	90
4.2. Анализ структуры арамидных тканей, изготовленных на бесчелночных ткацких станках СТБ	91
4.2.1. Методика определения параметров структуры тканей по её микросрезам с использованием современных информационных технологий	91
4.2.2. Анализ параметров строения арамидных тканей	94
4.3. Исследование свойств арамидных тканей	97
4.3.1. Исследование свойств нитей.....	97
4.3.2. Исследование свойств тканей	98
Выводы по главе 4.....	99

5. ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ АРАМИДНЫХ ТКАНЕЙ	101
5.1. Алгоритм решения задачи по установлению причинно-следственных связей между факторами.....	101
5.2. Установление причинно-следственных связей между параметрами.....	103
5.3. Алгоритм решения причинного анализа с учетом эффекта сопутствия между исследуемыми факторами.....	109
5.4. Расчет частных коэффициентов причинного влияния между факторами 111	
Выводы по главе 5.....	120
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ	121
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ	123
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	124
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	142

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы.

Сегодняшнее состояние текстильной промышленности заставляет ученых - текстильщиков обращать большее внимание исследованиям в области технического и специального текстиля. Текстиль специального назначения всегда будет востребован. Особенно для укрепления обороноспособности страны. Конечно, выпуск такого текстиля ограничен сегодня из-за достаточно плохой сырьевой базой в России, отсутствием отечественной машиностроительной базы.

В настоящее время технический текстиль является наиболее развивающейся отраслью среди других направлений развития текстиля. На сегодняшний день предприятия, выпускающие технический текстиль или текстиль специального назначения, как правило, работают достаточно эффективно. Существующие санкции заставили российские предприятия более оперативно решать вопросы по созданию новых текстильных материалов. Большим спросом пользуются огнезащитные ткани, используемые в различных отраслях промышленности. На сегодняшний день – 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. Это довольно дорогостоящее сырье. В последние годы возрастает интерес к арамидным тканям. Они достаточно дороги. Высокая прочность арамидных нитей позволяет получать необходимые ткани 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 улучшают 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.

В конечном итоге использование арамидной пряжи снимает многие экологические проблемы и снижает напряженность заправки ткацкого станка. Кроме того, арамидная пряжа из вторичных материалов значительно дешевле арамидной нити.

Факты, изложенные выше, позволили 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. Имеется 20 публикаций, из них 5 – в журналах, рекомендованных ВАК.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В литературном обзоре рассмотрены работы по следующим основным группам:

- научные исследования, связанные с методами проектирования тканей;
- научные исследования, связанные с особенностями изготовления огнезащитных тканей;
- научные исследования, связанные с изучением тканей технического и специального назначения;
- научные исследования по оценке напряженности заправки ткацкого станка.

1.1. Работы по проектированию тканей

При проектировании и изготовлении тканей приходится сталкиваться с вопросами их дальнейшего использования. Поэтому и требования к ним различны. Существует довольно большое количество методов проектирования тканей.

В настоящее время большинство существующих методов проектирования используют основополагающую теорию проф. Н.Г.Новикова [106]. Эта теория основана на геометрическом методе исследования. Проф. Новиков Н.Г. вывел основные уравнения для расчета параметров структуры однослойных тканей, ввел понятие о фазах строения. Однако формулы, предложенные проф. Новиковым Н.Г., не учитывают реальные размеры сечений нитей в связи с их смятием в процессе ткачества. В связи с этим, используя его основные положения, при расчетах параметров структуры тканей различного назначения необходимо учитывать свойства используемых нитей. Несмотря на то, что при выводе своих основополагающих зависимостей, проф. Новиков Н.Г. выдвинул ряд недоказанных на тот момент гипотез, его положения актуальны и сегодня используются многими современными исследователями не только в России, но и в странах ближнего зарубежья.

Интересна работа В.А.Воробьева [18], который считает, что при проектировании тканей необходимо рассчитывать коэффициент наполнения тканей. Он приводит формулы для его расчета. Однако отсутствие данных о реальных размерах нитей основы и утка при проектировании тканей не дает достоверные результаты.

Очень интересные научные исследования проведены Сурниной Н.Ф. [161]. Она разработала достаточно большое количество методов проектирования. Новым является метод проектирования тканей по толщине ткани. При этом автор учитывает порядок фазы строения тканей. В результате проектирования Н.Ф.Сурнина рассчитывает рациональные параметры заправки.

Черникина Л. А. предлагает метод проектирования по заданным стойкости ткани к сминаемости и истиранию применительно к шерстяным тканям. Она приводит большую статистику реальных размеров сечений нитей, учитывает наполнение ткани, переплетение ткани, поверхностную плотность. Результаты проектирования тканей, проведенные Л.А.Черниковой, представляются достоверными для шерстяных тканей [167].

Обширными являются исследования проф. А.А.Мартыновой [82]. Она и ее ученики предложили многочисленные методы проектирования тканей. Первым ее методом был метод проектирования по раздирающей нагрузке. При проектировании ткани использованы нити различного волокнистого состава из химических нитей. Она раскрыла физику процесса раздираания, выявила факторы, в наибольшей степени влияющие на раздираание, получила модели раздираания тканей, ввела понятие «подвижности нитей в ткани», Эта подвижность определяется наполнения ткани. Одной из первых, кто занимался вопросами проектирования многослойных тканей была О.Ф.Ятченко [176], которая под руководством А.А.Мартыновой провела работу. Показатель «объемного заполнения ткани» является наиболее важным при проектировании многослойных тканей. О.Ф.Ятченко получила большую статистику геометрических характеристик многослойных тканей.

Проф. Мартынова А.А. является по праву ученым, внесшим наибольший вклад в развитие теории строения и проектирования тканей. Ее фундаментальные работы [79-81] содержат описание большого количества методов проектирования различных тканей. Дальнейшее развитие её идеологии воплощено в исследованиях её учеников.

Для проектирования двухслойных тканей Г.И.Акимов предложил свой метод проектирования [8]. Он предлагает определять коэффициенты наполнения ткани по отдельным слоям, при этом он учитывает характер соединения слоев между собой.

Новикова О.А. исследовала хлопчатобумажные ткани с продольными полосами [107]. Она проектирует ткани по известному методу проектирования. При этом проектирование она рекомендует вести по наиболее напряженной полосе. То есть, полосе, где отношение раппорта ткани к количеству пересечений нитей основы и утка минимально. На наш взгляд, автор, не учитывая структуру менее напряженной полосы, не может получить точных значений параметров всей ткани. Это вряд ли способствует внедрению этого метода в практику использования известных методов проектирования тканей.

Продолжением работы Новиковой О.А. являются исследования Литовченко А. Г. [72]. Он разработал метод проектирования тканей с продольными полосами для изготовления вискозных нитей. При расчетах он учитывает значения вытяжки нитей в процессе ткачества. На наш взгляд, ошибочным является то, что при учете вытяжки, он не учитывает изменение линейной плотности нитей. Это не позволяет рассчитать правильно поверхностную плотность ткани.

Очень интересны и важны исследования Е.А.Юхиной [175]. Она вывела формулы, позволяющие определить пористость и воздухопроницаемость ткани. При расчетах она учитывает практически все параметры структуры ткани, ее заправочные параметры.

В отличие от диссертационной работы Юхиной Е.А., Горячев М.В. в своей работе получил эмпирические модели для расчета воздухопроницаемости [20]. Им проведены расчеты для химических моноплетей. Учитывая сказанное, это не

дает возможность использовать его зависимости при проектировании новых тканей различного волокнистого состава.

Зотова Н. К. исследовала полутораслойные ткани [51]. Один из основных выводов ее работы, что для получения ткани с одинаковыми прочностными показателями необходимо равенство параметров заправки. Его можно было бы сделать, на наш взгляд, не проводя серьезных научных исследований. Интересным в ее работе выглядит предложенная методика расчета прочности закрепления нитей в ткани.

Кузьмин В. В. в своей работе исследует петельные ткани [63]. Им получены модели для расчета высоты петли, размера недосеки и необходимой длины нити в петле. Это позволяет предлагать ресурсосберегающие технологии в ткачестве. Полученные зависимости позволяют прогнозировать ход технологического процесса и свойств получаемых тканей.

Меркулов А. В. исследовал уточно-ворсовые ткани и спроектировал несколько рациональных структур различного переплетения. Ему удалось получить различные модели, что дает возможность более широкого анализа [84]. Однако ему не удалось экспериментально определить все необходимые для проектирования параметры.

Исследования Раченковой О. М. [135] позволили получить универсальные модели однослойных тканей и решить ряд практических задач по расчету оптимального натяжения нитей для получения тканей рациональных структур и по расчету рациональных структур тканей по заданным технологическим параметрам. Использование вычислительной техники делает работу О.М.Раченковой привлекательной и легко применяемой в ткацких производствах действующих предприятий. Используя линейную теорию изгиба упругих стержней, Раченкова О.М. получила модели для расчета многих параметров однослойной ткани. Она предлагает формулы для любых переплетений однослойных тканей. В работе широко используется ЭВМ, что ускоряет и облегчает расчеты. Она использует язык программирования C++.

В работах [138, 173] эффективно используются при проектировании автоматизированные методы расчета пористости ткани. Это в дальнейшем позволяет рассчитать такие характеристики, как воздухопроницаемость, капиллярность и другие характеристики.

В результате массового использования средств ЭВМ, стало возможным создание новых автоматизированных методов проектирования тканей, дающие возможность использовать более сложные уравнения для расчета. Очень полезной является работа Никишина В.Б. [88]. Он разработал новую систему расчета параметров структуры тканей, предложил универсальную модель однослойной ткани. При помощи сканирования микросрезов тканей он оперативно и достаточно точно может рассчитать все параметры структуры ткани. Это является большим плюсом работы. Он попытался рассчитать на ЭВМ технологические параметры изготовления однослойных тканей. Однако при расчете он взял упругую модель нити, что не совсем правильно. Это не позволяет получить достоверную информацию о технологическом процессе изготовления тканей. При разработке программного обеспечения и алгоритма для расчета использована среда Delphi 5. Данный метод довольно прост, доведен до вида, удобного при практическом использовании. Расчеты проводятся по срезам, полученным вдоль нитей основы и вдоль нитей утка. Сходимость результатов дает основание говорить об эффективности данного метода расчета основных параметров структуры тканей. К сожалению, автор не смог определить реальные размеры сечений нитей в процессе фронтального прибоа, что не позволяет получить достоверную информацию.

Руденко Л.Г. в своей работе [137] выдвинула гипотезу: если структура суровой и готовой ткани, порядок фазы строения мало отличается друг от друга, то физико-механические свойства тканей будут выше. На большом экспериментальном материале она это доказывает. В работе сделан важный вывод о том, что при проектировании тканей это необходимо учитывать. Поэтому необходимы методы проектирования тканей с учетом технологии их изготовления.

Ряд научных работ, проведенных под руководством проф. С.Д. Николаева позволил получить аналитические зависимости, позволяющие использовать их для проектирования новых тканей [89-101]. В нашей совместной работе [83] представлены формулы для расчета параметров строения полос различного переплетения, которые будут разными. Так как нити при образовании полос различного переплетения сматываются с одного навоя, толщина полос различного переплетения будет разная, при этом возникает возможность провисания нитей основы в полосах ткани, где используются длинные основные перекрытия. Эта опасность усиливается при уменьшении плотности ткани по утку. Поэтому при проектировании таких тканей целесообразно рассчитать минимально возможную плотность ткани, при которой будет наблюдаться провисание основных нитей. Самым важным выводом работ Николаева С.Д. является то, что проектирование новых тканей необходимо проводить обязательно с учетом технологии изготовления тканей и технологии отделки тканей бытового назначения. При проведении различных технологических процессов изменяется структура ткани. Это необходимо учитывать в практике технологии ткачества.

Интересен подход Ахмедова Р.Ю. при исследовании ажурных тканей [10]. Для получения тканей высокого качества необходимо определить прочность закрепления нитей в ткани. Автор предлагает формулы для расчета этих показателей.

Исследования Сеницына А.В. [146] позволили разработать метод проектирования трехосных тканей. При одном и том же расходе сырья прочностные показатели трехосной ткани на разрыв и раздирание повышается в 3-4 раза. Этот метод базируется не только на исследованиях Сеницына А.В., но и на исследованиях Сеницыной И.В. [147] и Каревой Т.Ю. [54,55], выполненных под руководством проф. Николаева С.Д.. К достоинству данного метода следует отнести тот факт, что он учитывает технологию изготовления трехосных тканей. Следует отметить, что сегодня нет отечественного ткацкого станка для изготовления трехосных тканей, которые очень востребованы.

Интересным является метод проектирования фильтровальных тканей, который был предложен Рыбаулиной И.В. [138]. При проектировании тканей получены аналитические зависимости, позволяющие точно рассчитать размеры сквозных пор на различных участках раппорта переплетения ткани. Это позволяет рассчитать реальные показатели свойств, характеризующие фильтры. Создание программ для расчета отдельных параметров на основе современных информационных технологий позволяет оперативно и эффективно вести расчеты по довольно сложным аналитическим выражениям.

Современные технологии требуют использования новых автоматизированных технологий проектирования тканей. К сожалению, таких работ в России проводится мало.

Представляет интерес работа [53]. Предлагается новая система проектирования тканей, основанная на использовании современных информационных технологий. Она включает:

- анализ свойств используемых нитей;
- изображение рисунка переплетения ткани;
- выбор технологического плана в ткачестве и отделке;
- автоматизированный расчет параметров заправки и структуры ткани;
- разработка технических условий.

Фирсов А.В. предложил алгоритм проектирования рисунка переплетения ткани и автоматизированный метод построения его на ЭВМ [165]. При построении учитываются заправочные параметры ткани. Большое внимание уделяется построению рисунков переплетений с цветным узором. Обозначенная методика основывается на принципе итеративности и интерактивности, т.е. после каждого итерированного этапа проектирования существует возможность вернуться назад на N шагов. Недостатком данной системы является не учет технологии изготовления тканей. Безусловно, предлагаемый Фирсовым А.В. метод был более эффективным, если бы автор учитывал заправочные параметры тканей. Спроектированные рисунки тканей не всегда возможно изготовить на отечественном технологическом оборудовании.

Малецкая С.В. в своих работах [76-78] предлагает методы кодирования переплетений однослойных тканей. Интересны ее результаты применительно к креповым переплетениям. Большой материал посвящен получению цветных узоров. Малецкая С.В. использует при создании своего метода современные информационные технологии. Предлагает оригинальные методы кодирования ткацких переплетений однослойных тканей. Отсутствие связи с технологией изготовления тканей делает предлагаемый метод трудным при использовании в практике проектирования тканей.

Анализ вышесказанного свидетельствует об актуальности разработки новых методов проектирования тканей. К недостатку большинства предлагаемых методов проектирования тканей относится то, что исследователи при проектировании ткани не учитывают технологию проектируемых тканей, что затрудняет ответ на вопрос о возможности выработки той или иной ткани. В принципе сделанный нами вывод не нов. Точно такой же вывод сделан в работах [5, 71, 138].

1.2. Работы по огнезащитным тканям

Для выполнения цели работы был проведен анализ мировых тенденций создания современной специальной одежды и средств индивидуальной защиты (СИЗ), обеспечивающих сохранение здоровья и безопасность работников.

Огнезащитные ткани для изготовления защитной одежды необходимы в различных отраслях промышленности.

Ткани для вышперечисленных отраслей должны быть огнестойкими, ограждать тело человека от внезапного возгорания. Существуют отрасли, в которых требуется специальная одежда для защиты от повышенных температур.

Отметим основные отрасли, где и в каких объемах используются огнезащитные ткани.

В нефтяном комплексе занято более 600 тыс. человек. Среднегодовая численность персонала в газовой отрасли составляет около 400 тыс. человек

Потребность в спецодежде из огнезащитной ткани существует у 30% работников газовой отрасли и 20-25% работников нефтяной отрасли. Всего 240-270 тыс. человек. Норма расхода на 1 костюм составляет 5 метров ткани, срок эксплуатации – 1 год.

Потребность отрасли составляет:

- огнезащитных тканей – 1,2-1,35 млн.м. в год;
- огнезащитных костюмов – 240-270 тыс. шт. в год.

В электроэнергетике общая численность занятых в отрасли человек составляет около 900 тыс. Потребность в спецодежде из огнезащитной ткани существует для 40% персонала, это около 360 тыс. человек. Норма расхода на костюм составляет 5 метров.

Потребность отрасли составляет:

- огнезащитных тканей – 1,8 млн.м./год в год;
- огнезащитных костюмов – 360 тысяч штук в год (из расчета 1 костюм в год).

В металлургическом комплексе потребность в спецодежде из огнезащитной ткани существует для 25% персонала - это около 250 тыс. человек. Норма расхода на костюм составляет 5 метров.

Потребность отрасли составляет [66]:

- огнезащитных тканей – 1,25 млн.м. в год;
- огнезащитных костюмов – 250 тысяч штук (из расчета 1 костюм в год).

Стекольная промышленность России включает около 3 000 компаний, в том числе 500 крупных и средних предприятий. Численность занятых в стекольной промышленности составляет около 500 тысяч человек.

Потребность отрасли составляет:

- огнезащитных тканей – 0,25 млн.м. в год;
- огнезащитных костюмов – 50 тысяч штук (из расчета 1 костюм в год).

Не останавливаясь на других отраслях можно сделать вывод о необходимости выпуска таких тканей.

К защитной одежде для рабочих этих отраслей предъявляются высокие требования [25-35]. Для выполнения этих требований необходимо провести разработку новых сырьевых составов для текстильных изделий, новых видов тканей, трикотажных полотен и изделий (СИЗ).

Учитывая, что в России опыт промышленного производства огнезащитных тканей гораздо меньше зарубежного, проведен расширенный анализ ассортимента современных материалов для специальной защитной одежды известных зарубежных фирм и отечественных производителей. Анализ проведен на основании рекламных, экспертных, опросных материалов, а также из открытых источников.

Известно огромное количество зарубежных фирм – производителей специальной одежды. В большинстве случаев используются огнестойкие волокна.

Перечислим некоторые ведущие зарубежные фирмы, выпускающие специальную одежду:

- фирма Klopman International;
- компания Carrington Career & Workwear Ltd (Англия);
- фирма Ten Cate Protect (Голландия);
- TAIZHOU HUATONG FIRE-FIGHTING EQUIPMENT PLAN (Китай);
- компания Westex (США);
- фирма Kaneka Corporation (Япония);
- фирма Theodor Fritsche GmbH (Германия);
- компания EcoWool.

В настоящее время в России ряд научно-исследовательских, торговых фирм и организаций занимаются проблемами разработки и продажи защитной одежды. При создании огне- и термозащитной одежды, в основном, закупаются импортные нити и смесовая пряжа или ткани со специальными свойствами.

Перечислим некоторые ведущие российские фирмы изготовители данной продукции:

- ЗАО «КИРАСА»;
- ОАО «ПТС» - Пожтехсервис;
- фирма «Родники-текстиль»;
- ЗАО «Передовая текстильщица»;
- ООО «СолТэк»;
- ООО «Альфаэнерго»;
- ФПГ «Энергоконтракт»;
- ООО «Восток сервис».

Проведенный анализ огне- и термозащитных текстильных материалов зарубежных и отечественных производителей позволил выявить величины поверхностной плотности тканей (примерно 130-520 г/м²), переплетения ткани (в большинстве случаев – саржевое), использование специфических нитей для придания особых свойств.

При этом комплекты верхней специальной одежды могут дополняться внутренними (бельевыми) комплектами с повышенными термозащитными свойствами.

Кроме того, проведённый анализ огне- и термозащитных текстильных материалов зарубежных и отечественных производителей показал, что в практике создания специальных тканей и изделий достижение огне- и термозащитных свойств осуществляется двумя путями:

- пропиткой специальными составами (антипиренами);
- использованием огнестойких химических волокон.

Обобщая результаты аналитического обзора по обеспечению устойчивости текстильных материалов к горению, т.е. снижению их горючести и приданию им огнезащитных свойств, ещё раз отмечаем два пути решения этой проблемы:

1. Проектирование тканей из 100% отечественных огнестойких волокнообразующих полимеров.

2. Использование огнезащитных пропиток – антипиренов, снижающих горючесть текстильных материалов, как для тканей из натуральных волокон, так и смесей с огнестойкими и натуральными волокнами.

Изучены научные исследования отечественных учёных.

Так, по первому направлению известны исследования к.т.н. Алексея Ивановича Слугина, к.т.н. Андрея Ивановича Слугина и Мороз О. Н. [156-154, 86]. В данных работах для достижения целей использованы отходы арамидных волокон, что, во-первых, не обеспечивает стабильности в достижении свойств огнезащитных тканей по физико-механическим показателям, а во-вторых, не обеспечивает 100% спроса рынка, т.к. данных отходов недостаточно для полного удовлетворения потребностей в огнезащитных текстильных материалах.

В работах [156-154] Слугина Алексея И. и Слугина Андрея И. доказана возможность переработки арамидной пряжи, полученной из регенерированных волокон, определены основные свойства арамидной пряжи и арамидных тканей, разработана технология их изготовления на современном технологическом оборудовании, проведены баллистические испытания этих тканей, показана возможность их использования для изготовления бронежилетов и костюмов для пожарных. Необходимость продолжения этих работ очевидна, так как до настоящего времени нет современного метода проектирования этих тканей, что сдерживает создание конкурентноспособного ассортимента тканей.

Егоров Н. В. [45-48] разработал технологию изготовления огнезащитных тканей из высокопрочных нитей Русар, которая используется на текстильном предприятии «Передовая текстильщица». Представляет значительный интерес предложенная им методика определения изгибной жесткости нитей, которая позволяет получить при расчетах достоверные данные о параметрах структуры предлагаемых тканей. Эта методика является оригинальной и используется впервые.

Исследования Сафонова П. Е. [141-143] связаны с исследованием баллистических тканей из арамидных нитей. Им предложены новые методы

расчета технологичности изготовления ткани на ткацком станке. Им получен большой статистический материал по свойствам и технологии изготовления тканей для использования их в костюмах с высокими баллистическими свойствами

Что касается второго направления, то известны работы следующих отечественных исследователей: д.т.н. Константиновой Н. И. [62], к.х.н. Карелиной И. М. [56], к.т.н. Беляевой О. А. [12], к.т.н. Щербиной Н. А. [171], к.т.н. Куликовой Т. В. [64], к.т.н. Гришиной О. А. [38], к.х.н. Стрекаловой Ю. В. [160], к.т.н. Болодьян Г. И. [15], Загоруйко М. В. [50].

Для создания безопасных условий труда рабочих необходима специальная одежда. Она должна защитить человека от вредных воздействий. Требования к ней регламентируются нормативными документами [21-37].

На основе анализа вышеперечисленных работ определены значения стандартных показателей (табл. 1-1) к новым разрабатываемым огне- и термозащитным тканям. Эти данные приведены в диссертационной работе Е.Р.Лаврентьевой на стр.52 [66].

Таблица 1-1 - Требования к стандартным и гигиеническим показателям

Наименование показателей	Требования ГОСТ 12.4.105-81 (для сварщиков)	Требования ГОСТ 12.4.221-2002 (от повышенных температур)	Требования ГОСТ 12.4.247-2008 (для защиты от искр и брызг)	Установленные требования (ТЗ)
1	2	3	4	5
1. Поверхностная плотность, г/м ² , не более	450-550	250	600	250-550

Продолжение таблицы 1-1

1	2	3	4	5
2. Разрывная нагрузка, Н, не менее:				
- основа	1000	800	1200	1000
- уток	800	800	900	900
3. Раздирающая нагрузка, Н, не менее:				
- основа	70	70	100	100
- уток	60	70	60	100
4. Стойкость к истиранию, не менее, циклы	500-1500	-	1500	1500-2000
5. Изменении размеров ткани в горячем воздухе, %, не более	-		-	
- основа		±2,0		± 2,0
- уток		±2,0		±2,0
6. Воздухопроницаемость, м ³ /(м ² /с), не менее	30-50 (t ↑) 20-40 (норма) 8-40 (t ↓)	30	-	40
7. Гигроскопичность, %, не менее	8	-	10	10
8. Изменение размеров после мокрой обработки, %, не более				
- основа	3,5	± 3,5	-3,5	-3,5
- уток	2,0	± 3,5	± 2,0	± 2,0

Специальные (функциональные) свойства сформулированы и представлены в табл. 1-2 [66]:

Таблица 1-2 - Специальные требования к разрабатываемым тканям (ТЗ)

Наименование показателей	Требования ГОСТ 12.4.105-81 (для сварщиков)	Требования ГОСТ Р 12.4.221-2002 (от повышенных температур)	Требования ГОСТ Р 12.4.247-2008 (для защиты от искр и брызг)	Установленные требования (ТЗ)
1	2	3	4	5
1. Огнестойкость	Контакт с пламенем в течение 30 с	Контакт с пламенем в течение 30 с		
- остаточное горение, с			0	0
- остаточное тление, с	«Ткани не должны гореть и тлеть при удалении из пламени»	0 0	0	0
2. Кислородный индекс, %	-	-	-	36
3. Стойкость к прожиганию, с, не менее	45-60		-	50-100
4. Интенсивность теплового излучения, кВт/м ² (в пакете)	-	Уровень 1 – не более 2,0 включительно. Уровень 2 – 22,0 до 8,0 Уровень 3 - >8,0 до 15,0 Уровень 4 - > 15 до 20,0	-	Уровень защиты 1,2

Продолжение таблицы 1-2

1	2	3	4	5
5. Суммарное тепловое сопротивление, $\text{м}^2\text{К/Вт}$ (в пакете)		Уровень 1 – 0,15 до 2,0. Уровень 2 – > 0,25 до 0,35 Уровень 3 - >0,35-0,45 Уровень 4 - не менее 0,45		Уровень защиты 1,2

Ткани должны сохранять прочностные свойства после теплового излучения плотностью $5,6 \pm 0,35 \text{кВ/м}^2$ в течение 80 минут, не менее 95%. Устойчивость к воздействию пламени должна сохраняться после 5 и более химических чисток спецодежды. Ткани должны иметь высокую износоустойчивость [66].

На основании проводимых работ с МО, МЧС и другими спецподразделениями и анализа требований к СИЗ, выдвигаемых данными структурами, ООО «Армоком-Центр» представил основные общие требования к текстильным материалам для экипировки бойцов спецподразделений.

Текстильные материалы должны соответствовать нормам, представленным в табл. 1-3, которые также приведены в докторской диссертации Е.П.Лаврентьевой [66].

Таблица 1-3 - Физико-механические и специальные характеристики

Наименование показателей	Норма для ткани
1	2
1. Поверхностная плотность ткани, г/м^2	не более 250
2. Нагрузка ткани на разрыв, Н не менее	
– в направлении основы	1000
– в направлении утка	800

Продолжение таблицы 1-3

1	2
3. Нагрузка ткани на раздирание, Н не менее – в направлении основы – в направлении утка	80 70
4. Стойкость ткани к истиранию циклов, не менее	7000
5. Воздухопроницаемость ткани, $\text{дм}^3/\text{м}^2\text{с}$, не менее	60
6. Изменение размеров после мокрой обработки при температуре 60°C , %, не более – по основе – по утку	-2,0 ± 1
7. Водоупорность, мм вод.ст., не менее – до стирки – после 10 стирок	180 160
8. Водоотталкивание, усл. ед., не менее – до стирки – после 10 стирок	80 60
9. Маслоотталкивание, баллы, не менее – до стирки – после 10 стирок	5 4
10. Огнестойкость (при контакте с пламенем), с, не менее: остаточное горение/остаточное тление – до стирки – после стирки	15 отсутствует отсутствует

Текстильные материалы по эксплуатационным показателям (устойчивость к свету, стирке, мокрому и сухому трению, глажению и химчистке) должны соответствовать также определенным нормам [33, 66].

По гигиеническим требованиям ткани должны соответствовать требованиям второго слоя одежды [140].

По предельно-допустимым концентрациям (ПДК) в воздухе рабочей зоны и классу опасности ткани также должны соответствовать определенным нормам [19].

Ткани могут выделять в окружающую среду формальдегид, предельная допустимая концентрация которого не должна превышать $0,5 \text{ мг/м}^3$. Ткани не должны оказывать раздражающего общетоксичного и сенсибилизирующего эффектов и других вредных воздействий на организм человека при непосредственном контакте.

Сырье, красители, химические препараты, используемые при производстве ткани, должны иметь разрешение к применению органами государственного санитарного надзора.

1.3. Исследования свойств и строения тканей

Практически ни одно научное исследование по технологии ткачества не обходится без решения материаловедческих вопросов. Огромный вклад в разработку методов исследования внесли такие выдающиеся ученые, как проф. Г.Н.Кукин, А.Н.Соловьев, В.П. Щербаков [75, 139, 169]. В работах учеников Г.Н.Кукина, Саковича С.М [132] и Макеевой Т.В [75] исследованы именно эти свойства, которые характеризуют поведение нитей основы на ткацком станке. В работах исследованы составляющие деформации (упругая, быстрообратимая, медленнообратимая, пластическая), которые определяют поведение нитей на ткацком станке. В настоящее время эти вопросы находятся в приоритете у таких ученых как проф. В.П.Щербаков [169] и проф. С.Д.Николаева [89]. Приходится разрабатывать новые методики, связанные с изучением долговечности нитей и вязкоупругих параметров.

Расчет параметров структуры текстильных материалов проф. Щербаков [169] и проф. Николаев С.Д. [89] предлагают проводить по линейной и нелинейной теории изгиба. При этом целесообразно использовать вязкоупругую природу нитей. Использование этих теорий позволило выявить область их

использования в зависимости от параметров заправки тканей. Для большинства вырабатываемых тканей возможно использовать обе теории. Хотя нелинейная теория изгиба более корректна, так как учитывает наряду с возникающими деформациями и перемещении нитей основы и утка друг относительно друга.

Алексеев К. Г. [9] один из первых использовал линейную теорию изгиба. Он большое внимание уделяет расчету натяжения утка в процессе прибоа утка. К сожалению, экспериментально определить натяжение утка в зоне формирования ткани современными методами невозможно. Невозможно установить датчик, так как в этой зоне перемещаются ремизки и бердо. Правда, сегодня доступны различные бесконтактные методы исследования. Но в ткачестве они развиты очень слабо. Но исследования Алексеева К.Г. дали толчок к многим исследованиям, проведенным позже в этом направлении.

Оников Э.А. использовал методы расчета параметров структуры по положениям сопротивления материалов [111]. К достоинствам работы следует отнести то, что он показал степень сжатия основы и утка в процессе фронтального прибоа. Показано, что площадь сечения нитей в процессе прибоа может составлять 45-50% от первоначальной площади. К недостаткам работы следует отнести вывод автора о том, что изгибная жесткость практически не влияет на строение ткани. Это противоречит многим исследованиям [88, 89, 71, 147, 168]. Кроме того Оников Э.А. ошибочно принимает модули упругости при растяжении и сжатии разными.

Щербаков В.П. [169] на большом расчетном материале показал невозможность различия между модулями упругости при растяжении и изгибе. Ведь деформация изгиба складывается из деформаций растяжения отдельных составляющих пряжи.

Юхин С.С. в работе [172] установил взаимосвязь между натяжением основы и натяжением утка в процессе прибоа. Правда использовал при этом упругую модель.

Милашюс В.М. [85] предложил «деформационный метод» расчета. Непонятно, почему автор не учитывает изгибную жесткость нитей и смятие нитей в ткани [71].

Новиков Н.Г. в работе [104] первым рассмотрел строение ткани на основе геометрического расположения нитей основы и утка. Теория строения ткани является основой для разработки многих современных методов. Он предложил теорию фазового строения ткани. Сегодня многие научные исследования базируются на положениях проф. Новикова Н.Г.

Николаев С. Д. [89-101], используя линейную и нелинейную теории изгиба, при расчетах учитывает вязкоупругую природу нитей, смятие нитей основы и утка, реальный сечений нитей. Расчеты по данной методике нашли отражение во многих диссертационных исследованиях, выполненных под руководством Николаева С.Д. [45, 52, 58, 87, 88, 156, 155, 5-90]. Получены результаты как для тканей бытового назначения (хлопчатобумажных, шерстяных, льняных), так и для тканей специального назначения (углеродных, кремнеземных, кварцевых, арамидных).

Раченкова О.М. в работе [135] приводит формулы для расчета. Ей получен большой массив расчетных данных, полученных при использовании современных информационных технологий.

1.4. Работы по прогнозированию технологии тканей

Рассмотрим несколько критериев. Понятие о напряженности заправки ввел проф. С.Д.Николаев. [89-101]. Известны ряд используемых критериев.

Одним из первых критериев появился коэффициент связности. Он хорошо описан в работе [110]. Первые расчеты были проведены в ЦНИХБИ и ВНИИЛТЕКМАШ. Данный критерий дает хорошие результаты для тканей полотняного переплетения. Данное переплетение – самое распространенное. Однако если использовать и сравнивать ткани различного переплетения,

получаются неправдоподобные результаты. В последних научных исследованиях по технологии ткачества данный критерий практически не используется.

Букаев П.Т. в работе [16] ввел критерий - «технологичности ткани». Предложил формулы для расчета этого критерия. При его использовании необходимо пользоваться таблицами, предложенными Букаевым П.Т.. Он использовался в 70-80-ые годы прошлого столетия, в основном при анализе хлопчатобумажных тканей. Данный критерий не нашел широкого применения

«При оценке напряженности заправки часто используется заполнение и наполнение ткани. Расчет коэффициента наполнения ткани производится отношением фактической плотности ткани к максимальной. Он рассчитывается как по каждой системе нитей в отдельности, так и для ткани в целом. В частности, объемное заполнение ткани» [5]. Следует сказать, что часто расчеты наполнения ткани дают значения больше 100%, что противоречит физическому смыслу наполнения ткани. Невозможно иметь наполнение волокнистым материалом определенного объема больше 100%.

Профессор Мартынова А.А. предлагает использовать коэффициенты наполнения ткани [79-81]. Эти коэффициенты наполнения учитывают реальное строение ткани. Но, к сожалению, и этот показатель не учитывает технологию изготовления тканей.

В ТИТЛП в исследованиях используется коэффициент строения ткани [14]. Его использование затруднительно. В российской литературе он практически не описан. Его использование возможно, если иметь таблицы критических значений коэффициента. При расчетах приходится принимать значения порядка фазы строения тканей, а оно во многом определяется технологическим процессом ткачества.

Профессор Костромского государственного технологического университета Лустгартен Н.В. использует экспериментально полученные эмпирические коэффициенты. Причем эта методика в основном апробирована на льняных тканях. Использование ее на другом ассортименте невозможно, так как нет необходимой статистика данных [73, 74].

Для прогнозирования напряженности изготовления тканей необходимо знать значения деформаций и натяжения нитей. Колтунов М. А. в работе [61] совершенно обоснованно считает, что связь напряжения и деформации материалов должна быть нелинейной и учитывать время. Работы, проведенные в РГУ имени А.Н.Косыгина [45, 52, 58, 87, 101, 156, 5-90] учитывают этот факт и используют критерии длительной прочности для прогнозирования технологии тканей.

При использовании критерия Бейли связь между напряжением и временем нагружения целесообразно брать в соответствии с кинетической теорией прочности академика Журкова С.Н. [89-101]. Он считает, что свойства любого полимера определяют три показателя – структурный коэффициент, период колебаний атомов. В работах [45, 52, 58, 87, 101, 156, 5-90]. Определены значения этих показателей для нитей различного волокнистого состава. Но расчеты по этой методике неточны, так как в основе этой теории используется простое суммирование повреждаемости нитей в различные периоды и на различных участках. Кроме того, данный критерий не учитывает предысторию нагружения, что очень важно. Но данный метод удобен тем, что вскрывается механизм разрушения нити. Температура нитей играет очень важную роль. Это подтвердили исследования РГУ имени А.Н. Косыгина при использовании тепловидения [71].

Данный метод использован в диссертационных исследованиях Николаева С.Д. [91], Ахмедова Р. Ю. [10], Баталко Т. П. [11], Денисенко Т. Н. [43], Евсюковой Е. В. [44] и других работах.

Проф. Щербаков В.П. [169] первым в текстильной промышленности использует при исследовании изготовления трикотажных полотен критерии Москвитина и Ильюшина. В последние годы Щербаков В.П. использует эти критерии и для анализа технологического процесса ткачества. Причем он использует реальный закон нагружения нитей основы на ткацком станке. Он учитывает вклад различных технологических процессов (прибоя, зевобразования) в общую повреждаемость нитей на ткацком станке. Проф.

Щербаков создал уникальную установку для определения параметров долговечности нитей. По его методике проводит расчеты в своих работах Сафонов П.Е. [141-143]. Недостатком данных расчетов является то, что Сафонов П.Е. в своих расчетах считает натяжения основы в различных по глубине зонах ткацкого станка одинаковым.

Профессор Николаев С.Д. [91] и его ученики в своих работах [85, 139, 168, 169, 171] также использует критерий Москвитина. Он считает, что при расчетах необходимо вводить коэффициент запаса прочности. Для критерия Москвитина он предлагает его брать равным 1,5. Использование этого критерия позволило Николаеву С.Д. разработать стройную систему проектирования технологического процесса ткачества. Этот метод прошел апробацию большого количества технологий.

Выводы по главе 1

1. Проведенный анализ по теме исследования выявил состояние вопроса по технологии изготовления арамидных тканей, их ассортименте и областях применения.

2. Обоснована актуальность и экономическая эффективность использования арамидной пряжи из вторичных материалов для разработки новых тканей для защитной одежды специального назначения.

3. Поставлена цель работы – разработка метода проектирования и создание новых огнезащитных тканей, отвечающих современным требованиям защитных и функциональных эксплуатационных свойств.

4. Сформулированы 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 нитей и тканей.

5. Конкретизирован личный вклад в выполнение диссертационной работы:

- выбор теоретических моделей исследования, проведение необходимых расчетов с использованием современных информационных технологий, обобщение полученных результатов;
- проведение аналитических и экспериментальных исследований, получение новых данных по технологии, структуре и свойствам арамидных тканей, сравнительный анализ результатов с результатами ранее проведенных исследований;
- широкая апробация результатов исследования в научных публикациях и выступлениях с докладами на престижных научных конференциях, апробации результатов работы в промышленности и учебном процессе;
- разработка рекомендаций по эффективному использованию результатов исследования.

2. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АРАМИДНЫХ ТКАНЕЙ

2.1. Требования к огнезащитным тканям

Арамидные волокна все чаще используются для защитной одежды, в частности для огнезащиты. Использование регенерированных волокон для получения пряжи и изготовление из нее тканей для огнезащитной одежды значительно снижает затраты на это. Огромное количество отходов арамидного производства (более 1200 тонн в год) сжигалось и портило экологическую обстановку и без того, не самую благоприятную в местах производства арамидов [156]. Андрей И.Слугин и Алексей И.Слугин в своих диссертационных исследованиях [156, 155] описали технологии тканей из регенерированной пряжи. Снижение прочностных показателей и увеличение разрывного удлинения пряжи позволяет эффективно использовать ее в ткачестве. В настоящее время данные ткани идут для пошива одежды пожарных.

Имеются определенные требования к защитным тканям. Андрей И. Слугин в своей диссертации описал «требования, предъявляемые к показателям верха боевой одежды пожарного» [156]. В табл. 2-1 даны эти требования.

Таблица 2-1 Требования к показателям материала верха одежды пожарного

Наименование показателя	Значение показателя	Метод испытаний
1	2	3
Поверхностная плотность, г/м ²	150-400	ГОСТ 3811 ГОСТ 17073 ГОСТ 29104.1
Разрывная нагрузка, Н, не менее		ГОСТ 3813
- по основе	1000	ГОСТ17316
- по утку	800	ГОСТ 29104.4
Сопротивление раздиранию, Н, не менее		ГОСТ 3813
- по основе	80	ГОСТ 17074
- по утку	60	ГОСТ 29104.5

Продолжение таблицы 2-1

1	2	3
Кислородный индекс, %, не менее	28	ГОСТ 12.1.044
Устойчивость к воздействию температуры окружающей среды, с, не менее	300	ГОСТ 53264-2009
Сопrotивление раздиранию после воздействия температуры 300°C в течение 5 минут, Н, не менее - в направлении основы - в направлении утка	40 30	ГОСТ 53264-2009
Устойчивость к контакту с нагретыми до 400°C твердыми поверхностями, с, не менее	7	ГОСТ 53264-2009
Устойчивость к воздействию открытого пламени, с, не менее	15	ГОСТ 53264-2009

На ООО «Арамид» была спроектирована и изготовлена арамидная пряжа из регенерированных параарамидных волокон, характеристики которой представлены в табл. 2-2 [156].

Таблица 2-2 Характеристики арамидной пряжи из регенерированных пара-арамидных волокон

Наименование показателя	Значение показателя
Линейная плотность, текс	30 x 2
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	44
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°C в течение 30 минут, %, не более	7

Существует значительное количество методов проектирования тканей. Как правило, выходным параметром является какой-то один показатель. Об этом в главе 1 было сказано. Для наших же тканей необходимо несколько выходных параметров: поверхностная плотность, параметры структуры ткани (порядок фазы строения), прочностные показатели (разрывная нагрузка ткани в направлении основы и в направлении утка). Нами использована пряжа различной линейной плотности (30х2 текс, 60х2 текс, 83,3х2 текс), проектируемая ткань – однослойная. В дальнейшем ткани необходимо сертифицировать.

Наработку ткани целесообразно производить на станке СТБ 2-220. Технологический план ткачества включал мотальную машину М-150-2 и сновальную машину Текстима.

2.2. Алгоритм проектирования арамидных тканей из пряжи

В настоящее время арамидная пряжа из регенерированных отходов вырабатывается пневмомеханическим способом из параарамидного волокна, которое обладает комплексом уникальных свойств:

- природной огнезащищенностью;
- высокой температурой эксплуатации;
- высокой стойкостью к воздействию химических реагентов;
- высокой сопротивляемостью режущему предмету.

Пряжа вырабатывается на ООО «АРАМИД» - арамидные материалы для защиты человека. Арамидная пряжа используется для изготовления: тканей для боевой одежды пожарного; тканей для одежды сварщика и металлурга; перчаток и рукавиц, стойких к порезам, высокой температуре, пламени, расплавленному металлу; тканей для фильтрации горячих газов; термостойких шнуров и веревок.

Ткани, изготовленные из арамидной пряжи, значительно дешевле тканей, полученных из нитей. Они получают из отходов. Использование отходов из

пряжи способствует улучшению экологической обстановки в местах производства арамидной пряжи и арамидных тканей.

Ранее проведенные исследования на кафедре ткачества МГТУ имени А.Н.Косыгина Алексеем И.Слугиным [155] и Андреем И.Слугиным [156] показали, что они должны обладать заданной высокой прочностью, небольшой поверхностной плотностью и заданной структурой. Структура ткани зависит от порядка фазы строения тканей. Аналогичные исследования проведены и для арамидных тканей из нитей [45].

Формулы для расчета поверхностной плотности ткани, параметров структуры тканей и прочностью тканей известны и изложены в специальной литературе [17, 42, 79-81, 103-106].

Известны методы проектирования тканей по отдельным параметрам. Они изложены в различных диссертационных исследованиях и других научных работах [10, 13, 42, 44, 79, 82, 84, 161, 167]. Комплексного метода проектирования тканей, учитывающего 3 и более выходных параметров нет. Это приводит к тому, что при разработке новых тканей используется интуитивный метод, основанный на улучшении какого-то одного из параметров без вскрытия физики процесса.

Кроме того параметры, входящие в формулы, изменяются в зависимости от других параметров.

Так модуль упругости нитей основы и утка изменяется у нитей в процессе ткачества. И его величина, определенная по стандартным методикам, значительно изменяется в процессе ткачества. Участок нити основы находится в напряженно-деформированном состоянии 10-15 минут, проходя путь от навоя до опушки ткани. Да и нить утка в течение оборота главного вала также изменяет свою величину. Это требует использование не упругой модели нити, а вязкоупругой. Причем состояние нитей на ткацком станке должно быть описано уравнениями, которые учитывают нагружение нитей как в короткий, так и в длительный промежуток времени.

Желательно при проектировании новых тканей свести перемещения нитей основы и утка друг относительно друга к минимуму. А это может быть

достигнуто оптимальными технологическими параметрами и рациональными параметрами структуры тканей [8].

Прочность полосок ткани по основе и по утку зависит от того, насколько ухудшаются прочностные показатели используемых нитей. Ниже приведены формулы, используемые при проектировании тканей полотняного переплетения из арамидной пряжи.

Поверхностную плотность ткани рассчитывают по следующей формуле:

$$M = \frac{P_o T_o}{100} \left(1 + \frac{a_o}{100}\right) + \frac{P_y T_y}{100} \left(1 + \frac{a_y}{100}\right); \quad (2.1)$$

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, %.

Уработки основных и уточных нитей для ткани полотняного переплетения можно определить по формулам:

$$a_o = \frac{\sqrt{\left(\frac{100}{P_y}\right)^2 + h_o^2} - \frac{100}{P_y}}{\sqrt{\left(\frac{100}{P_y}\right)^2 + h_o^2}}; \quad (2.2)$$

$$a_y = \frac{\sqrt{\left(\frac{100}{P_o}\right)^2 + h_y^2} - \frac{100}{P_o}}{\sqrt{\left(\frac{100}{P_o}\right)^2 + h_y^2}};$$

где h_o, h_y - высоты волн изгиба основы и утка соответственно, мм.

Параметры структуры тканей определяются по формулам:

Отношение высот волн изгиба основы и утка в суровой ткани:

$$K = \frac{P_o^3 E_y I_y}{P_y^3 E_o I_o} = \frac{h_o}{h_y}; \quad (2.3)$$

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.

Для расчета порядка фазы строения используется формула:

$$PFS = \frac{9K + 1}{K + 1}; \quad (2.4)$$

Моменты инерции сечения нитей основы и утка определяются по формуле:

$$I_o = 0,05d_{ow}^3 d_{og}; \quad (2.5)$$

$$I_o = 0,05d_{yw}^3 d_{yg};$$

где d_{og}, d_{ow} - диаметры основных нитей по горизонтали и вертикали соответственно, мм;

d_{yg}, d_{yw} - диаметры уточных нитей по горизонтали и вертикали соответственно, мм;

Размеры осей основных и уточных нитей по горизонтали и вертикали различны. Они могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$d_{og} = K_{og} d_o;$$

$$d_{ow} = K_{ow} d_o;$$

(2.6)

$$d_{yg} = K_{yg} d_y;$$

$$d_{yw} = K_{yw} d_o;$$

где K_{og}, K_{ow} - коэффициенты изменения диаметров основы по горизонтали и вертикали в ткани соответственно;

K_{yg}, K_{yw} - коэффициенты изменения диаметров утка по горизонтали и вертикали в ткани соответственно;

d_o, d_y - условные диаметры основы и утка соответственно, мм.

Условные диаметры основы и утка можно определить по следующим формулам:

$$d_o = 0,1c_o \sqrt{0,1T_o}; \quad (2.7)$$

$$d_y = 0,1c_y \sqrt{0,1T_y};$$

где c_o, c_y - коэффициенты, определяющие вид волокнистого материала.

Высоты волн изгиба можно определить через расчетный диаметр нитей основы и утка d_p следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} h_o &= K_{ho} d_p; \\ h_y &= K_{hy} d_p; \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$d_p = \frac{d_o + d_y}{2};$$

где K_{ho}, K_{hy} - коэффициенты, учитывающие высоты волн изгиба нитей основы и утка при заданном порядке фазы строения ткани.

Разрывная нагрузка полоски ткани по направлению основы и утка равны:

$$R_{tk-o} = R_o \frac{P_o}{2} K_{1o} K_{2o}; \quad (2.9)$$

$$R_{tk-y} = R_y \frac{P_y}{2} K_{1y} K_{2y};$$

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:

$$K_{1o} = 1 - A_1 P_y T_y; \quad (2.10)$$

$$K_{1y} = 1 - B_1 P_o T_o;$$

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

$$K_{2o} = A_2 P_y T_y + 1; \quad (2.11)$$

$$K_{2y} = B_2 P_o T_o + 1;$$

где A, B - эмпирические коэффициенты, определяемые экспериментально.

Система полученных уравнений может быть решена численными методами при использовании одного из программных пакетов на ПЭВМ.

Формулы для расчета тканей других отличных от полотняного переплетения имеют несколько другой вид.

При расчете плотности ткани по основе и по утку заменяются обратными величинами расстояний между соседними нитями, в которых происходит смена положения нитей на противоположное (с верхнего на нижнее или наоборот). В работе использованы переплетения с раппортом по основе и по утку равным 3 и 4. Поэтому и уравнения приведем применительно к этим переплетениям. Эти формулы имеют следующий вид.

Уработки нитей с раппортом 3:

- для саржи 1/2, саржа 2/1

$$a_o = \frac{\sqrt{\left(\frac{150}{P_y} - 0,5d_{yg}\right)^2 + h_o^2} - \left(\frac{150}{P_y} - 0,5d_{yg}\right)}{\sqrt{\left(\frac{150}{P_y} - d_{yg}\right)^2 + h_o^2}}; \quad (2.12)$$

$$a_y = \frac{\sqrt{\left(\frac{150}{P_o} - d_{og}\right)^2 + h_y^2} - \left(\frac{150}{P_o} - d_{og}\right)}{\sqrt{\left(\frac{150}{P_o} - d_{og}\right)^2 + h_y^2}};$$

- для саржи 1/3, саржи 3/1, саржи 2/2, четырехремизного атласа, четырехремизного сатина, рогожки 2/2

$$a_o = \frac{\sqrt{\left(\frac{200}{P_y} - d_{yg}\right)^2 + h_o^2} - \left(\frac{200}{P_y} - d_{yg}\right)}{\sqrt{\left(\frac{150}{P_y} - d_{yg}\right)^2 + h_o^2}}; \quad (2.13)$$

$$a_y = \frac{\sqrt{\left(\frac{200}{P_o} - d_{og}\right)^2 + h_o^2} - \left(\frac{200}{P_y} - d_{og}\right)}{\sqrt{\left(\frac{150}{P_o} - d_{og}\right)^2 + h_y^2}};$$

Отношение высот волн изгиба основы и утка в суровой ткани:

- для саржи 1/2, саржа 2/1

$$K = \frac{\left(\frac{150}{P_y} - 0,5d_{yg}\right)^3 E_y I_y}{\left(\frac{150}{P_o} - 0,5d_{og}\right)^3 E_o I_o} = \frac{h_o}{h_y}; \quad (2.14)$$

- для саржи 1/3, саржи 3/1, саржи 2/2, четырехремизного атласа, четырехремизного сатина, рогожки 2/2

$$K = \frac{\left(\frac{200}{P_y} - d_{yg}\right)^3 E_y I_y}{\left(\frac{200}{P_o} - d_{og}\right)^3 E_o I_o} = \frac{h_o}{h_y}; \quad (2.15)$$

Аналогично можно получить формулы и для репса основного, репса уточного, полурепса основного и полурепса уточного.

Остальные формулы одинаковы для однослойных тканей различного переплетения.

2.3. Исследование прочности арамидной пряжи и тканей, полученных из неё

Для тканей специального назначения большое значение приобретают прочностные характеристики пряжи и тканей, полученных из неё. Известно, что разрывная нагрузка арамидной пряжи значительно меньше разрывной нагрузки арамидных нитей. Но в связи с тем, что арамидная пряжа имеет разрывное удлинение больше, чем арамидные нити. Выработка тканей из арамидной пряжи не должна быть затруднена.

Исследовалась арамидная пряжа следующих линейных плотностей:

- 83,3х2 текс;
- 55х2 текс;
- 30х2 текс.

Проанализированы результаты научных исследований, проведенные в диссертационных работах Слугина Алексея И., Слугина Андрея И. [156, 155], экспериментальные данные, полученные в ткацкой лаборатории РГУ имени А. Н. Косыгина. Результаты приведены в табл. 2-3.

Таблица 2-3 Экспериментальные данные

Номер образца	Линейная плотность пряжи, текс		Плотность ткани, нит/дм		Переплетение	Разрывная нагрузка нитей до ткачества, Н		Разрывная нагрузка нитей, вынутых из ткани, Н		Разрывная нагрузка полоски ткани, Н		
	основы	утка	по основе	по утку		основы	утка	основы	утка	основы	в направлении	в направлении
1	2	3	4	5	6	7						
1	83,3x2	140	80	41,50	Полотно	41,50	41,50	34,86	30,85	2928	1646	
2	83,3x2	150	100	41,50	Полотно	41,50	41,50	33,20	30,32	3180	2035	
3	83,3x2	120	90	41,50	Полотно	41,50	41,50	34,07	32,45	2516	1796	
4	60x2	160	120	36,20	Полотно	36,20	36,20	30,37	28,76	2965	2212	
5	60x2	150	120	36,20	Полотно	36,20	36,20	30,05	29,18	2753	2235	
6	60x2	140	130	36,20	Полотно	36,20	36,20	29,65	29,79	2567	2397	
7	30x2	200	180	27,10	Полотно	27,10	27,10	23,52	23,69	2733	2515	
8	30x2	190	175	27,10	Полотно	27,10	27,10	23,58	23,79	2602	2439	
9	30x2	220	200	27,10	Полотно	27,10	27,10	23,09	23,30	3009	2791	
10	30x2	180	160	27,10	Полотно	27,10	27,10	23,79	23,98	2453	2229	
11	83,3x2	140	120	41,50	Саржа 1/2	41,50	41,50	31,96	32,37	2892	2598	
12	83,3x2	160	140	41,50	Саржа 1/2	41,50	41,50	30,67	29,88	3283	2894	
13	60x2	170	160	36,20	Саржа 1/2	36,20	36,20	28,53	28,60	3095	2856	
14	30x2	230	200	27,10	Саржа 1/2	27,10	27,10	23,39	23,17	3157	2750	
15	30x2	200	180	27,10	Саржа 1/2	27,10	27,10	23,65	23,71	2735	2500	
16	60x2	180	160	36,20	Саржа 2/1	36,20	36,20	28,38	27,91	2681	2927	
17	30x2	210	210	27,10	Саржа 2/1	27,10	27,10	23,17	23,44	2877	2906	
18	83,3x2	130	100	41,50	Саржа 2/1	41,50	41,50	33,57	32,16	2710	2092	
19	60x2	160	150	36,20	Саржа 2/1	36,20	36,20	28,74	28,89	2891	2641	
20	30x2	190	180	27,10	Саржа 2/1	27,10	27,10	23,79	23,92	2606	2432	
21	30x2	220	210	27,10	Саржа 1/3	27,10	27,10	23,39	23,54	2994	2894	
22	30x2	210	210	27,10	Саржа 1/3	27,10	27,10	23,44	23,71	2848	2887	
23	60x2	149	116	36,20	Саржа 2/2	36,20	36,20	30,77	29,94	2691	2127	
24	60x2	150	115	36,20	Саржа 2/2	36,20	36,20	30,99	31,31	2718	2196	

Продолжение таблицы 2-3

1	2		3		4	5		6		7	
25	83,3x2	83,3x2	138	94	Саржа 2/2	41,50	41,50	34,40	31,71	2843	1918
26	83,3x2	83,3x2	138	104	Саржа 2/2	41,50	41,50	33,66	32,32	2809	2314
27	60x2	60x2	144	118	Рогожка 2/2	36,20	36,20	30,63	30,01	2592	2616
28	83x2	83x2	136	84	Саржа 3/1	41,50	41,50	36,52	32,37	2912	2501
29	30x2	30x2	230	200	Саржа 3/1	27,10	27,10	20,27	19,62	3019	2621
30	30x2	30x2	210	220	Саржа 3/1	27,10	27,10	23,22	23,71	2438	2978
31	30x2	30x2	240	200	Саржа 1/5	27,10	27,10	23,85	23,22	3239	2693
32	60x2	60x2	240	220	Саржа 1/5	27,10	27,10	19,86	19,76	3075	2862
33	83,3x2	83,3x2	160	150	Саржа 2/4	41,50	41,50	30,96	29,88	3157	2886
34	30x2	30x2	220	200	Саржа 2/4	27,10	27,10	23,52	21,03	2913	2403
35	83,3x2	83,3x2	140	130	Саржа 3/3	41,50	41,50	32,58	36,73	2794	2977
36	30x2	30x2	200	200	Саржа 3/3	27,10	27,10	23,90	23,98	2682	2695
37	60x2	60x2	190	190	Саржа 4/2	36,20	36,20	27,95	28,34	3303	3324
38	83,3x2	83,3x2	140	140	Саржа 4/2	41,50	41,50	31,83	32,41	2773	2819
39	60x2	60x2	185	150	Саржа 5/1	36,20	36,20	28,09	28,09	3203	2589
40	83,3x2	83,3x2	160	140	Саржа 5/1	41,50	41,50	31,62	31,08	3143	2773

Формулы для разрывной нагрузки полосок ткани по основе и по утку приведены в разделе 2.1 и имеют вид:

Разрывная нагрузка ткани по основе и по утку равны:

$$R_{tk-o} = R_o \frac{P_o}{2} K_{1o} K_{2o};$$

$$R_{tk-y} = R_y \frac{P_y}{2} K_{1y} K_{2y};$$
(2.16)

где R_o, R_y - относительная разрывная нагрузка 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:

$$K_{1o} = 1 - A_1 P_y T_y;$$
(2.17)

$$K_{1y} = 1 - B_1 P_o T_o;$$

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

$$K_{2o} = A_2 P_y T_y + 1;$$
(2.18)

$$K_{2y} = B_2 P_o T_o + 1;$$

где A, B - эмпирические коэффициенты, определяемые экспериментально.

Расчет эмпирических коэффициентов, влияющих на прочностные показатели полосок ткани показал, что они зависят от вида переплетения, соотношения раппорта ткани и количества пересечений нитей основы и утка в раппорте.

Прочностные показатели полосок ткани увеличиваются с увеличением плотностей ткани по основе и по утку и линейных плотностей основных и

уточных нитей. Аналогичный вывод получен в работе [58]. Данные представлены в табл. 2-4.

Таблица 2-4 Данные для расчета эмпирических коэффициентов при расчете прочностных показателей тканей

Номер образца	Произведение Р•Т		$K_1 \times 10^{-5}$		$K_2 \times 10^{-5}$	
	основы	утка	Для полоски ткани в направлении основы	Для полоски ткани в направлении утка	Для полоски ткани в направлении основы	Для полоски ткани в направлении утка
1	2		3		4	
1	23324	13328	1,20	1,10	1,50	1,43
2	24490	16660	1,20	1,10	1,55	1,40
3	19992	14994	1,19	1,09	1,54	1,45
4	19200	14400	1,20	1,07	1,53	1,47
5	18000	14400	1,18	1,08	1,54	1,54
6	16800	15600	1,16	1,05	1,52	1,42
7	12000	10800	1,22	1,05	1,50	1,50
8	11400	10500	1,24	1,07	1,54	1,51
9	13200	12000	1,24	1,06	1,54	1,50
10	10800	9600	1,27	1,08	1,52	1,50
11	23324	19992	1,15	1,03	1,47	1,45
12	26656	23324	1,12	1,05	1,45	1,44
13	20400	19200	1,10	1,00	1,44	1,43
14	13800	12000	1,14	1,05	1,45	1,43
15	12000	10800	1,17	1,04	1,45	1,43
16	21600	19200	1,14	1,06	1,43	1,44
17	12600	12600	1,15	1,07	1,45	1,44
18	21658	16600	1,15	1,04	1,46	1,43
19	19200	18000	1,14	1,05	1,43	1,42
20	11400	10800	1,13	1,03	1,42	1,42
21	13200	12600	1,09	0,99	1,30	1,30
22	12600	12600	1,07	0,99	1,25	1,27
23	17880	13920	1,08	0,97	1,25	1,26
24	18000	13800	1,04	1,03	1,23	1,22
25	23324	15827	1,08	1,01	1,25	1,23
26	22990	17326	1,09	0,96	1,21	1,26
27	17400	14400	1,07	0,98	1,22	1,21
28	22491	14161	1,06	0,98	1,22	1,22
29	27600	24000	1,05	0,98	1,23	1,22
30	12600	13200	1,08	0,99	1,20	1,23
31	14400	12000	1,00	0,99	1,10	1,11
32	28800	26400	1,01	0,94	1,10	1,10
33	26656	24990	1,02	0,93	1,10	1,08

Продолжение таблицы 2-4

1	2		3		4	
34	13200	12000	1,00	0,92	1,05	1,08
35	23324	21658	0,99	0,96	1,04	1,06
36	12000	12000	0,98	0,96	1,02	1,03
37	22800	22800	1,00	0,95	1,07	1,03
38	23324	23324	1,00	0,94	1,05	1,04
39	22200	22200	1,01	0,93	1,05	1,03
40	26656	23324	1,02	0,94	1,04	1,03

В табл. 2-5 приведены средние значения эмпирических коэффициентов по результатам проведенных исследований.

Таблица 2-5 Средние значения эмпирических коэффициентов

Эмпирические 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

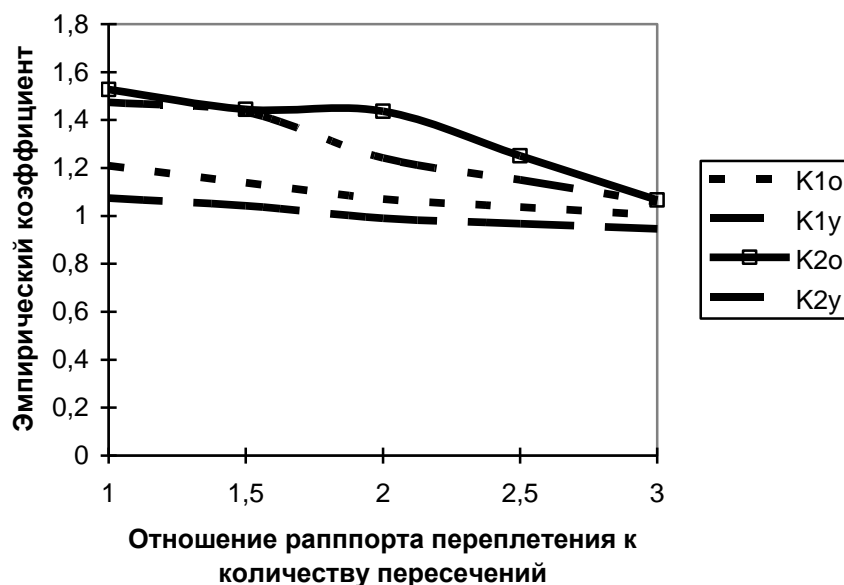


Рисунок 2-1 Влияние переплетения ткани на значения эмпирических коэффициентов при расчете прочностных показателей тканей

2.4. Исследование вязкоупругих свойств арамидной пряжи

Известно, что «взаимосвязь между напряжением и деформацией нитей основы и утка на ткацком станке включает время. Поэтому при расчете напряженно-деформированного состояния нитей, проектирования тканей целесообразно учитывать вязкоупругие свойства нитей» [87, 156, 71, 166].

Больцман и Вольтера разработали теорию вязкоупругости. Она учитывает влияние времени на возникновение упругих деформаций. При этом при увеличении времени степень влияния полученных деформаций уменьшается [71, 102].

Математическая запись зависимости напряжений от деформаций, основанная на этих гипотезах, имеет вид:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{1}{E} \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau ;$$

(2.19)

$$\sigma(t) = E\varepsilon(t) - E \int_0^t \Gamma(t - \tau) \varepsilon(\tau) d\tau ;$$

где σ – напряжение, МПа;

ε – деформация;

E - модуль упругости нитей, МПа;

$K(t - \tau)$ и $\Gamma(t - \tau)$ – функции влияния;

t – время действия нагрузки, с;

τ – время, предшествующее времени действия нагрузки, с.

В ткацком производстве очень важно правильно выбрать функции влияния. Эти функции влияния должны одновременно описывать процессы, которые протекают в короткий промежуток времени и при длительном нагружении. Такими функциями в математике являются слабосингулярные функции.

В качестве наиболее распространенных функций влияния являются функции Ржаницына А. Р. и Колтунова М. А. [88].

Функция Ржаницына А. Р. Рассчитывается по формуле:

$$\Gamma(t) = Ae^{-\beta t} t^{\alpha-1} (0 < \alpha < 1, \beta > 0); \quad (2.20)$$

где A, α, β – параметры материала.

Функция Колтунова М. А. рассчитывается по формуле:

$$K(t) = \frac{e^{-\beta t}}{t} \sum_1^n \frac{A\Gamma(\alpha)^n t^{n\alpha}}{\Gamma(n\alpha)} ; \quad (2.21)$$

где $\Gamma(\alpha)$ – гамма-функция аргумента α » [71, 102].

Параметры функций влияния рассчитываются по методу, предложенному С.Д. Николаевым [89]. Он используется в работах Николаева С. Д. и его учеников [45, 46, 89]. Не приводя описание этого метода, так как он достаточно хорошо

известен, приведем окончательную систему четырех уравнений с четырьмя неизвестными:

$$t_1^\alpha (\sigma_2 - \sigma_3) - t_2^\alpha (\sigma_1 - \sigma_3) + t_3^\alpha (\sigma_1 - \sigma_2) = 0;$$

$$A = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)\alpha(\alpha + 1)}{\sigma_1(\alpha + 1)(t_2^\alpha - t_1^\alpha) + (\sigma_1 - \sigma_2)t_1^\alpha};$$

$$E = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)\alpha}{\varepsilon A(t_2^\alpha - t_1^\alpha)} = \frac{\sigma_1\alpha(\alpha + 1)}{\varepsilon[\alpha(\alpha + 1) - At_1^\alpha]};$$

$$\beta = \frac{\sigma_4 - \sigma_1 + [E\varepsilon A(t_4^\alpha - t_1^\alpha)]}{E\varepsilon A(t_4^{\alpha+1} t_1^{\alpha+1}) / (\alpha + 1)};$$
(2.22)

Напряжение и деформация нити брались при различном времени наблюдения. Причем Николаев С. Д. доказал, что эти формулы справедливы, если первые три значения напряжения и деформации берутся в промежутки времени от 0 до 0,5 мин, в четвертое значение – от 0,5 до 1 мин. Это условие легко осуществить на любой разрывной машине, которые на сегодняшний день используются.

Получены данные для расчета вязкоупругих параметров в результате эксперимента, проведенного на разрывной машине ФП-100. Данные приведены в таблицах 2-6 – 2-8. Скорость нижнего зажима целесообразно брать максимальной, чтобы полученные данные были сопоставимы со скоростным режимом современных ткацких станков.

Таблица 2-6 Экспериментальные данные для расчета вязкоупругих параметров арамидной пряжи линейной плотности 30x2 текс

№	Деформация, %	Время, мин	Нагрузка, сН	Напряжение, кГ/мм ²
1	1	0,001	1100	17,35
2		0,20	1058	16,69
3		0,40	1046	16,50
4		0,80	1040	16,41

Таблица 2-7 Экспериментальные данные для расчета вязкоупругих параметров арамидной пряжи линейной плотности 60х2 текс

№	Деформация, %	Время, мин	Нагрузка, сН	Напряжение, кГ/мм ²
1	1	0,001	2202	17,37
2		0,20	2115	16,68
3		0,40	2092	16,50
4		0,80	2078	16,39

Таблица 2-8 Экспериментальные данные для расчета вязкоупругих параметров арамидной пряжи линейной плотности 83,3х2 текс

№	Деформация, %	Время, мин	Нагрузка, сН	Напряжение, кГ/мм ²
1	1	0,001	2202	17,35
2		0,20	2115	16,69
3		0,40	2092	16,51
4		0,80	2078	16,40

Значения вязкоупругих параметров арамидной пряжи различной линейной плотности представлены в табл. 2-9.

Таблица 2-9 Вязкоупругие параметры арамидной пряжи различной линейной плотности

Линейная плотность пряжи, текс	Вязкоупругие параметры			Модуль упругости E, кГ/мм ²
	A	β	α	
30х2 текс	0,0227	0,601	0,294	1749
60х2 текс	0,0207	0,493	0,261	1755
83,3х2 текс	0,0223	0,586	0,289	1750

Вязкоупругие параметры арамидной пряжи различной линейной плотности, полученной из регенерированных отходов, примерно одинаковы. Правда, у пряжи линейной плотности 60х2 текс релаксационные процессы проявляются в наибольшей степени. Возможно, это связано с небольшим количеством испытаний пряжи. В нашем случае мы проводили по 50 испытаний.

Вязкоупругие параметры нитей определяют поведение нитей основы и утка в различных зонах ткацкого станка. С течением времени изменяется так называемый текущий модуль упругости нитей.

В табл. 2-10 даны результаты расчетов функции влияния $\Gamma(\tau)$ при различном времени нагружения при постоянной деформации нити. При увеличении времени нагружения функция влияния должна увеличиваться, а мгновенный модуль упругости – уменьшаться. Это способствует снижению напряженности заправки ткацкого станка и облегчает процесс изготовления ткани. Релаксационные процессы позволяют стабилизировать технологический процесс изготовления тканей из арамидной пряжи, имеющий достаточно высокий модуль упругости. При этом, видимо, деформация основы на ткацком станке должна быть небольшой, что требует более тщательной наладки ткацкого станка.

Таблица 2-10 Значение функции влияния во времени для арамидной пряжи различной линейной плотности

Время, мин	Линейная плотность пряжи, текс		
	30x2	60x2	83,3x2
0	0	0	0
0,1	0,03876	0,04310	0,03920
0,2	0,04687	0,05111	0,04726
0,3	0,05210	0,05624	0,05246
0,4	0,05597	0,06003	0,05630
0,5	0,05901	0,06302	0,05923
0,6	0,06150	0,06548	0,06179
0,7	0,06357	0,06754	0,06386
0,8	0,06535	0,06930	0,06541
0,9	0,06687	0,07033	0,06693
1	0,06840	0,07218	0,06846

На рис. 2-2 показано влияние времени нагружения на изменение функции влияния, в нашем случае ядра Ржаницына.

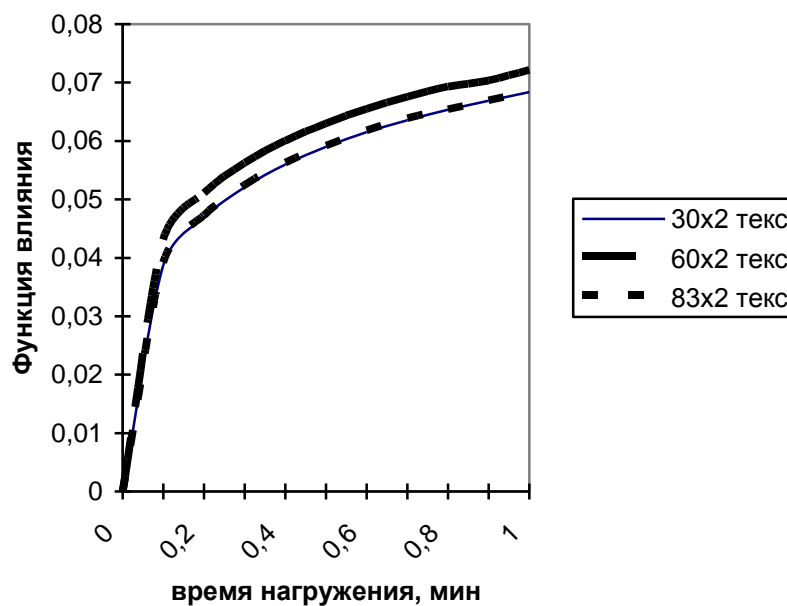


Рисунок 2-2 Влияние времени нагружения арамидной пряжи различной линейной плотности на функцию влияния

«Многочисленные исследования показывают, что модули упругости, определенные на приборах и модули упругости в реальных условиях эксплуатации различны. Это связано со многими причинами. Мало изучен вопрос об изменениях сечений нитей основы и утка при формировании элементов тканей». В работах О니кова Э. А. [111] и Николаева С.Д. [47, 89, 96, 169-171] показано, что «площадь сечений нитей при прибое уточной нити к опушке ткани может уменьшаться в 2 и более раз. Естественно изменяется изгибная жесткость нитей. Не имея возможность определить экспериментально размеры сечений нитей при формировании элемента ткани, в нашей работе просчитаем возможность изменения изгибной жесткости при прибое за счет уменьшения модуля упругости нитей» [91].

В табл. 2-11 даны результаты расчета текущего модуля упругости основы и утка для сорока тканей.

Знание текущего модуля упругости позволяет получить реальные результаты. Обычно в учебной литературе при расчетах берутся фактические модули упругости нити. Они определены в результате экспериментальных

исследований при растяжении и при изгибе. Но ведь при определении параметров затрачивается определенное время, которое в значительной степени искажает реальную картину. И результаты расчетов получаются недостоверными. Мы это учитываем и наши расчеты более реальны.

Изменение модуля упругости во времени показывает наличие релаксационных процессов, которые положительно влияют на технологический процесс ткачества. Если бы текстильные нити имели только упругую составляющую, то процесс изготовления тканей из высокопрочных нитей был бы практически невозможен. Было бы очень большое натяжение нитей. И не один механизм отпуска и натяжения основы не выдержал бы таких нагрузок.

Таблица 2-11 Изменение модуля упругости нитей основы и утка в процессе ткачества

№ ткани	Модуль упругости	Параметры заправки ткани				Вязкоупругие параметры					Время нахождения под нагрузкой, мин			Текущее значение модуля упругости	
		То, текс	Ту, текс	Ро, нит./дм	Ру, нит./дм	A	β	α	E,	основы	утка	основы	утка		
1	2	3				5					6			7	
1	1750	83,3x2	83,3x2	140	80	0,0222	0,585	0,288	1750	7,333	5,55x10 ⁻³	1537	1738		
2	1750	83,3x2	83,3x2	150	100	0,0222	0,585	0,288	1750	9,166	5,55x10 ⁻³	1507	1738		
3	1750	83,3x2	83,3x2	120	90	0,0222	0,585	0,288	1750	8,247	5,55x10 ⁻³	1521	1738		
4	1755	60x2	83,3x2	160	120	0,0206	0,492	0,260	1755	10,996	5,55x10 ⁻³	1480	1743		
5	1755	60x2	60x2	150	120	0,0206	0,492	0,260	1755	10,797	5,55x10 ⁻³	1514	1743		
6	1755	60x2	60x2	140	130	0,0206	0,492	0,260	1755	11,695	5,55x10 ⁻³	1504	1743		
7	1749	30x2	30x2	200	180	0,0226	0,600	0,293	1749	15,894	5,55x10 ⁻³	1403	1737		
8	1749	30x2	30x2	190	175	0,0226	0,600	0,293	1749	15,452	5,55x10 ⁻³	1408	1737		
9	1749	30x2	30x2	220	200	0,0226	0,600	0,293	1749	17,660	5,55x10 ⁻³	1380	1737		
10	1749	30x2	30x2	180	160	0,0226	0,600	0,293	1749	14,128	5,55x10 ⁻³	1426	1737		
11	1750	83,3x2	83,3x2	140	120	0,0222	0,585	0,288	1750	10,846	5,55x10 ⁻³	1482	1738		
12	1750	83,3x2	83,3x2	160	140	0,0222	0,585	0,288	1750	12,653	5,55x10 ⁻³	1457	1738		
13	1755	60x2	60x2	170	160	0,0206	0,492	0,260	1755	14,228	5,55x10 ⁻³	1480	1743		
14	1749	30x2	30x2	230	200	0,0226	0,600	0,293	1749	17,526	5,55x10 ⁻³	1397	1737		
15	1749	30x2	30x2	200	180	0,0226	0,600	0,293	1749	15,774	5,55x10 ⁻³	1404	1737		
16	1755	60x2	60x2	180	160	0,0206	0,492	0,260	1755	14,228	5,55x10 ⁻³	1480	1743		
17	1749	30x2	30x2	210	210	0,0226	0,600	0,293	1749	18,403	5,55x10 ⁻³	1527	1737		
18	1750	83,3x2	83,3x2	130	100	0,0222	0,585	0,288	1750	9,038	5,55x10 ⁻³	1509	1738		
19	1755	60x2	60x2	160	150	0,0206	0,492	0,260	1755	13,338	5,55x10 ⁻³	1488	1743		
20	1749	30x2	30x2	190	180	0,0226	0,600	0,293	1749	15,774	5,55x10 ⁻³	1405	1737		
21	1749	30x2	30x2	220	210	0,0226	0,600	0,293	1749	15,571	5,55x10 ⁻³	1407	1737		
22	1749	30x2	30x2	210	210	0,0226	0,600	0,293	1749	15,551	5,55x10 ⁻³	1407	1737		
23	1755	60x2	60x2	149	116	0,0206	0,492	0,260	1755	10,194	5,55x10 ⁻³	1521	1743		
24	1755	60x2	60x2	150	115	0,0206	0,492	0,260	1755	10,106	5,55x10 ⁻³	1521	1743		
25	1750	83,3x2	83,3x2	138	94	0,0222	0,585	0,288	1750	8,378	5,55x10 ⁻³	1520	1738		

Продолжение таблицы 2-11

1	2		3		4		5			6		7	
26	1750	83,3x2	83,3x2	138	104	0,0222	0,585	0,288	1750	9.270	5,555x10 ⁻³	1506	1738
27	1755	60x2	60x2	144	118	0,0206	0,492	0,260	1755	10.370	5,555x10 ⁻³	1519	1743
28	1750	83x2	83x2	136	84	0,0222	0,585	0,288	1750	7.487	5,555x10 ⁻³	1552	1738
29	1749	30x2	30x2	230	200	0,0226	0,600	0,293	1749	17.393	5,555x10 ⁻³	1383	1737
30	1749	30x2	30x2	210	220	0,0226	0,600	0,293	1749	19.132	5,555x10 ⁻³	1362	1737
31	1749	30x2	30x2	240	200	0,0226	0,600	0,293	1749	17.126	5,555x10 ⁻³	1386	1737
32	1755	60x2	60x2	240	220	0,0206	0,492	0,260	1755	19.875	5,555x10 ⁻³	1431	1743
33	1750	83,3x2	83,3x2	160	150	0,0222	0,585	0,288	1750	12.995	5,555x10 ⁻³	1452	1738
34	1749	30x2	30x2	220	200	0,0226	0,600	0,293	1749	17.126	5,555x10 ⁻³	1386	1737
35	1750	83,3x2	83,3x2	140	130	0,0222	0,585	0,288	1750	11.262	5,555x10 ⁻³	1476	1738
36	1749	30x2	30x2	200	200	0,0226	0,600	0,293	1749	17.126	5,555x10 ⁻³	1386	1737
37	1755	60x2	60x2	190	190	0,0206	0,492	0,260	1755	16.302	5,555x10 ⁻³	1461	1743
38	1750	83,3x2	83,3x2	140	140	0,0222	0,585	0,288	1750	12.128	5,555x10 ⁻³	1464	1738
39	1755	60x2	60x2	185	150	0,0206	0,492	0,260	1755	12.874	5,555x10 ⁻³	1493	1743
40	1750	83,3x2	83,3x2	160	140	0,0222	0,585	0,288	1750	12.128	5,555x10 ⁻³	1464	1738

2.5. Проектирование тканей

В разделе 2.2 представлен алгоритм проектирования новых тканей из арамидной пряжи по трем параметрам: поверхностной плотности, порядку фазы строения, прочностным показателям.

На сегодняшний день нет широкого применения данной пряжи на текстильных предприятиях России. Но там, где она используется, очевидны большие плюсы. Себестоимость изделий из тканей, полученных из арамидной пряжи, в 6-8 раз ниже себестоимости изделий из тканей, полученных на основе арамидных нитей. Безусловно, прочностные показатели пряжи на 30-50% ниже по сравнению с прочностными показателями арамидных нитей Русар. Но при этом увеличивается в 1,2-1,4 раза разрывное удлинение, что облегчает переработку на ткацких станках, позволяет выработать ткани с достаточно высокой скоростью, что увеличивает как производительность оборудования, так и производительность труда.

Учитывая, что исследуемые ткани возможно использовать для пошива бронежилетов и защитной одежды для пожарных важно учитывать порядок фазы строения тканей. До настоящего времени нет достаточно чёткого представления о том, какой порядок фазы строения ткани должен быть. С одной стороны прочностные показатели ткани для этих костюмов должны иметь соизмеримые прочности. Самый легкий путь добиться этого - изготовить ткани с одинаковой плотностью ткани по основе и по утку и использовать в основе и утке нити одинаковой линейной плотности. Такой вывод сделала И.В. Сеницына при исследованиях трехосных тканей [147]. При этом необходимо использовать ткани полотняного переплетения. Тогда у нас получается пятый ПФС тканей. Но тогда баллистические и огнезащитные свойства тканей будут ниже, чем в тканях саржевого переплетения и в тканях, где основные нити имеют максимальный изгиб, а нити утка практически прямолинейны.

В этих случаях возможно увеличить плотности ткани по основе и по утку. Но тогда надо искать оптимальные соотношения параметров заправки тканей. Это невозможно сделать, не имея математических моделей для расчетов при проектировании тканей. Предлагаемый нами метод проектирования тканей позволяет это сделать.

Важное значение для любого изделия, а особенно для защитного костюма, имеет поверхностная плотность. Вес костюма в значительной степени влияет на оперативность действий спасателя. И его необходимо учитывать при проектировании вновь создаваемых тканей. Вышеперечисленное свидетельствует о правильности выбранных нами критериев при проектировании новых тканей из арамидной пряжи. В предлагаемом нами методе достаточно много формул, поэтому расчеты необходимо вести с использованием современных информационных технологий, в частности в среде MATHCAD. В табл. 2-12 приведены заправочные параметры спроектированных тканей.

Таблица 2-12 Параметры заправки тканей из арамидной пряжи

Плотности ткани, нит/дм		Линейная плотность нитей, текс		Поверхностная плотность ткани, г/м ²	Переpleтение ткани	Порядок фазы строения ткани	Прочность полоски ткани, Н	
По основе	По утку	По основе	По утку				По основе	По утку
140	110	83x2	83x2	457	Полотно	5,7	4950	4770
138	104	83x2	83x2	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	Саржа 2/2	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

Таблица 2-13 Параметры заправки тканей из арамидной пряжи по работам
Слугина Алексея И. и Слугина Андрея И.

Плотности ткани, нит/дм		Линейная плотность нитей, текс		Поверхност- ная плотность ткани, г/м ²	Переплетение ткани	Порядок фазы строения ткани	Прочность полоски ткани, Н	
По основе	По утку	По основе	По утку				По основе	По утку
140	110	83x2	83x2	512	Полотно	5,6	4950	4770
138	104	83x2	83x2	401	Саржа 3/1	5,9	4863	4678
170	200	30x2	30x2	245	Полотно	5,2	2680	2700
95	95	30x2	30x2	121	Полотно	5,1	1320	1230
95	95	30x2	30x2	116	Саржа 1/2	5,1	1300	1251
150	115	60x2	60x2	341	Саржа 2/2	5,8	2870	2780
144	84	60x2	60x2	298	Полотно	7,2	4757	2810
144	118	60x2	60x2	340	Рогожка 2/2	6,1	4344	3510
149	116	60x2	60x2	335	Неправильный атлас	6,4	4870	3840

Нами спроектировано 14 тканей. Девять первых тканей спроектированы по данным уже вырабатываемым промышленностью. Они исследованы в диссертационных работах [156, 149]. Проведённый анализ последних пяти новых тканей говорит о достаточно хорошей сходимости с тканями, вырабатываемыми уже в промышленности, что свидетельствует о возможности предлагаемого нами метода.

Интересны результаты расчета 12-ого образца, где в основе и утке используется пряжи различной линейной плотности, которая позволяет получить лучшие результаты по сравнению с вырабатываемыми образцами. В этом образце за счет подбора соотношения плотностей ткани по основе и по утку удается получить примерно одинаковые прочностные показатели и более высокий порядок фазы строения тканей. В настоящее время подобные ткани практически не вырабатываются. Но подбор параметров заправки тканей может позволить регулировать взаимное расположение основных и уточных нитей. Ведь до настоящего времени нет четкого ответа на то, какой порядок фазы строения должны иметь ткани, которые идут для изготовления бронежилетов или костюма для пожарного. Некоторые считают, что порядок фазы строения должен

приближаться к пятому, а некоторые, наоборот, считаю, что одна система нитей должна быть прямолинейна, а другая – максимально изогнута. Для однослойной ткани такое получить практически невозможно. Но приблизить ткань к крайней фазе строения можно за счет использования в основе и утке пряжи различной линейной плотности. Получение прочностных показателей одинаковыми в направлении основы и утка возможно за счет подбора различных параметров. Разработанный метод проектирования позволяет такие расчеты провести.

Выводы по главе 2

1. Разработан метод проектирования тканей из регенерированной пряжи по трем показателям одновременно – разрывным нагрузкам ткани по направлению основы и направлению утка, ПФС ткани и ее поверхностной плотности, что обеспечивает получение тканей высокого качества.

2. Установлено изменение модуля упругости нитей в процессе изготовления тканей из арамидной пряжи, разработан новый метод расчета, получены математические модели для его расчета в процессе формирования элемента ткани, учитывающие реальные размеры сечений нитей, вязкоупругую природу арамидной пряжи.

3. Усовершенствован метод расчета прочностных показателей полосок тканей, показано влияние сил трения и повреждаемости нитей на изменение разрывных нагрузок тканей в пересчете на одну нить.

4. На основе экспериментальных данных показано, что параметры заправки ткани влияют на прочностные показатели, причем произведение линейной плотности и плотности ткани ведет к увеличению разрывной нагрузки полоски ткани в противоположном направлении.

4. Описан порядок (алгоритм) расчета для проектирования тканей из арамидной пряжи с использованием современных информационных технологий, в частности среды МАТКАД и ЭВРИКА.

5. Спроектированы новые ткани. Сравнительный анализ спроектированных тканей с уже вырабатываемыми тканями показывает достоверность предлагаемого метода расчета.

3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАТЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ОСНОВЫ И УТКА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТКАНЕЙ ИЗ АРАМИДНОЙ ПРЯЖИ

3.1. Математическая модель состояния нитей основы на ткацком станке

Для изделий огнезащитных тканей обычно используется дорогостоящее сырье. Технологический процесс изготовления таких тканей всегда представляет определенные затруднения в связи с тем, что используемые нити (арамидные, углеродные, стеклянные) имеют высокую прочность (разрывную нагрузку) и небольшое разрывное удлинение.

Высокая прочность нитей требует использование мощных механизмов отпуска и натяжения нитей. Если использовать те же требования к величинам натяжения основы, как у обычных тканей (примерно 5-10%) от разрывной нагрузки, то вряд ли можно найти такие механизмы, которые выдержат эти нагрузки. Поэтому обычно при использовании таких нитей в ткачестве натяжение приходится уменьшать в 5-10 раз, что требует более тщательной наладки механизмов ткацкого станка. При этом удлинение нитей при формировании элемента ткани также будет небольшим. Возникает проблема провисания нитей основы. При чрезмерном натяжении основы могут возникнуть остаточные деформации, которые тоже могут привести к провисанию нитей на ткацком станке.

Знание деформации и натяжения нитей позволяет прогнозировать условия формирования ткани на ткацком станке.

В нашей работе нами использованы соотношения, которые были разработаны раньше [88, 89, 168]. Далее этот метод использовался при выполнении диссертационных исследований аспирантов кафедры [135, 137, 174].

Кратко опишем принятую для расчета методику.

На рис. 3-1 дана осциллограмма натяжения, на рис. 3-2 – график напряжения основы за один оборот главного вала ткацкого станка, на котором можно выделить шесть характерных периодов.

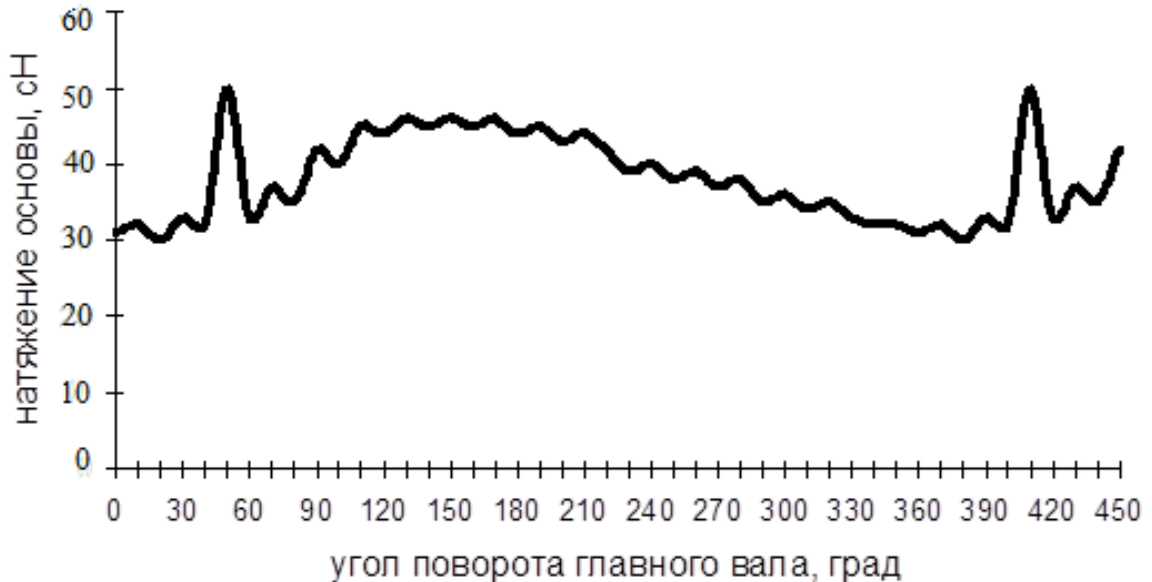


Рисунок. 3-1 Осциллограмма натяжения основы за один оборот главного вала ткацкого станка



Рисунок 3-2 График напряжения основы за один оборот главного вала ткацкого станка

1 период – начинается от момента заступа до момента начала процесса приобоя утка к опущке ткани. В этот период натяжение основы изменяется

незначительно. Оно немного увеличивается. Для наших расчетов принимаем натяжение основы в этот период постоянным. Натяжение основы при заступе соответствует практически заправочному натяжению основы.

2 период – соответствует процессу прибоя уточины к опушке ткани. Этот период непродолжительный, но в этот период натяжение основы резко возрастает и становится максимальным за один оборот главного вала для большинства вырабатываемых тканей на большинстве конструкций ткацких станков. Окончание этого периода соответствует переднему положению батана. Максимальное натяжение в этот период часто называют натяжением основы при прибое.

3 период – соответствует движению батана от своего переднего положения в заднее положение вместе с опушкой ткани. В этот очень непродолжительный период, соизмеримый с процессом прибоя, натяжение основы резко падает. В конце третьего периода натяжение основы несколько больше натяжения основы до процесса прибоя. При наших расчетах нами берется натяжение основы равное натяжению основы до процесса прибоя.

4 период – соответствует процессу открытия зева. Длительность этого периода меньше, чем реальная фаза открытия зева. Она меньше на время протекания трех предыдущих периодов и определяется круговой диаграммой работы зевообразовательного механизма ткацкого станка. Максимальное натяжение основы в этот период для сокращения называют натяжением основы при зевообразовании.

5 период – период выстоя ремизок в крайнем (верхнем или нижнем) положении. Натяжение основы в этот период немного уменьшается за счет релаксационных процессов. В наших расчетах натяжение основы в этот период принимается постоянным. Величина натяжения основы при выстое ремизок соизмерима с натяжением основы при прибое. Для большинства вырабатываемых тканей оно несколько меньше, чем натяжение при прибое. Но бывают случаи, особенно при открытом зеве и при сложных заправках для первых ремизок, когда натяжение при зевообразовании бывает больше натяжения нити при прибое.

6 период – соответствует процессу закрытия зева и продолжается до момента скрещивания основных нитей при смене их положения на противоположное в процессе зевобразования, т.е. до момента заступа.

В математических моделях, приведенных ниже, выделяем три характерных точки: в точке 1 – натяжение основы при заступе; в точке 2 – натяжение основы при прибое; в точке 3 – натяжение основы при зевобразовании.

Как было отмечено выше, эти соотношения получены ранее и используются уже в ряде работ [89, 91, 112, 168], но для полноты картины мы их приводим в своей работе, не претендуя, конечно, на новизну:

при $t_1 \leq t \leq t_2$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_1}{E} \left[1 + \int_{t_1}^t K(\tau) d\tau \right], \quad (3.1)$$

при $t_2 \leq t \leq t_3$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_1}{E} \left[1 + \int_{t_1}^t K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E(t_3 - t_2)} \left[(t - t_2) + \int_{t_2}^t K(t - \tau) \tau d\tau \right]; \quad (3.2)$$

при $t_3 \leq t \leq t_4$

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = & \frac{\sigma_1}{E} \left[1 + \int_{t_1}^t K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E(t_3 - t_2)} \left[(t_3 - t_2) + \int_{t_2}^{t_3} K(t - \tau) \tau d\tau \right] - \\ & - \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E(t_4 - t_3)} \left[(t - t_3) + \int_{t_3}^t K(t - \tau) \tau d\tau \right]; \end{aligned} \quad (3.3)$$

при $t_4 \leq t \leq t_5$

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = & \frac{\sigma_1}{E} \left[1 + \int_{t_1}^t K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E(t_3 - t_2)} \left[(t_3 - t_2) + \int_{t_2}^{t_3} K(t - \tau) \tau d\tau \right] - \\ & - \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E(t_4 - t_3)} \left[(t_4 - t_3) + \int_{t_3}^{t_4} K(t - \tau) \tau d\tau \right] + \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{E(t_5 - t_4)} \left[(t - t_4) + \int_{t_4}^t K(t - \tau) \tau d\tau \right] \end{aligned} \quad (3.4)$$

при $t_5 \leq t \leq t_6$

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = & \frac{\sigma_1}{E} \left[1 + \int_{t_1}^t K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E(t_3 - t_2)} \left[(t_3 - t_2) + \int_{t_2}^{t_3} K(t - \tau) \tau d\tau \right] - \\ & - \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E(t_4 - t_3)} \left[(t_4 - t_3) + \int_{t_3}^{t_4} K(t - \tau) \tau d\tau \right] + \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{E(t_5 - t_4)} \left[(t_5 - t_4) + \int_{t_4}^{t_5} K(t - \tau) \tau d\tau \right] + \\ & + \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{E} \left[1 + \int_{t_5}^t K(\tau) d\tau \right]; \end{aligned} \quad (3.5)$$

при $t_6 \leq t \leq t_7$

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = & \frac{\sigma_1}{E} \left[1 + \int_{t_1}^t K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E(t_3 - t_2)} \left[(t_3 - t_2) + \int_{t_2}^{t_3} K(t - \tau) \tau d\tau \right] - \\ & - \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E(t_4 - t_3)} \left[(t_4 - t_3) + \int_{t_3}^{t_4} K(t - \tau) \tau d\tau \right] + \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{E(t - t_4)} \left[(t_5 - t_4) + \int_{t_4}^{t_5} K(t - \tau) \tau d\tau \right] + \\ & + \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{E} \left[1 + \int_{t_5}^{t_6} K(\tau) d\tau \right] - \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{E(t_7 - t_6)} \left[(t - t_6) + \int_{t_6}^t K(t - \tau) \tau d\tau \right]. \end{aligned} \quad (3.6)$$

где:

t_i – время, с;

σ_i – напряжение нити, МПа;

ε_i – относительная деформация нити;

$K(t)$ – функция влияния на участке с постоянным напряжением нити;

$K(t - \tau)$ – функция влияния на участке с постоянной скоростью напряжения нити;

E – модуль упругости нити, МПа.

Для расчета параметров напряженно-деформированного состояния нитей целесообразно использовать ПЭВМ.

В табл. 3-1 представлены данные расчета деформации основы.

Таблица 3-1 Деформации основы в различные моменты тканеформирования за один оборот главного вала

Параметр	Период тканеформирования	Ткань 1	Ткань 2	Ткань 3	Ткань 4	Ткань 5
Натяжение, сН	При заступе	121	111	51	61	71
	Перед прибоем	120	110	50	60	70
	При прибое	180	165	75	90	105
	В конце прибоа	120	110	50	60	70
	В начале выстоя ремизок	160	155	70	85	100
	В конце выстоя ремизок	160	155	70	85	100
	В конце оборота главного вала	121	111	51	61	71
Деформация, %	При заступе	0,466	0,422	0,389	0,467	0,545
	Перед прибоем	0,469	0,425	0,392	0,470	0,548
	При прибое	0,705	0,639	0,588	0,744	0,823
	В конце прибоа	0,471	0,427	0,393	0,471	0,548
	В начале выстоя ремизок	0,629	0,602	0,550	0,668	0,786
	В конце выстоя ремизок	0,785	0,756	0,707	0,864	1,021
	В конце оборота главного вала	0,629	0,602	0,552	0,668	0,787

Анализ полученных результатов показывает, что характер изменений напряжения, натяжения и деформации нитей примерно такой же, как и в ранее проведенных работах проф. Николаева С.Д. [91], к.т.н. Павлихиной И.Ю. [112], к.т.н. Широной Е.А. [168]. Только в работе Николаева С.Д. они получены для хлопчатобумажных тканей. В работе Павлихиной И.Ю. для кремнеземных тканей, в работе Широной Е.А. для льняных тканей.

Вводим понятие условного напряжения нитей. Это условное напряжение вызывает такую же деформацию, как и реальный закон нагружения [91, 112, 168]. Для расчета условного натяжения основы, которое используем следующие формулы: [89, 112]:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_y}{E} \int_t^{t_7} K(\tau) d\tau ; \quad (3.9)$$

$$F_y = \sigma_y / S ; \quad (3.10)$$

где S – площадь сечения нити.

Расчеты показали, что условное натяжение основы больше заправочного натяжения основы – для первой ткани на 20,7%, для второй ткани – на 18,9%, для третьей ткани – на 21,5%, для четвертой ткани – на 19,8%, для пятой ткани – на 20,5%. Это не противоречит ранее полученным данным [89].

3.2. Исследования натяжения и деформации нитей основы по глубине заправки ткацкого станка

Знание технологических параметров по глубине заправки очень важно. Обычно измерения натяжения основы проводится в зоне «скало – ламели». Эта зона удобна для экспериментирования. Но формирование элемента ткани заданной структуры проходит у опушки ткани.

К сожалению, измерить натяжение нитей основы у опушки ткани известными контактными методами невозможно. В этой зоне нити основы перемещаются в вертикальной плоскости. К тому же - перемещается бердо. Установить датчик для измерения натяжения нитей затруднительно. Поэтому в работах, проводимых ранее, данные приводятся по натяжению нитей, измеренному в статических условиях [89]. В работах Ковалевой О.В. [60] и Ликучевой А.А.. Они использовали при выявлении этих закономерностей тепловизоры, которые позволяют определить температуру нитей бесконтактными методами. Практически измеряются длины волн в инфракрасной части спектра.

Нами устанавливается взаимосвязь между деформацией и напряжением основных нитей по глубине заправки ткацкого станка при изготовлении тканей из арамидной пряжи.

На рис. 3-3 дан график условного натяжения основы за один оборот главного вала, на рис. 3-4 - график изменения напряжения основы на различных по глубине заправки участках ткацкого станка.

На графике приняты следующие обозначения зон изменения условного напряжения основы:

σ_k – за один оборот главного вала;

$\sigma_{нс}$ – на участке "навой – скало";

σ_c – на участке скала;

$\sigma_{сл}$ – на участке "скало – ламели";

$\sigma_{лр}$ – на участке "ламели – ремиз";

$\sigma_{ор}$ – зоне "ремиз – опушка ткани".

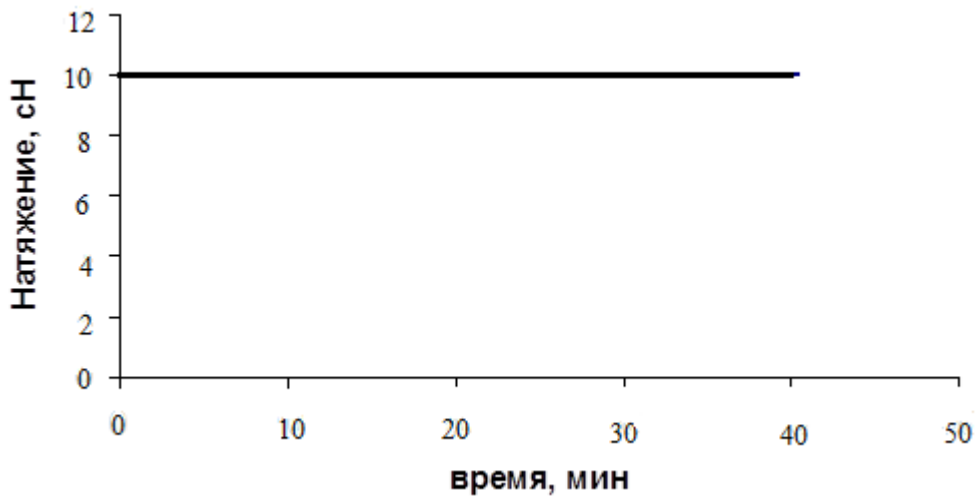


Рисунок 3-3 Изменение условного натяжения основных нитей

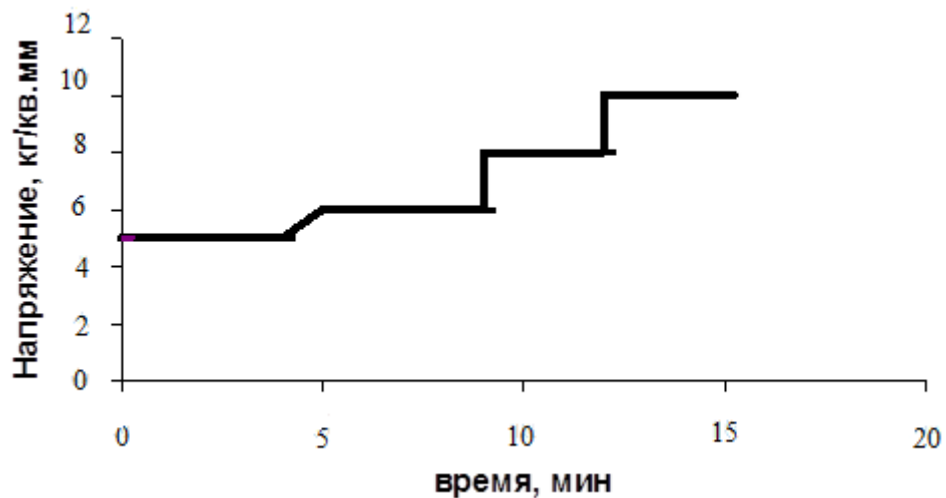


Рисунок 3-4 Изменение условного напряжения основы по глубине заправки

Взаимосвязь напряжения σ и деформации ε основных нитей по глубине заправки может быть представлена в виде следующих функциональных зависимостей [88, 174]:

при $0 \leq t \leq t_1$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_{нс}}{E} \left[1 + \int_0^{t_1} K(t) dt \right]; \quad (3.11)$$

при $t_1 \leq t \leq t_2$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_{нс}}{E} \left[1 + \int_0^{t_1} K(t) dt \right] + \frac{\sigma_{сл} - \sigma_{нс}}{E(t_2 - t_1)} \left[(t - t_1) + \int_{t_1}^t K(t - \tau) \tau d\tau \right]; \quad (3.12)$$

при $t_2 \leq t \leq t_3$

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = & \frac{\sigma_{нс}}{E} \left[1 + \int_0^{t_1} K(t) dt \right] + \frac{\sigma_{сл} - \sigma_{нс}}{E(t_2 - t_1)} \left[(t_2 - t_1) + \int_{t_1}^{t_2} K(t - \tau) \tau d\tau \right] + \\ & + \frac{\sigma_{сл} - \sigma_{нс}}{E} \left[1 + \int_{t_2}^t K(\tau) d\tau \right] \end{aligned}; \quad (3.13)$$

при $t_3 \leq t \leq t_4$

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = & \frac{\sigma_{нс}}{E} \left[1 + \int_0^{t_1} K(t) dt \right] + \frac{\sigma_{сл} - \sigma_{нс}}{E(t_2 - t_1)} \left[(t_2 - t_1) + \int_{t_1}^{t_2} K(t - \tau) \tau d\tau \right] + \\ & + \frac{\sigma_{сл} - \sigma_{нс}}{E} \left[1 + \int_{t_2}^{t_3} K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_{лр} - \sigma_{сл}}{E} \left[1 + \int_{t_3}^t K(\tau) d\tau \right] \end{aligned}; \quad (3.14)$$

при $t_4 \leq t \leq t_5$

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = & \frac{\sigma_{нс}}{E} \left[1 + \int_0^{t_1} K(t) dt \right] + \frac{\sigma_{сл} - \sigma_{нс}}{E(t_2 - t_1)} \left[(t_2 - t_1) + \int_{t_1}^{t_2} K(t - \tau) \tau d\tau \right] + \\ & + \frac{\sigma_{сл} - \sigma_{нс}}{E} \left[1 + \int_{t_2}^{t_3} K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_{лр} - \sigma_{сл}}{E} \left[1 + \int_{t_3}^{t_4} K(\tau) d\tau \right] + \quad ; \quad (3.15) \\ & + \frac{\sigma_{ро} - \sigma_{лр}}{E} \left[1 + \int_{t_4}^t K(\tau) d\tau \right]. \end{aligned}$$

Как и в разделе 3.1 расчеты проведены для 5 спроектированных нами тканей.

Таблица 3-2 Распределение натяжения основы по глубине заправки ткацкого станка

Зона	Натяжение, сН				Отношение среднего натяжения к натяжению в зоне «навой-скало»
	сред- нее	запра- вочное	при прибое	при зевоб- разовании	
Ткань (вариант 1)					
Навой-скало	121	101	151	141	1,00
Скало	133	112	167	151	1,11
Скало-ламели	147	121	182	161	1,21
Ламели-ремиз	185	153	228	214	1,51
Ремиз-опушка	217	183	273	254	1,81
Ткань (вариант 2)					
Навой-скало	111	93	139	130	1,00
Скало	123	103	152	142	1,11
Скало-ламели	135	113	168	158	1,21
Ламели-ремиз	169	143	212	198	1,51
Ремиз-опушка	203	170	253	236	1,81
Ткань (вариант 3)					
Навой-скало	51	43	64	60	1,00
Скало	57	48	71	67	1,11
Скало-ламели	63	53	78	73	1,21
Ламели-ремиз	79	67	98	93	1,51
Ремиз-опушка	84	80	118	110	1,81
Ткань (вариант 4)					
Навой-скало	61	51	76	71	1,00
Скало	68	57	85	80	1,11

Зона	Натяжение, сН				Отношение среднего натяжения к натяжению в зоне «навой-скало»
	сред-нее	запра-вочное	при приборе	при зевеоб-разовании	
Скало-ламели	75	63	93	88	1.21
Ламели-ремиз	94	79	116	109	1.51
Ремиз-опушка	113	95	140	131	1,81
Ткань (вариант 5)					
Навой-скало	71	59	88	82	1,00
Скало	79	66	98	92	1,11
Скало-ламели	87	73	108	103	1.21
Ламели-ремиз	109	91	135	126	1.51
Ремиз-опушка	131	109	161	151	1,81

При расчете значения натяжения нитей основы взяты такие же, как в работе [168]. Но в этой работе анализируются льняные ткани, а в нашей – арамидные ткани. Так как модули упругости у нитей различны, то и значения деформаций получаются различными.

В табл. 3-2 даны результаты расчета относительной деформации основы по глубине заправки ткацкого станка по вышеприведенным формулам.

В табл. 3-3 даны результаты расчета деформации основы по глубине заправки для 5 исследуемых тканей.

Таблица 3-3 Распределение деформации основы по глубине заправки ткацкого станка (%)

Зона	Ткань 1	Ткань 2	Ткань 3	Ткань 4	Ткань 5
Навой - скало	0,495	0,467	0,420	0,497	0,594
Скало	0,590	0,564	0,506	0,601	0,721
Скало - ламели (начало)	0,726	0,672	0,604	0,736	0,905
Скало - ламели (конец)	0,854	0,800	0,720	0,873	1,068
Ламели - ремиз (начало)	0,948	0,852	0,763	0,973	1,231
Ламели - ремиз (конец)	1,032	0,980	0,880	1,110	1,394
Ремиз - опушка	1,211	1,045	0,935	1,233	1,560

В табл. 3-4 представлены результаты расчета отношения деформации основных нитей по глубине заправки к деформации в зоне «навой – скало».

Таблица 3-4 Отношение деформации основы в зонах по глубине заправки ткацкого станка к деформации в зоне «навой – скало»

Зона	Ткань 1	Ткань 2	Ткань 3	Ткань 4	Ткань 5
Навой - скало	1	1	1	1	1
Скало	1,19	1,21	1,20	1,21	1,21
Скало - ламели (начало)	1,47	1,44	1,44	1,48	1,52
Скало - ламели (конец)	1,73	1,69	1,71	1,76	2,15
Ламели - ремиз (начало)	1,92	1,82	1,82	1,96	2,07
Ламели - ремиз (конец)	2,08	2,10	2,10	2,21	2,35
Ремиз - опушка	2,45	2,24	2,23	2,48	2,63

Результаты расчета показывают, что рост деформации основы опережает рост натяжения основы. Это свидетельствует о том, что арамидная пряжа имеет большую составляющую медленнообратимых деформаций.

3.3. Анализ состояния нитей утка на станке СТБ

Соотношение натяжения основы и утка во многом предопределяет параметры структуры ткани. Проведем расчет деформации и натяжения утка на станке СТБ. На рис. 3-5 дана осциллограмма натяжения утка, а на рис. 3-6 – график напряжения утка за один оборот главного вала.



Рисунок 3-5 Осциллограмма натяжения уточной нити за один оборот главного вала на ткацком станке СТБ

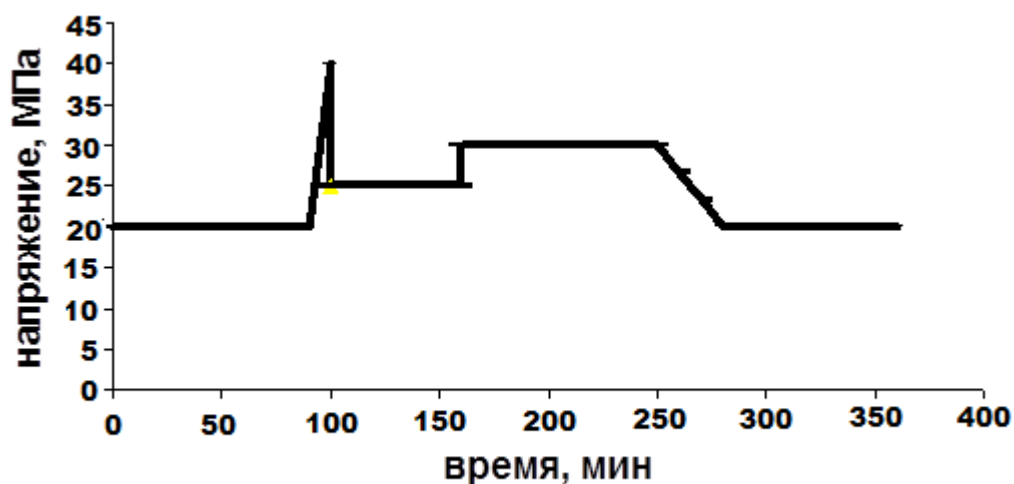


Рисунок 3-6 График напряжения утка за один оборот главного вала

Для расчета использованы следующие формулы [88, 89, 168]:

при $0 \leq t \leq t_0$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_4}{E} \left[1 + \int_0^t K(\tau) d\tau \right] \quad ; \quad (3.16)$$

при $t_0 \leq t \leq t_1$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_4}{E} \left[1 + \int_0^t K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_1 - \sigma_4}{E(t - t_0)} \left[(t - t_0) + \int_0^t K(t - \tau) \tau d\tau \right] - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{E} \quad ; \quad (3.17)$$

В конце периода максимальное натяжение утка может быть рассчитано без последнего слагаемого.

при $t_1 \leq t \leq t_2$

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = & \frac{\sigma_4}{E} \left[1 + \int_0^t K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_1 - \sigma_4}{E(t - t_0)} \left[(t - t_0) + \int_0^{t_1} K(t - \tau) \tau d\tau \right] - \\ & - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{E} + \frac{\sigma_2 - \sigma_4}{E} \left[1 + \int_{t_1}^t K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_3 - \sigma_2}{E}. \end{aligned} \quad (3.18)$$

В конце периода максимальное натяжение утка вычисляется по вышеприведенной формуле, минимальное – без последнего слагаемого.

при $t_2 \leq t \leq t_3$

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = & \frac{\sigma_4}{E} \left[1 + \int_0^t K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_1 - \sigma_4}{E(t-t_0)} \left[(t-t_0) + \int_0^{t_1} K(t-\tau) \tau d\tau \right] - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{E} + \\ & + \frac{\sigma_2 - \sigma_4}{E} \left[1 + \int_{t_1}^{t_2} K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_3 - \sigma_2}{E} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{E} \left[1 + \int_{t_2}^t K(\tau) d\tau \right]; \end{aligned} \quad (3.19)$$

при $t_3 \leq t \leq t_4$

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = & \frac{\sigma_4}{E} \left[1 + \int_0^t K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_1 - \sigma_4}{E(t-t_0)} \left[(t-t_0) + \int_0^{t_1} K(t-\tau) \tau d\tau \right] - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{E} + \\ & + \frac{\sigma_2 - \sigma_4}{E} \left[1 + \int_{t_1}^{t_2} K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_3 - \sigma_2}{E} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{E} \left[1 + \int_{t_2}^{t_3} K(\tau) d\tau \right] - \\ & - \frac{\sigma_3 - \sigma_4}{E(t_4-t_3)} \left[(t-t_3) + \int_{t_3}^t K(t-\tau) \tau d\tau \right]; \end{aligned} \quad (3.20)$$

при $t_4 \leq t \leq t_5$

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = & \frac{\sigma_4}{E} \left[1 + \int_0^t K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_1 - \sigma_4}{E(t-t_0)} \left[(t-t_0) + \int_0^{t_1} K(t-\tau) \tau d\tau \right] - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{E} + \\ & + \frac{\sigma_2 - \sigma_4}{E} \left[1 + \int_{t_1}^{t_2} K(\tau) d\tau \right] + \frac{\sigma_3 - \sigma_2}{E} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{E} \left[1 + \int_{t_2}^{t_3} K(\tau) d\tau \right] - \\ & - \frac{\sigma_3 - \sigma_4}{E(t_4-t_3)} \left[(t_4-t_3) + \int_{t_3}^{t_4} K(t-\tau) \tau d\tau \right] - \frac{\sigma_3 - \sigma_4}{E(t_4-t_3)} \left[(t-t_3) + \int_{t_3}^t K(t-\tau) \tau d\tau \right] \end{aligned} \quad ; (3.21)$$

В табл. 3.5 и 3.6 представлены результаты расчета и динамика их изменения.

Таблица 3-5 Параметры напряженно-деформированного состояния нитей

Параметр	Зона	Ткань 1	Ткань 2	Ткань 3	Ткань 4	Ткань 5
Натяжение, сН	Начало оборота	100	90	80	50	60
	Перед разгоном	100	90	80	50	60
	Максимальное при разгоне	180	160	140	90	100
	После разгона	140	125	110	70	80
	В конце сматывания нити	140	125	110	70	80
	Начало работы тормоза	160	140	125	80	90
	Начало торможения	160	140	125	80	90
	Конец торможения	100	90	80	50	60
	Конец оборота	100	90	80	50	60
Деформация, %	Начало оборота	0,387	0,348	0,310	0,388	0,466
	Перед разгоном	0,397	0,353	0,314	0,393	0,471
	Максимальное при разгоне	0,716	0,628	0,549	0,706	0,785
	После разгона	0,557	0,491	0,432	0,471	0,550
	В конце сматывания нити	0,713	0,627	0,549	0,550	0,628
	Начало работы тормоза	0,790	0,685	0,607	0,666	0,745
	Начало торможения	1,181	1,016	0,899	1,096	1,175
	Конец торможения	0,784	0,683	0,605	0,664	0,743
	Конец оборота	0,785	0,683	0,605	0,665	0,744

Расчет проводился для 5 тканей, по которым был проведен расчет параметров напряженно-деформированного состояния основы.

В табл. 3-6 приведены данные расчета, по которым можно судить о степени увеличения параметров по сравнению с первоначальным натяжением и деформацией до начала прокладывания утка.

Таблица 3-6 Изменение параметров напряженно-деформированного состояния нитей утка

Параметр	Зона	Ткань 1	Ткань 2	Ткань 3	Ткань 4	Ткань 5
Натяжение, сН	Начало оборота	1	1	80	50	60
	Перед разгоном	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Максимальное при разгоне	1,80	1,78	1,75	1,8	1,67
	После разгона	1,40	1,39	1,38	1,40	1,33
	В конце сматывания нити	1,40	1,39	1,38	1,40	1,33
	Начало работы тормоза	1,60	1,56	1,56	1,60	1,50
	Начало торможения	1,60	1,56	1,56	1,60	1,50
	Конец торможения	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Конец оборота	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Деформация, %	Начало оборота	1	1	1	1	1
	Перед разгоном	1,03	1,01	1,01	1,01	1,01
	Максимальное при разгоне	1,85	1,80	1,82	1,82	1,81
	После разгона	1,44	1,41	1,41	1,40	1,41
	В конце сматывания нити	1,84	1,81	1,77	1,51	1,53
	Начало работы тормоза	2,04	1,97	1,96	1,71	1,60
	Начало торможения	3,05	2,92	2,90	2,82	2,52
	Конец торможения	2,03	1,96	1,95	1,71	1,59
	Конец оборота	2,03	1,96	1,95	1,71	1,60

3.4. Прогнозирование возможности выработки тканей на ткацком станке

Для изготовления тканей из дорогостоящего сырья отсутствует возможность проведения больших экспериментальных исследований.

Для оценки повреждаемости нитей на ткацком станке для спроектированных нами арамидных тканей и прогнозирования возможности переработки арамидной пряжи на отечественном бесчелночном ткацком станке СТБ необходимо использовать один из используемых в механике критериев длительной прочности.

Проведенные ранее исследования [91] показали эффективность использования критерия длительной прочности В.В. Москвитина. Известно, что наиболее сложные динамические условия работы на ткацком станке испытывают нити основы. Поэтому необходимо провести расчет повреждаемости основных нитей основы.

Считаем, условно, исследуемую среду - сплошной. Конечно, это можно сделать с допущением, но это допущение не мешает, как показал крупный видный российский ученый-механик, академик Работнов Ю.Н., использовавший теорию сплошных сред при изучении различных процессов. Данный метод первыми использовали Щербаков В.П. [169, 170], С.Д. Николаев [91] и другие ученые [5, 71, 112]. Предлагается использовать критерий В.В. Москвитина.

Формула для расчета повреждаемости нити имеет вид:

$$\eta = (m + 1) \int_0^t (t - \tau)^m \frac{dt}{t^{1+m} [\sigma(\tau)]} ; \quad (3.22)$$

где: $t [\sigma(\tau)]$ – время нахождения нити под нагрузкой (определяется экспериментально);

m – эмпирический коэффициент (определяется экспериментально).

Для связи напряжения нити σ и времени разрушения t проф. В.П. Щербаков использовал степенной закон [169, 170]:

$$t = B\sigma^{-b}; \quad (3.23)$$

где:

b и B – эмпирические коэффициенты (определяются экспериментально).

Если учесть представленную выше степенную зависимость критерий Москвитина имеет вид:

$$\eta = \frac{1+m}{B^{1+m}} \int_0^t (t-\tau) \sigma^{(1+m)b}(\tau) d\tau; \quad (3.24)$$

Все расчеты в этом разделе будем проводить по условному напряжению, понятие о котором нами введено в разделе 3.1. Коэффициент повреждаемости рассчитывается по формуле:

$$\eta = \frac{t^{m+1} \sigma^{(1+m)b}}{B^{1+m}}; \quad (3.25)$$

Параметры m , B и b определяются экспериментально из опытов на длительную прочность [169, 170]. В табл. 3-7 представлены экспериментальные данные при испытании арамидной пряжи на долговечность.

Таблица 3-7 Экспериментальные данные при проведении испытаний арамидной пряжи на долговечность

Линейная плотность пряжи, текс	Нагрузка, Н			Время до разрушения, мин		
	P_1	P_2	P_3	t_1	t_2	t_3
30x2	10	15	20	20,171	14,221	5,789
60x2	12,5	17,5	25	3,061	3,896	0,906
83,3x2	15	20	30	0,656	1,269	0,199

Формулы для расчета параметров долговечности имеют следующий вид:

$$\eta_1 = \frac{t_1^{m+1} \sigma_1^{(1+m)b}}{B^{1+m}} = 1 ;$$

$$\eta_2 = \frac{t_2^{m+1} \sigma_2^{(1+m)b}}{B^{1+m}} = 1 ; \quad (3.26)$$

$$\eta_3 = \frac{t_3^{m+1} \sigma_3^{(1+m)b}}{B^{1+m}} = 1 ;$$

В результате расчетов на ПЭВМ получены параметры долговечности арамидной пряжи различной линейной плотности, которые представлены в табл. 3-8.

Таблица 3-8 Параметры долговечности арамидной пряжи

Линейная плотность пряжи, текс	b	B	m
30x2	8,45	$6,28 \cdot 10^5$	-0,93
60x2	8,40	$6,83 \cdot 10^5$	-0,93
83,3x2	8,31	$8,91 \cdot 10^5$	-0,93

При расчете повреждаемости нитей основы пяти спроектированных тканей выбраны параметры для расчета, представленные в табл. 3-9. При определении времени нахождения под нагрузкой параметры заправки ткани, уработка нитей, частота вращения главного вала и зона деформирования нитей основы от навоя до опушки ткани.

Таблица 3-9 Повреждаемость нитей основы

Номер образца	Натяжение основы, сН				Плотность ткани по утку, нит/дм	Время нахождения основы под нагрузкой	Повреждаемость
	Заправочное	При прибое	При зевобразовании	Условное			
	100	150	140	120			0.227
	120	180	160	144			0,253

Номер образца	Натяжение основы, сН				Плотность ткани по утку, нит/дм	Время нахождения основы под нагрузкой	Повреждаемость
	Заправочное	При приборе	При зевобразовании	Условное			
1	140	210	196	168	180	14,175	0,277
	160	240	224	192			0,299
	180	270	252	216			0,321
2	90	135	126	108	160	12,600	0,211
	110	165	154	132			0,238
	130	195	182	156			0,262
	150	225	210	180			0,285
	170	255	238	204			0,306
3	40	60	56	48	150	11,813	0,160
	50	75	70	60			0,182
	60	90	84	72			0,203
	70	105	98	84			0,223
	80	120	112	96			0,241
4	50	75	70	60	180	14,175	0,185
	60	90	84	72			0,206
	70	105	98	84			0,225
	80	120	112	96			0,244
	90	135	126	108			0,262
5	60	90	84	72	200	15750	0,207
	70	105	98	84			0,227
	80	120	112	96			0,246
	90	135	126	108			0,263
	100	150	140	120			0,280

При расчетах нами не учитывалась неравномерность натяжения нитей основы по ширине станка, неравномерность свойств используемых основных нитей. Ранее проведенные исследования показали, что при использовании критерия длительной прочности В.В. Москвитина необходимо брать коэффициент запаса прочности равным 1,5 [89].

Результаты показали, что все спроектированные ткани возможно выработать на отечественном бесчелночном ткацком станке СТБ. Этот вывод важен в связи с тем, что на сегодняшний день ткацкие станки СТБ являются наиболее универсальными с точки зрения использования пряжи и нитей различного волокнистого состава

Выводы по главе 3

1. 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.

2. Рассчитаны параметры в процессе фронтального прибоя уточины к опушке ткани у опушки ткани, в зоне формирования ткани, что в дальнейшем можно использовать при расчете структуры тканей из арамидной пряжи.

3. 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.

4. Получены параметры долговечности арамидной пряжи различной линейной плотности, которые необходимы для оценки напряженности заправочных станков и прогнозирования технологии тканей.

5. На аналитическом уровне использование критерия длительной прочности показало, что все спроектированные ткани возможно выработать на отечественном технологическом оборудовании.

6. Нами не определено, какая из технологических операций ткачества вносит наибольший вклад в повреждаемость нитей:

основы – прибой, осуществляемый за короткий промежуток времени, или зевобразование, превосходящая по времени технологическая операция по сравнению с процессом прибоя;

утка – прокладывание утка при сматывании нити с бобины, прокладывание нити утка при действии уточного тормоза, при разгоне прокладчика, который длится минимальное время по сравнению с другими технологическими операциями.

7. Использование при расчетах теории наследственной вязкоупругости позволяет получить реальные параметры, которые необходимы для

прогнозирования структур вырабатываемых тканей из арамидной пряжи и оценки напряженности заправочных ткацких станков.

8. Результаты исследования позволили получить большой массив расчетных данных, который может быть использован при прогнозировании и анализе технологии арамидных тканей.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТКАНЕЙ ИЗ АРАМИДНОЙ ПРЯЖИ

В данной главе приводятся данные заправки исследуемых тканей. Их характеристика представлена в табл. 4-1.

Таблица 4-1 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	294
30x2	60x2	170	200	полотно	236
60x2	60x2	180	180	полотно	467
60x2	60x2	180	160	полотно	432
60x2	60x2	200	150	полотно	353
60x2	30x2	200	180	полотно	238
60x2	30x2	200	200	полотно	265

4.1. Анализ технологии изготовления арамидной ткани на бесчелночных ткацких станках СТБ

4.1.1. Анализ натяжения основных нитей

Натяжение нитей играет большое значение для нормального протекания технологического процесса ткачества и формирования рациональной структуры тканей. Практически ни одно научное исследование не обходится без анализа натяжения основы. К сожалению, экспериментально записать существующими стандартными приборами можно только в зоне «скало – ламели». В зоне, где нити основы не перемещаются в вертикальной плоскости. Это натяжение значительно меньше натяжения основы в зоне формирования ткани, где формируется структура ткани. Но во всех научных исследованиях, в технических условиях на изготовление ткани указывается натяжение основы, измеренное в зоне «скало –

ламели». Рекомендуется для станков СТБ устанавливать заправочное натяжение основы в рамках 8-10% разрывной нагрузки. Это справедливо для тканей массового ассортимента из традиционного сырья (хлопок, шерсть, лен, вискоза и др.). Для высокопрочных тканей это правило не выполняется. Если бы оно выполнялось, то общее натяжение нитей основы было бы настолько велико, что ни один существующий механизм отпуска и натяжения основы не мог бы с этим справиться.

На рис. 4-1 представлена осциллограмма среднего натяжения для трех тканей (ткань 9, ткань 7, ткань 1).

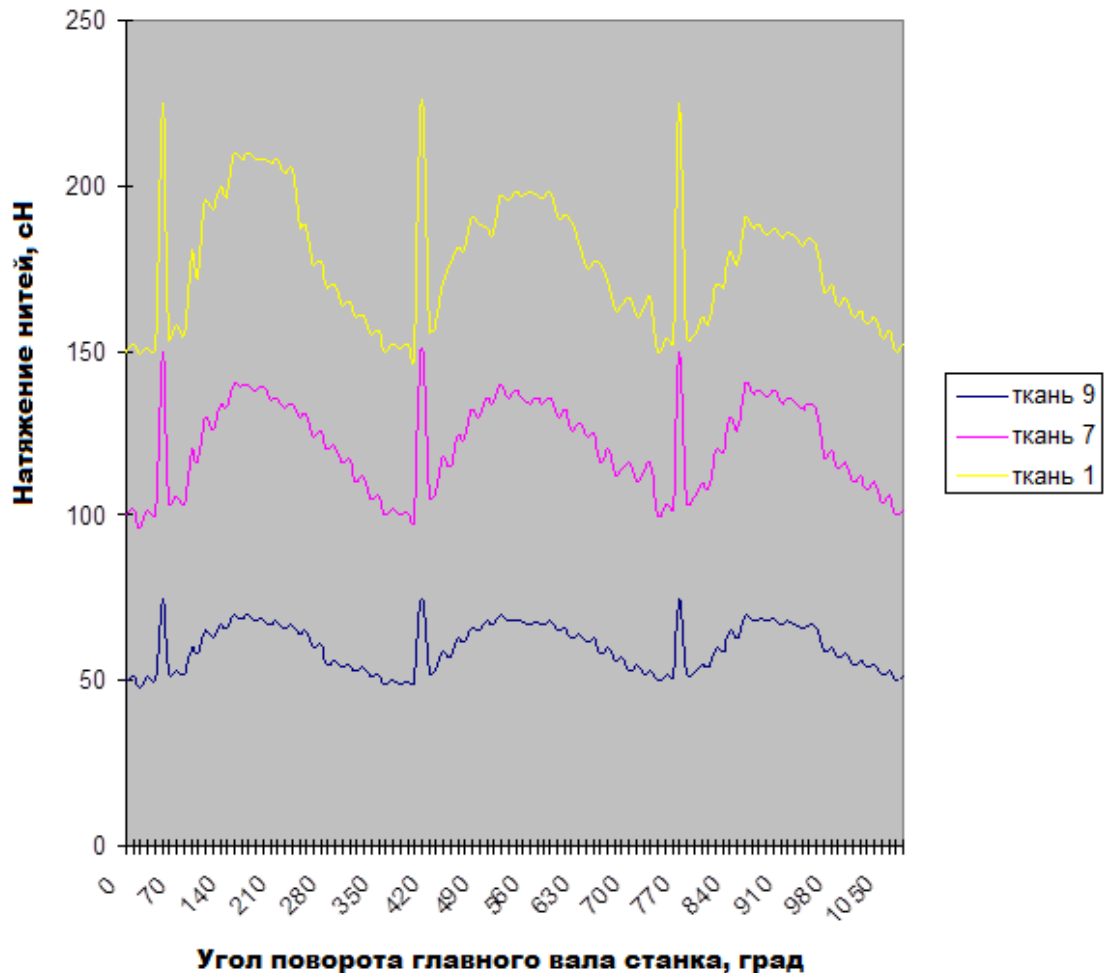


Рисунок 4-1 Осциллограмма среднего натяжения

Естественно, максимальное натяжение основы имеют нити большей линейной плотности. Натяжение основы при прибое больше натяжения нитей при зевобразовании. При выстое ремизок, согласно круговой диаграмме,

циклообразования натяжения основы немного уменьшается, что свидетельствует о возникновении обратимых деформаций. Это еще раз свидетельствует о вязкоупругой природе используемых нитей.

В табл. 4-2 представлены данные по натяжению нитей основы для десяти рассматриваемых тканей за один раппорт переплетения ткани.

В таблице даны следующие обозначения:

F_1 - заправочное натяжение основных нитей;

F_2 - натяжение основных нитей при прибое;

F_3 - натяжение основных нитей при зевобразовании.

Ткани с раппортом 2 и 3 имели в заправке 6 ремизок, с раппортом 4 – 8 ремизок. Конечно, большая неравномерность натяжения нитей усложняет протекание технологического процесса.

Таблица 4-2 Среднее натяжение основных нитей за один раппорт

Ткань	1 прокидка			2 прокидка			3 прокидка			4 прокидка		
	F_1	F_2	F_3	F_1	F_2	F_3	F_1	F_2	F_3	F_1	F_2	F_3
1	150	225	210	153	229	215						
2	140	210	180	139	210	180	138	210	200	143	211	200
3	90	135	125	92	138	130	92	137	129			
4	90	136	125	90	138	127						
5	45	67	64	45	69	48						
6	103	155	144	104	158	145						
7	100	150	140	102	153	143						
8	47	70	67	47	72	48						
9	50	75	70	51	77	72						
10	54	78	73	55	79	74						

Статистика данных свидетельствует о том, что натяжение основных нитей, находящихся в нижней части зева, несколько больше натяжения основных нитей, находящихся в верхнем положении. Это справедливо, если ткани вырабатываются на бесчелночных ткацких станках СТБ. Конечно, наладка станка может получить обратную картину, но для исследуемых тканей это так. При выстое ремизок для открытого зева при выработке тканей с раппортом больше 2 натяжение основы несколько снижается в основные периоды тканеформирования.

В табл. 4-3 представлены данные натяжения основы, пробранных в различные ремизки.

Таблица 4-3 Натяжение основных нитей, пробранных в различные ремизки в основные периоды тканеформирования (сН)

№ ремизки	Натяжение	Ткань 1	Ткань 2	Ткань 3	Ткань 4	Ткань 5	Ткань 6	Ткань 7	Ткань 8	Ткань 9	Ткань 10
1	F ₁	151	139	90	90	45	103	100	47	50	54
	F ₂	235	190	145	146	75	165	160	81	85	88
	F ₃	219	180	140	135	72	155	150	77	80	83
2	F ₁	151	139	90	91	46	104	101	47	50	55
	F ₂	231	217	150	143	72	161	157	77	81	84
	F ₃	215	185	135	132	69	151	155	73	76	78
3	F ₁	151	139	90	90	45	103	100	47	50	54
	F ₂	227	214	145	139	69	159	153	73	77	80
	F ₃	211	188	140	128	66	148	149	70	73	77
4	F ₁	151	142	90	91	46	104	102	47	50	55
	F ₂	223	212	130	136	66	155	149	69	73	76
	F ₃	208	190	125	125	63	144	144	64	68	72
5	F ₁	151	139	90	90	45	103	100	47	50	54
	F ₂	219	208	135	132	63	151	146	64	68	72
	F ₃	215	170	122	121	60	140	140	60	63	68
6	F ₁	151	139	90	91	46	104	101	47	50	55
	F ₂	205	204	133	129	60	147	143	59	63	68
	F ₃	202	180	127	117	57	136	135	54	58	64
7	F ₁		139								
	F ₂		201								
	F ₃		185								
8	F ₁		140								
	F ₂		199								
	F ₃		190								

4.1.2. Анализ натяжения уточных нитей

4.1.2.1. Анализ натяжения утка при использовании стандартных конических бобин

Натяжение утка, наряду с натяжением основы, играет существенную роль для нормального протекания технологического процесса ткачества, формирования ткани заданной структуры, получения ткани с необходимыми

свойствами. На рис. 4-2 дана осциллограмма натяжения утка для ткани из арамидной пряжи полотняного переплетения за несколько оборотов главного вала. Натяжение утка измерялось в зоне, наиболее удобной для экспериментирования: компенсатор – уточный тормоз. Натяжение измерялось при использовании конических бобин. Использовалась стандартная измерительная аппаратура. Выбор датчиков осуществлялся по стандартной методике (частота собственных колебаний датчика должна быть в 8-10 раз больше частоты самой быстрой технологической операции на ткацком станке, в нашем случае – это разгон микропрокладчика). Кривые натяжения утка приведены для образцов № 1, 7, 9. Анализ кривых позволяет сделать вывод о том, что с увеличением линейной плотности прокладываемых уточных нитей натяжение утка возрастает пропорционально толщине нитей, что, конечно, естественно. В табл. 4-4 даны значения натяжения утка в различные периоды прокладывания утка. В таблице даны следующие обозначения:

F_1 - натяжение утка перед разгоном прокладчика;

F_2 - натяжение утка при разгоне прокладчика;

F_3 - натяжение утка при прокладывании утка и сматывании нити утка бобины;

F_4 - натяжение утка при прокладывании и действии уточного тормоза.

Таблица 4-4 Натяжение утка в различные периоды прокладывания (сН)

F_1	F_2	F_3	F_4
151	298	180	241
160	301	182	243
98	195	130	161
99	106	178	160
54	101	65	80
99	199	132	150
98	198	133	164
101	200	130	160
53	101	66	80
54	102	65	80

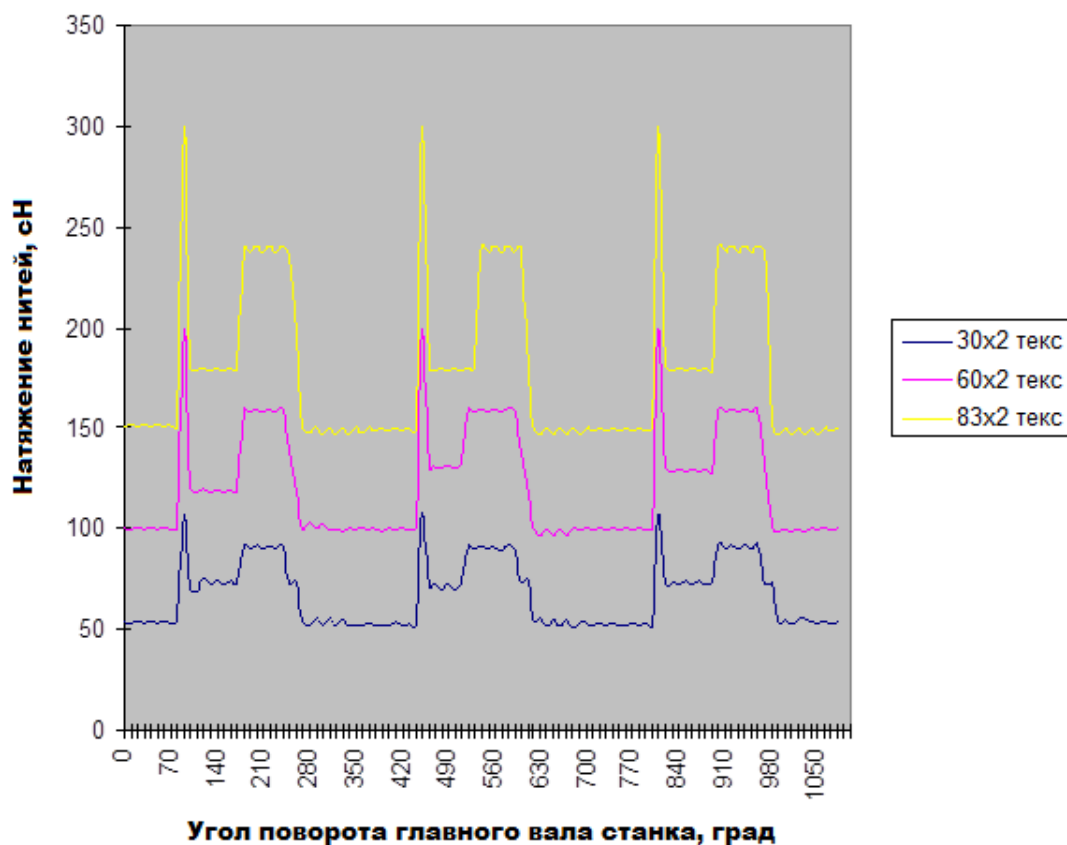


Рисунок 4-2 Осциллограмма натяжения утка на бесчелночном ткацком станке СТБ

Натяжение уточных нитей при прокладывании утка зависит только от линейной плотности уточных нитей. Конечно, для нас очень важным является натяжение утка при формировании элемента ткани, которое существующими приборами мы измерить не можем. Поэтому при анализе процесса формирования ткани (процесса приобоя уточины к опушке ткани) нам необходимо учитывать параметры заправки ткани. И в зависимости от того, какую структуру ткани мы желаем получить, устанавливать то или иное натяжение утка. Но это отдельный вопрос и в нашей работе он не исследуется. Из данных таблиц видно, что за период прокладывания натяжение утка имеет большой размах, что для технологии, наверно, не очень хорошо. При высоких скоростях для снижения неравномерности натяжения утка целесообразно устанавливать накопители утка.

4.1.2.2. Анализ натяжения утка при использовании цилиндрических бобин

Как уже было отмечено выше, при использовании конических бобин наблюдается значительное колебание натяжения утка. На современных станках при повышении скоростного режима ткацкого станка используются уточные накопители, при использовании которых улучшаются условия сматывания нитей с бобины. Это позволяет использовать на ткацких станках бобины больших размеров с массой 4-5 кг. Это, безусловно, повышает производительность станка и труда в ткачестве.

На рис. 4-3 даны сравнительные осциллограммы натяжения утка при использовании конических и цилиндрических бобин.

В табл. 4-5 представлены данные натяжения утка при прокладывании с бобин конической и цилиндрической намоток.

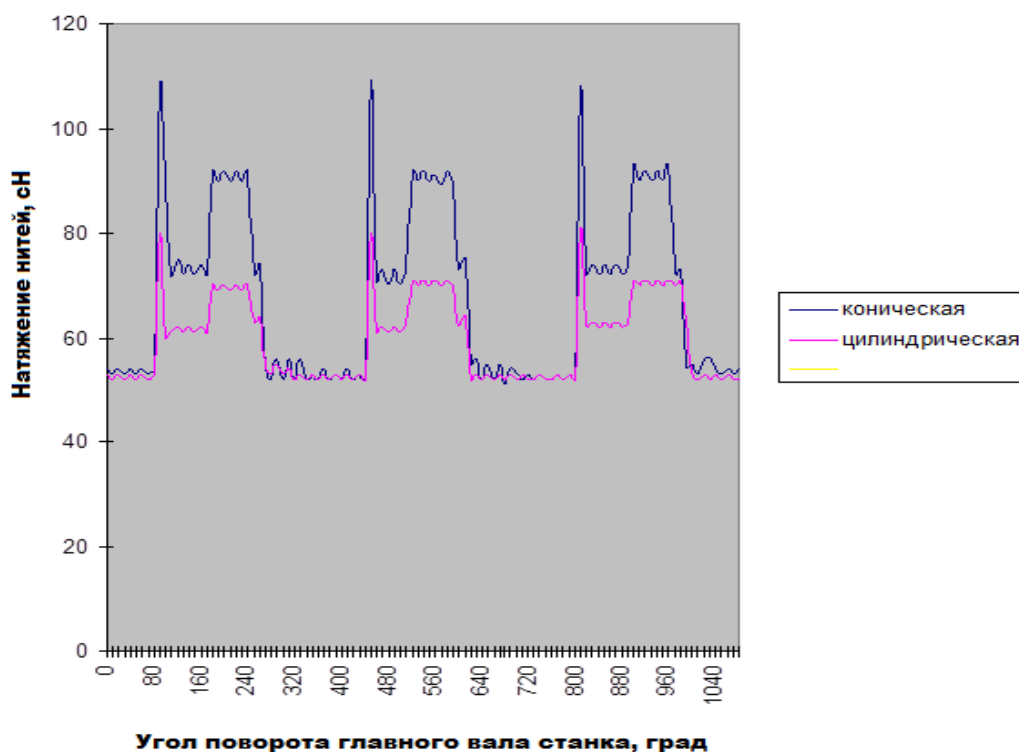


Рисунок 4-3 Осциллограммы натяжения утка при прокладывании утка с бобин различной структуры намотки

Таблица 4-5 Натяжение утка при сматывании с бобин различной структуры

Линейная плотность нити, текс	Удельная плотность нити, г/см ³	Масса бобины, кг	Натяжение нити, сН			
			F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
Коническая бобина						
30x2	0,52	1,73	53	98	65	82
60x2	0,51	1,78	98	201	130	178
83,3x2	0,50	1,74	151	289	185	240
Цилиндрическая бобина						
30x2	0,79	3,87	52	77	60	70
60x2	0,80	3,85	96	150	115	130
83,3x2	0,80	3,96	147	210	170	190

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что натяжение нитей утка при прокладывании с цилиндрических бобин сомкнутой намотки значительно ниже натяжения нитей при сматывании с конических бобин с постоянным углом скрещивания витков. Однако в настоящее время в России отсутствуют мотальные машины и автоматы для получения паковок сомкнутой намотки, что снижает производительность оборудования и труда в ткачестве.

4.2. Анализ структуры арамидных тканей, изготовленных на бесчелночных ткацких станках СТБ

4.2.1. Методика определения параметров структуры тканей по её микросрезам с использованием современных информационных технологий

На кафедре ткачества МГТУ им. А.Н.Косыгина (ныне – кафедре проектирования и художественного оформления текстильных изделий РГУ имени А.Н.Косыгина) разработан новый «автоматизированный метод расчета параметрам строения тканей на ЭВМ, который включает в себя:

- разработку универсальной геометрической модели строения однослойной ткани;
- сканирование микросрезов ткани вдоль нитей основы и утка;

- разработку метода расчета параметров структуры ткани (сечения нитей основы и утка, высоты волн изгиба основы и утка, ПФС, расстояния между соседними основными и уточными нитями в местах пересечения нитей друг с другом» [88].

Этот метод сегодня используется учеными и специалистами многих вузов, готовящих специалистов для текстильной промышленности, но одной из первых были работы Никишина В.Б. На рис. 4-4 показано рабочее меню «программы LifeView USB RoboCAM» [88].

Приготовление микросрезов путем их проклеивания клеем БФ проводится по общеизвестной методике и здесь не описывается [95, 96]. Если раньше исследование и определение параметров структуры тканей проводилось при помощи изготовленных фотографий, что трудоемко и длительно, то использование современных информационных технологий позволяет оперативно определить необходимые параметры на компьютере при помощи специальной программы для расчета параметров. Эта программа позволяет проанализировать два микросреза, сделанных вдоль нитей основы и вдоль нитей утка. При этом определяются все параметры структуры как по первому, так и по второму срезам. Если параметры структуры тканей по обоим срезам получаются примерно одинаковыми, то это свидетельствует о достоверности полученных результатов и корректности использовании данной методики.

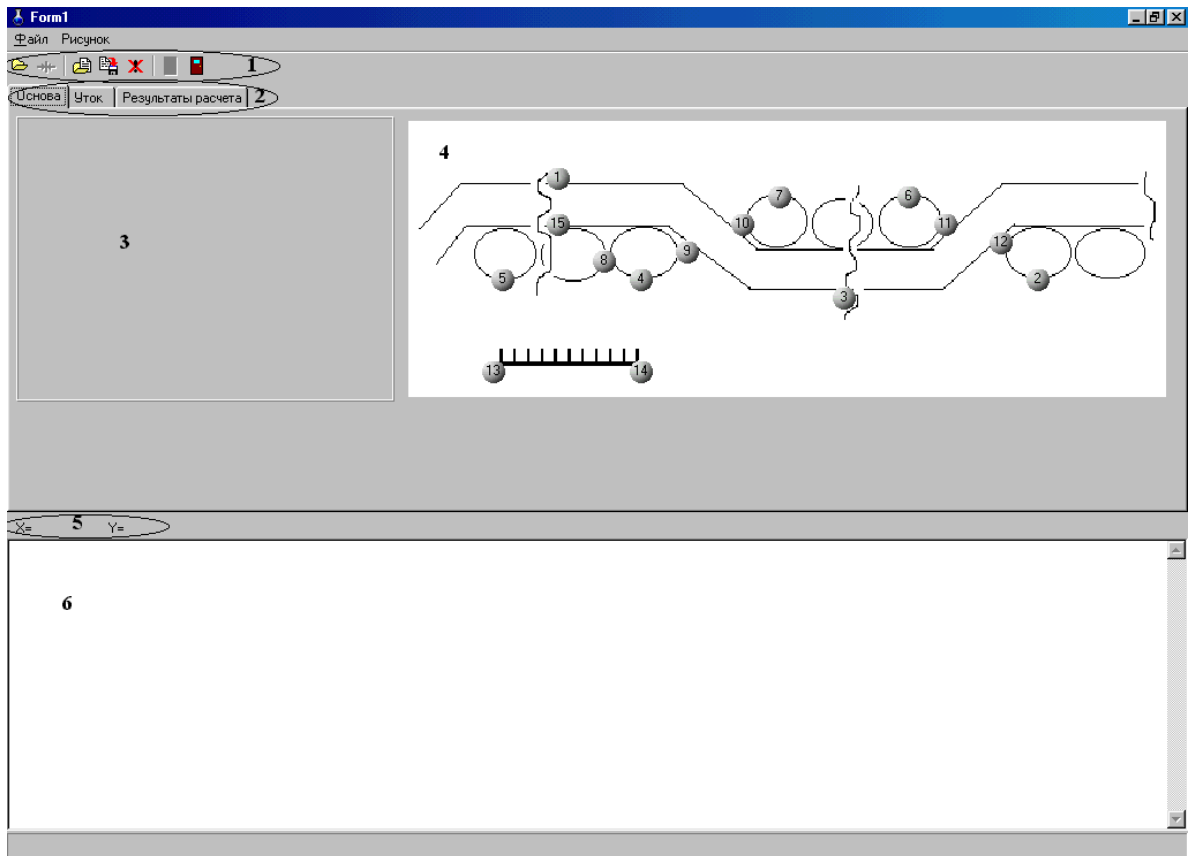


Рисунок 4-4 Меню программы LifeView USB RoboCAM

На рис. 4-5 представлен микросрез арамидной ткани полотняного переплетения.

На рис. 4-6 представлена геометрическая модель строения ткани переплетением саржа 3/3, полученная в автоматизированном режиме на дисплее. После того, как будут отмечены при помощи мышки характерные точки этой модели, проводится расчет параметров структуры тканей. Преимуществом данного метода является и то, что мы можем получить и реальный микросрез в любом масштабе. Этот рисунок показывает универсальность однослойной модели. Для тканей, имеющих в раппорте переплетения более короткие перекрытия, количество обозначаемых точек будет уменьшено.

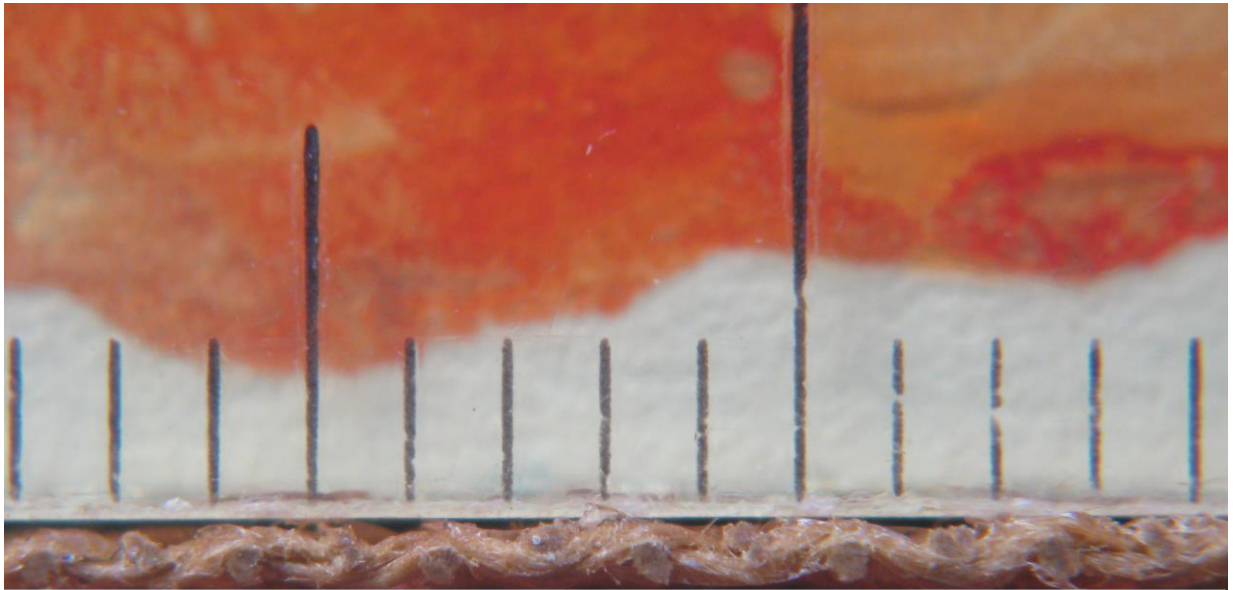


Рисунок 4-5 Микросрез арамидной ткани полотняного переплетения

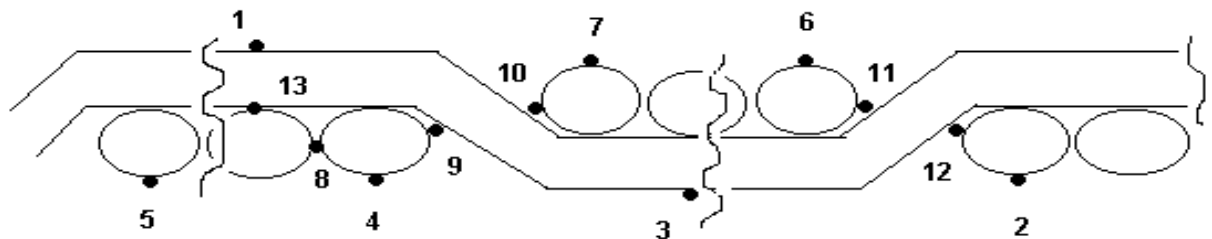


Рисунок 4-6 Геометрическая модель строения однослойной ткани переплетением саржа 3/3

4.2.2. Анализ параметров строения арамидных тканей

В табл. 4-6 представлены данные параметров структуры исследуемых арамидных тканей, которые получены при использовании вышеописанной методики в предыдущем разделе.

Таблица 4-6 Параметры структуры арамидных тканей

№ ткани	Линейная плотность нитей, текс		Плотность ткани, нит/дм		Перепле- тение	Уработка нитей, %	
	основы	утка	по основе	по утку		основы	утка
Для микросреза вдоль нитей основы							
1	83x2	83x2	140	110	полотно	11,34	3,88
2	83x2	83x2	138	104	саржа 3/1	4,98	1,82
3	60x2	60x2	150	115	саржа 1/2	4,63	1,67
4	60x2	60x2	144	84	полотно	4,42	4,43
5	30x2	30x2	170	200	полотно	4,38	5,87
6	60x2	60x2	180	180	полотно	11,41	11,35
7	60x2	50x2	180	160	полотно	10,58	9,65
8	30x2	60x2	200	150	полотно	7,22	8,88
9	30x2	30x2	200	180	полотно	8,05	5,54
10	30x2	30x2	200	200	полотно	7,29	7,26
Для микросреза вдоль нитей утка							
1	83x2	83x2	140	110	полотно	11,45	3,90
2	83x2	83x2	138	104	саржа 3/1	4,93	1,84
3	60x2	60x2	150	115	саржа 1/2	4,75	1,71
4	60x2	60x2	144	84	полотно	4,46	4,47
5	30x2	30x2	170	200	полотно	4,44	5,88
6	60x2	60x2	180	180	полотно	10,53	11,32
7	60x2	50x2	180	160	полотно	7,27	9,62
8	30x2	60x2	200	150	полотно	8,14	8,83
9	30x2	30x2	200	180	полотно	7,27	5,54
10	30x2	30x2	200	200	полотно	7,24	7,24
Диаметр нити в ткани, мм				Высота волны изгиба, нити в ткани, мм		Поря- док фазы строе- ния ткани	Толщ- ина ткани , мм
основы		утка					
по горизонт али	по вертик али	по горизонта ли	по верти кали	основ ы	утка		
Для микросрезов вдоль нитей основы							
0,613	0,328	0,585	0,350	0,474	0,205	6,42	0,802
0,610	0,327	0,588	0,348	0,475	0,200	6,62	0,802

Продолжение таблицы 4-6

0,521	0,278	0,501	0,305	0,405	0,178	6,52	0,683
0,523	0,279	0,500	0,300	0,366	0,214	7,49	0,645
0,362	0,193	0,355	0,211	0,153	0,211	4,13	0,422
0,523	0,280	0,501	0,301	0,291	0,290	5,01	0,571
0,525	0,279	0,498	0,298	0,313	0,264	5,72	0,543
0,365	0,195	0,500	0,300	0,268	0,226	5,51	0,526
0,360	0,200	0,350	0,210	0,237	0,173	5,63	0,437
0,361	0,196	0,351	0,210	0,203	0,203	5,00	0,399
Для микросрезов вдоль нитей утка							
0,614	0,327	0,584	0,350	0,476	0,206	6,42	0,803
0,611	0,327	0,585	0,352	0,475	0,200	6,62	0,802
0,520	0,281	0,500	0,300	0,404	0,178	6,52	0,685
0,521	0,280	0,500	0,302	0,367	0,216	7,49	0,647
0,360	0,196	0,357	0,215	0,153	0,212	4,13	0,427
0,521	0,282	0,502	0,308	0,292	0,291	5,01	0,574
0,526	0,279	0,503	0,300	0,310	0,265	5,72	0,544
0,366	0,196	0,503	0,296	0,267	0,226	5,51	0,522
0,360	0,201	0,347	0,208	0,235	0,174	5,63	0,436
0,361	0,197	0,352	0,213	0,205	0,205	5,00	0,402

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что расчеты по микросрезам вдоль нитей основы и микросрезам вдоль нитей утка дают одинаковые результаты. Результаты экспериментальных исследований коррелируют с данными приведенных ранее расчетов. Это свидетельствует о достоверности результатов и корректности применяемых как методов расчета, так методов экспериментального исследования структуры тканей.

4.3. Исследование свойств арамидных тканей

4.3.1. Исследование свойств нитей

В табл. 4-7 даны свойства используемых нитей до и после ткачества.

Таблица 4-7 Физико-механические свойства арамидных нитей до/после ткачества

Линейная плотность	Разрывная нагрузка, Н		Разрывное удлинение, %		Стойкость нитей к истиранию, циклов		Выносливость нитей к многократным нагрузкам, циклов	
	основы	утка	основы	утка	основы	утка	основы	Утка
Нити до ткачества								
30x2 текс	30,64		3,52		687		6180	
60x2 текс	57,12		3,43		615		7470	
83,3x2 текс	73,54		3,39		734		8210	
Нити после ткачества								
Ткань 1	64,12	70,54	2,88	3,44	435	730	6100	
Ткань 2	65,14	71,43	2,96	3,19	421	721	6060	
Ткань 3	50,34	55,68	2,21	3,35	456	610	5430	
Ткань 4	48,15	56,83	3,04	3,54	467	612	5230	
Ткань 5	26,45	29,57	3,05	3,44	521	660	4570	
Ткань 6	48,02	57,12	3,02	3,21	489	601	4860	
Ткань 7	47,34	56,47	2,97	3,16	589	587	4600	
Ткань 8	25,12	29,21	3,43	3,29	586	612	4360	
Ткань 9	27,14	30,43	3,21	3,34	523	670	4600	
Ткань 10	26,89	39,54	3,01	3,39	531	659	4230	

Полуцикловые характеристики определялись по стандартной методике и здесь не описывается. Стойкость нитей на истирание и выносливость к многократным нагрузка определялась по стандартным методикам и здесь не описывается. Для большей точности результатов количество повторений каждого опыта составляла 100 испытаний.

Анализ полученных данных позволил сделать следующие выводы:

- разрывная нагрузка арамидной пряжи значительно ниже разрывной нагрузки арамидных нитей, но она все же достаточно высокая, а относительная разрывная нагрузка разрывной пряжи превышает практически прочностные

показатели известных нитей, используемых в ткачестве, и составляет 45-50 сН/текс:

- разрывное удлинение арамидной пряжи превышает разрывное удлинение арамидных нитей на 30-50%, что благоприятно;
- разрывная нагрузка основных нитей, вынутых из ткани, уменьшается по сравнению с разрывной нагрузкой нитей до ткачества на 12-20% за счет возникающих в процессе ткачества повреждения нитей, а разрывное удлинение уменьшается на 20-25%, что свидетельствует о том, что арамидные нити и пряжа испытывают в ткачестве значительные растягивающие нагрузки, при этом возникающие деформации составляют 40-50% от разрывных, а разрывная нагрузка составляет всего 10-20% от разрывных нагрузок;
- полуцикловые характеристики утка уменьшаются по сравнению с аналогичными характеристиками нитей до ткачества и не превышают 3-5%, так как нити утка имеют напряженно-деформированное состояние только в течение одной прокидки утка.

4.3.2. Исследование свойств тканей

В табл. 4-8 даны значения свойств арамидных тканей.

Таблица 4-8 Физико-механические свойства арамидных тканей

№ ткани	Разрывная нагрузка полосы ткани, Н		Разрывное удлинение полосы ткани, Н		Стойкость тканей к истиранию, циклов
	Вдоль основы	Вдоль утка	Вдоль основы	Вдоль утка	
Ткань 1	4950	4770	10,6	7,45	267
Ткань 2	4863	4678	7,87	5,34	238
Ткань 3	2800	2680	8,67	5,12	367
Ткань 4	4757	2810	6,14	5,14	234
Ткань 5	2780	2800	6,34	5,06	356
Ткань 6	3200	3160	6,54	5,12	267
Ткань 7	3300	3100	6,54	5,51	346
Ткань 8	2160	1870	5,49	5,05	239
Ткань 9	1380	1300	5,19	4,98	372
Ткань 10	1410	1380	5,69	5,02	349

Данные таблицы показывают, что:

- высокие показатели прочностных характеристик тканей из арамидной пряжи позволяют использовать исследуемые ткани для пошива специальной одежды (например, для пошива бронежилетов или костюмов для пожарных);
- разрывное удлинение полосок ткани определяется разрывным удлинением используемых нитей, уработками нитей основы и утка в ткани, возникшими повреждениями в процессе ткачества.
- значения разрывного удлинения полосок ткани меньше суммы разрывного удлинения используемых нитей и уработок нитей, что свидетельствует о начале разрушения материала до полного распрямления нитей в ткани;
- стойкость тканей к истиранию обеспечивает выполнение требований, предъявляемых к специальной одежде.

Выводы по главе 4

1. Получена статистика данных натяжения основных и уточных нитей при изготовлении арамидных тканей.

2. Заправочное натяжение основы составляет 2-2,5% от разрывной нагрузки нитей, что значительно меньше рекомендаций, указанных в учебной литературе по ткачеству.

3. Натяжение уточной нити при прокладывании её на бесчелночных ткацких станках СТБ соизмеримо с натяжением основных нитей.

4. При использовании бобин крестовой намотки с удельной плотностью намотки $0,5 \text{ г/см}^3$ 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 $0,8 \text{ г/см}^3$.

5. Значения параметров структуры тканей из арамидной пряжи, полученные экспериментально, при использовании современных информационных технологий, подтверждают правильность выбранных моделей строения однослойных тканей.

6. 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.

7. Определены основные физико-механические свойства тканей из арамидной пряжи, их значения отвечают требованиям, предъявляемых к огнезащитным тканям для специальной одежды.

8. Получена статистика прочностных показателей тканей из арамидной пряжи, что позволяет на стадии проектирования тканей прогнозировать их свойства.

5. ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ АРАМИДНЫХ ТКАНЕЙ

5.1. Алгоритм решения задачи по установлению причинно-следственных связей между факторами

Рост выпуска тканей технического и специального назначения приводит к некоторым затруднениям при проведении научных исследований. Это связано, прежде всего, с высокими ценами на сырье для изготовления таких материалов. Использование нами дорогостоящего арамидного сырья требует использования новых методов и средств экспериментального исследования.

Одним из эффективных методов, на наш взгляд, является использование теории информации. Впервые в качестве ее использовал С.Д. Николаев [89].

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» [71].

Её использование во многих работах, проводимых в РГУ имени А.Н.Косыгина (ранее в МГТУ имени А.Н.Косыгина) в течение продолжительного периода времени, показала её эффективность [96].

«Проблема идентификации формулируется следующим образом: рассматриваются две переменные Y и X , между которыми существует причинная связь и имеется статистика значений рассматриваемых переменных X_i, Y_i ,

$i=1, 2, \dots, N$. Требуется на основании анализа статистики данных определить направление причинной связи и дать её количественную оценку» [71, 89].

Использование методов корреляционного анализа здесь неточно, так как величина корреляции включает в себя связи эффектов сопутствия. Что такое эффекты сопутствия поясним на простом примере. Увеличение заправочного натяжения основы приводит к усилению давления на качающееся скало и оно изменяет свое положение. Изменение положения скала по вертикали приводит к изменению угла обхвата скала и изменению натяжения нитей. Примеры можно продолжить.

Энтропия распределения вероятностей для одномерной случайной величины рассчитывается по формуле [71, 89]:

$$H_i = \sum_1^k P(X_{k_i}) \log_2 P(X_{k_i}) ; \quad (5.1)$$

где:

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

Информации между i -м и j -м факторами определяется по формуле [71, 89].

$$I_{ij} = \sum_1^{k,r} P(X_{k_i}, X_{r_j}) \log_2 \frac{P(X_{k_i}, X_{r_j})}{P(X_{k_i}) P(X_{r_j})} ; \quad (5.2)$$

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 расчета коэффициентов причинного влияния необходимо использовать следующую формулу [71, 89]:

$$\Gamma_{ij} = I_{ij} / H_i ; \quad (5.3)$$

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

При расчете коэффициентов Γ_{ij} целесообразно при определении информации и энтропии для удобства использовать десятичные логарифмы вместо логарифмов с основанием 2 [71, 89]. Практически во всех работах так и делается. «Предлагается использовать следующее соотношение:

если $I_{12}:H_1 > I_{21}:H_2$, то $2 \rightarrow 1$,

где I , H – соответственно информация и энтропия распределения вероятностей случайных величин. Поскольку $I_{12}=I_{21}$, то в случае если $H_1 < H_2$, $2 \rightarrow 1$.» [71, 89].

5.2. Установление причинно-следственных связей между параметрами

«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/кв.м
- 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 по основе, 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.

Эти факторы известны и используются при исследовании любой ткани» [5, 89, 101].

Для расчета энтропии, информации и коэффициентов причинного влияния Назаровой М.В. составлена специальная программа расчета на ЭВМ [168]. Расчет проводился для 21 фактора, каждый фактор имел 100 значений, полученных из проведенных экспериментальных исследований, проведенных автором данной работы, Алексеем И.Слугиным, Андреем И.Слугиным. [156, 149].

В табл. 5-1 представлены значения энтропии исследуемых факторов.

Таблица 5-1 Значения энтропии для исследуемых параметров

Параметр	Значение энтропии	Параметр	Значение энтропии	Параметр	Значение энтропии
H_1	0,473	H_8	0,818	H_{15}	0,693
H_2	0,473	H_9	0,837	H_{16}	0,547
H_3	0,901	H_{10}	0,805	H_{17}	0,515
H_4	0,928	H_{11}	0,881	H_{18}	0,530
H_5	0,843	H_{12}	0,837	H_{19}	0,514
H_6	0,818	H_{13}	0,693	H_{20}	0,261
H_7	0,848	H_{14}	0,681	H_{21}	0,203

Анализ таблицы показывает:

- в работе использовано всего 3 различных по линейной плотности вида арамидной пряжи. Поэтому энтропия этих факторов (X_1 и X_2) небольшая, при дальнейшем исследовании линейная плотность нитей предопределила значения свойств используемых нитей, структуру исследуемых тканей и их свойства, уровень технологических параметров;

- все исследуемые факторы имеют неравномерность в показателях, поэтому все они объединялись в различные группы, причем в группе расхождение значений энтропии не превышала 5%. Факторы, попавшие в одну группу, оказались независимыми друг от друга. При дальнейшем исследовании причинно-следственная связь между ними не рассматривалась;

- установлено, что основными факторами, определяющими все остальные факторы, являются параметры заправки ткани (X1-X4), они являются причиной всех остальных факторов;

- факторы (X5-X10, X12) – это свойства используемых нитей, они являются следствием факторов (X1-X4);

- фактор X11 (поверхностная плотность ткани) является следствием факторов (X1-X10, X120)

- факторы (X13-X15), являющиеся технологическими параметрами являются следствием факторов (X1-X12), которые характеризуют параметры структуры тканей и свойства используемых нитей;

- факторы (X16-X19), являющиеся свойствами исследуемых тканей, являются следствием параметров заправки и структуры тканей, а также технологических параметров;

- обрывность нитей (факторы X20, X21) являются комплексными показателями и зависят от всех исследуемых факторов (X1-X19), что естественно.

Для определения количественных значений интенсивности причинно-следственных связей необходимо знать величины информации и коэффициенты причинного влияния. Они представлены в табл. 5-2.

Таблица 5-2 Коэффициенты причинного влияния факторов

Направленность связи $X_i \rightarrow X_j$	I_{ij}	Γ_{ij}	Направленность связи $X_i \rightarrow X_j$	I_{ij}	Γ_{ij}
1	2	3	4	5	6
$X_3 \rightarrow X_5$	0,637	0,708	$X_4 \rightarrow X_5$	0,220	0,237
$X_3 \rightarrow X_6$	0,432	0,480	$X_4 \rightarrow X_6$	0,183	0,197
$X_3 \rightarrow X_7$	0,654	0,726	$X_4 \rightarrow X_7$	0,225	0,242
$X_3 \rightarrow X_8$	0,432	0,480	$X_4 \rightarrow X_8$	0,183	0,197
$X_3 \rightarrow X_9$	0,585	0,649	$X_4 \rightarrow X_9$	0,162	0,174
$X_3 \rightarrow X_{10}$	0,518	0,575	$X_4 \rightarrow X_{10}$	0,157	0,169
$X_3 \rightarrow X_{11}$	0,424	0,471	$X_4 \rightarrow X_{11}$	0,232	0,250
$X_3 \rightarrow X_{12}$	0,189	0,210	$X_4 \rightarrow X_{12}$	0,161	0,173
$X_3 \rightarrow X_{13}$	0,505	0,571	$X_4 \rightarrow X_{13}$	0,246	0,265
$X_3 \rightarrow X_{14}$	0,105	0,116	$X_4 \rightarrow X_{14}$	0,188	0,203
$X_3 \rightarrow X_{15}$	0,089	0,099	$X_4 \rightarrow X_{15}$	0,130	0,140
$X_3 \rightarrow X_{16}$	0,359	0,398	$X_4 \rightarrow X_{16}$	0,116	0,125
$X_3 \rightarrow X_{17}$	0,368	0,409	$X_4 \rightarrow X_{17}$	0,075	0,081
$X_3 \rightarrow X_{18}$	0,262	0,291	$X_4 \rightarrow X_{18}$	0,169	0,182
$X_3 \rightarrow X_{19}$	0,353	0,392	$X_4 \rightarrow X_{19}$	0,077	0,083
$X_3 \rightarrow X_{20}$	0,048	0,053	$X_4 \rightarrow X_{20}$	0,037	0,039
$X_3 \rightarrow X_{21}$	0,046	0,051	$X_4 \rightarrow X_{21}$	0,019	0,020
$X_5 \rightarrow X_{11}$	0,370	0,409	$X_6 \rightarrow X_{11}$	0,271	0,331
$X_5 \rightarrow X_{13}$	0,598	0,709	$X_6 \rightarrow X_{13}$	0,276	0,337
$X_5 \rightarrow X_{14}$	0,033	0,039	$X_6 \rightarrow X_{14}$	0,109	0,133
$X_5 \rightarrow X_{15}$	0,039	0,046	$X_6 \rightarrow X_{15}$	0,121	0,148
$X_5 \rightarrow X_{16}$	0,516	0,612	$X_6 \rightarrow X_{16}$	0,207	0,253
$X_5 \rightarrow X_{17}$	0,337	0,399	$X_6 \rightarrow X_{17}$	0,461	0,564
$X_5 \rightarrow X_{18}$	0,367	0,435	$X_6 \rightarrow X_{18}$	0,079	0,097
$X_5 \rightarrow X_{19}$	0,335	0,398	$X_6 \rightarrow X_{19}$	0,460	0,562
$X_5 \rightarrow X_{20}$	0,049	0,059	$X_6 \rightarrow X_{20}$	0,055	0,068
$X_5 \rightarrow X_{21}$	0,048	0,056	$X_6 \rightarrow X_{21}$	0,035	0,043
$X_7 \rightarrow X_{11}$	0,373	0,440	$X_8 \rightarrow X_{11}$	0,272	0,333
$X_7 \rightarrow X_{13}$	0,603	0,711	$X_8 \rightarrow X_{13}$	0,277	0,338
$X_7 \rightarrow X_{14}$	0,035	0,041	$X_8 \rightarrow X_{14}$	0,112	0,136
$X_7 \rightarrow X_{15}$	0,038	0,045	$X_8 \rightarrow X_{15}$	0,123	0,148
$X_7 \rightarrow X_{16}$	0,517	0,608	$X_8 \rightarrow X_{16}$	0,208	0,254
$X_7 \rightarrow X_{17}$	0,354	0,418	$X_8 \rightarrow X_{17}$	0,462	0,565
$X_7 \rightarrow X_{18}$	0,368	0,434	$X_8 \rightarrow X_{18}$	0,078	0,098
$X_7 \rightarrow X_{19}$	0,353	0,417	$X_8 \rightarrow X_{19}$	0,460	0,562
$X_7 \rightarrow X_{20}$	0,048	0,056	$X_8 \rightarrow X_{20}$	0,055	0,068
$X_7 \rightarrow X_{21}$	0,047	0,056	$X_8 \rightarrow X_{21}$	0,035	0,043
$X_9 \rightarrow X_{11}$	0,336	0,401	$X_{10} \rightarrow X_{11}$	0,346	0,430
$X_9 \rightarrow X_{13}$	0,441	0,527	$X_{10} \rightarrow X_{13}$	0,432	0,536
$X_9 \rightarrow X_{14}$	0,043	0,052	$X_{10} \rightarrow X_{14}$	0,034	0,043
$X_9 \rightarrow X_{15}$	0,046	0,055	$X_{10} \rightarrow X_{15}$	0,040	0,050
$X_9 \rightarrow X_{16}$	0,335	0,400	$X_5 \rightarrow X_{16}$	0,307	0,381
$X_9 \rightarrow X_{17}$	0,479	0,572	$X_{10} \rightarrow X_{17}$	0,357	0,443

Продолжение таблицы 5-2

1	2	3	4	5	6
$X_9 \rightarrow X_{18}$	0,192	0,229	$X_{10} \rightarrow X_{18}$	0,216	0,268
$X_9 \rightarrow X_{19}$	0,459	0,548	$X_{10} \rightarrow X_{19}$	0,352	0,438
$X_9 \rightarrow X_{20}$	0,054	0,065	$X_{10} \rightarrow X_{20}$	0,042	0,053
$X_9 \rightarrow X_{21}$	0,048	0,057	$X_{10} \rightarrow X_{21}$	0,042	0,052
$X_{12} \rightarrow X_{11}$	0,174	0,198			
$X_{12} \rightarrow X_{13}$	0,153	0,182			
$X_{12} \rightarrow X_{14}$	0,155	0,185			
$X_{12} \rightarrow X_{15}$	0,076	0,091			
$X_{12} \rightarrow X_{16}$	0,177	0,211			
$X_{12} \rightarrow X_{17}$	0,059	0,070			
$X_{12} \rightarrow X_{18}$	0,108	0,129			
$X_{12} \rightarrow X_{19}$	0,059	0,070			
$X_{12} \rightarrow X_{20}$	0,034	0,041			
$X_{12} \rightarrow X_{21}$	0,046	0,055			
$X_{11} \rightarrow X_{13}$	0,379	0,430			
$X_{11} \rightarrow X_{14}$	0,119	0,136			
$X_{11} \rightarrow X_{15}$	0,115	0,130			
$X_{11} \rightarrow X_{16}$	0,236	0,268			
$X_{11} \rightarrow X_{17}$	0,171	0,194			
$X_{11} \rightarrow X_{18}$	0,243	0,296			
$X_{11} \rightarrow X_{19}$	0,169	0,192			
$X_{11} \rightarrow X_{20}$	0,046	0,053			
$X_{11} \rightarrow X_{21}$	0,048	0,054			
$X_{13} \rightarrow X_{16}$	0,433	0,624	$X_{14} \rightarrow X_{16}$	0,024	0,035
$X_{13} \rightarrow X_{17}$	0,225	0,325	$X_{14} \rightarrow X_{17}$	0,022	0,033
$X_{13} \rightarrow X_{18}$	0,365	0,527	$X_{14} \rightarrow X_{18}$	0,045	0,066
$X_{13} \rightarrow X_{19}$	0,224	0,323	$X_{14} \rightarrow X_{19}$	0,023	0,033
$X_{13} \rightarrow X_{20}$	0,033	0,048	$X_{14} \rightarrow X_{20}$	0,018	0,026
$X_{13} \rightarrow X_{21}$	0,034	0,049	$X_{14} \rightarrow X_{21}$	0,019	0,028
$X_{15} \rightarrow X_{16}$	0,026	0,038			
$X_{15} \rightarrow X_{17}$	0,022	0,032			
$X_{15} \rightarrow X_{18}$	0,040	0,058			
$X_{15} \rightarrow X_{19}$	0,023	0,033			
$X_{15} \rightarrow X_{20}$	0,029	0,042			
$X_{15} \rightarrow X_{21}$	0,019	0,027			
$X_{16} \rightarrow X_{20}$	0,013	0,023	$X_{17} \rightarrow X_{20}$	0,035	0,068
$X_{16} \rightarrow X_{21}$	0,016	0,029	$X_{17} \rightarrow X_{21}$	0,020	0,039
$X_{18} \rightarrow X_{20}$	0,006	0,011	$X_{19} \rightarrow X_{20}$	0,034	0,067
$X_{18} \rightarrow X_{21}$	0,014	0,026	$X_{19} \rightarrow X_{21}$	0,020	0,038

Ориентированный граф причинно-следственных связей показан на рис. 5-1.

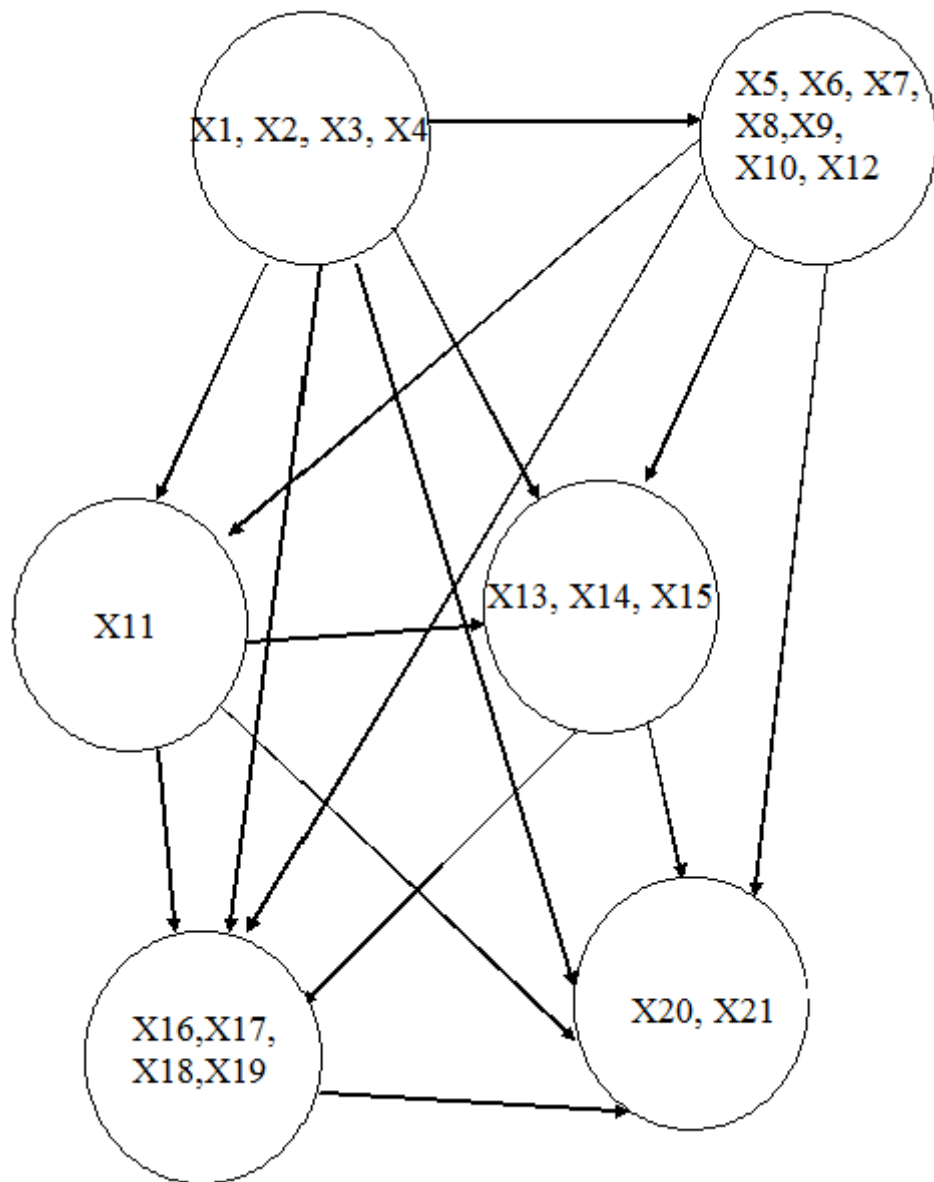


Рисунок 5-1 Ориентированный граф причинно-следственных связей

Установлено, что:

- линейные плотности нитей X1-X2 определяют плотности ткани X3-X4;
- параметры заправки X1-X4 определяют свойства ткани X5-X10;
- параметры заправки тканей, параметры структуры тканей, свойства используемых нитей определяют поверхностную плотность ткани X11;
- перечисленные в предыдущем абзаце факторы X1-X12 предопределяют технологические параметры X13-X15;

- факторы X1-X15 в конечном итоге определяют физико-механические свойства тканей X16-X19;
- факторы X1-X19 условия протекания технологического процесса, обрывность нитей, производительность ткацкого станка и экономические характеристики X20-X21.

5.3. Алгоритм решения причинного анализа с учетом эффекта сопутствия между исследуемыми факторами

«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. Коэффициент вида g_{ji} при l большей единицы дает оценку интенсивности причинного влияния по схеме, представленной в графе G маршрутом $X_i \rightarrow X_j$, состоящим из l ребер. Разность $\Gamma_{ij} - g_{ji}$ дает оценку косвенного причинного воздействия фактора X_i на фактор X_j . Для большинства маршрутов вида $X_i \rightarrow X_{i+1} \dots \rightarrow X_{i+l}$, содержащих l ребер, коэффициенты g_{i+1} , g_i определяются системой алгебраических уравнений. Несмотря на нелинейность, данная система уравнений может быть решена последовательными подстановками, так как левые части системы представлены треугольной матрицей» [71, 89, 91].

«Для нахождения частных коэффициентов причинного влияния воспользуемся методикой, указанной ранее в литературе. В результате получаем замкнутую систему нелинейных относительно g_{ij} алгебраических уравнений» [71, 89].

При четырех факторах необходимо составить систему из 6 уравнений с 6 неизвестными и определить их:

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

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

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

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

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

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

При пяти факторах необходимо составить систему из 10 уравнений с 10 неизвестными и решить их:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

При 6 факторах необходимо составить 15 уравнений с 15 неизвестными и решить их:

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

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

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

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

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

$$+ g_{13}g_{35}g_{56} + g_{14}g_{45}g_{56}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

При решении принималось, что параметр фактор проходит не более чем 3 пунктов. При прохождении более трех пунктов величина получается очень маленькой и может не учитываться.

В нашей работе решен ряд практических задач.

5.4. Расчет частных коэффициентов причинного влияния между факторами

Задача 1.

Исследуются факторы: плотность ткани по утку X4, порядок фазы строения ткани X12, заправочное натяжение основы X13 и обрывность нитей основы X20. Данные расчета на ЭВМ представлены в табл. 5-3.

Таблица 5-3 Коэффициенты Γ_{ij} и g_{ij} . Задача 1

Причина	Следствие	Γ_{ij}	g_{ij}	$\Gamma_{ij} - g_{ij}$
X4	X12	0,173	0,173	0
X4	X13	0,265	0,233	0,032
X4	X20	0,039	0,021	0,018
X12	X13	0,182	0,182	0
X12	X20	0,041	0,032	0,009
X13	X20	0,048	0,048	0

Ориентированный граф причинно-следственных связей приведен на рис. 5-2.

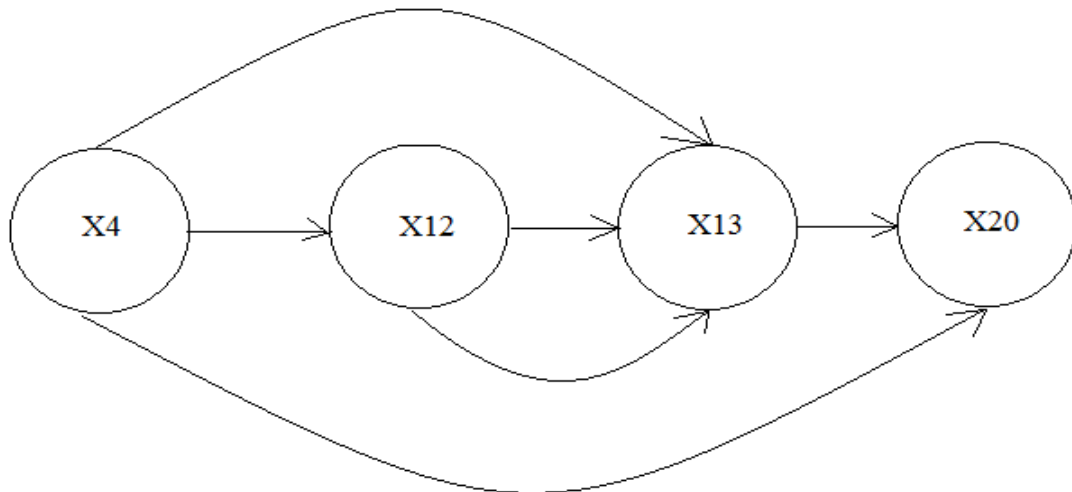


Рисунок 5-2 Ориентированный граф причинно-следственных связей. Задача 1

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- максимальное влияние на X20 из исследуемых факторов имеет X13 - заправочное натяжение основы ($g_{13-20}=0,048$);
- параметр X4 предопределяет параметры структуры ткани X13;
- параметр X4 в большей степени влияет на заправочное натяжение основы, которое необходимо устанавливать на ткацком станке;
- для поддержания нормального протекания технологического процесса ткачества следует наибольшее внимание уделять установке оптимальных технологических параметров.

Задача 2.

Исследуются следующие параметры: плотность ткани по утку X4, выносливость нитей основы к многократным нагрузкам X9, стойкость нитей основы к истиранию X10, величина заправочного натяжения основы X13, величина угла заступа X14 и обрывность нитей основы X20. Данные расчета на ЭВМ представлены в табл. 5-4.

Таблица 5-4 Коэффициенты Γ_{ij} и g_{ij} . Задача 2

Причина	Следствие	Γ_{ij}	g_{ij}	$\Gamma_{ij} - g_{ij}$
1	2	3	4	5
X4	X9	0,174	0,174	0
X4	X10	0,169	0,169	0
X4	X13	0,265	0,083	0,182
X4	X14	0,203	0,187	0,017
X4	X20	0,039	0,010	0,029
X9	X10	0	0	0
X9	X13	0,527	0,527	0
X9	X14	0,052	0,052	0
X9	X20	0,065	0,038	0,027
X10	X13	0,536	0,536	0
X10	X14	0,043	0,043	0
X10	X20	0,053	0,026	0,027
X13	X14	0	0	0
X13	X20	0,048	0,048	0
X14	X20	0,026	0,026	0

Ориентированный граф причинно-следственных связей представлен на рис. 5-3.

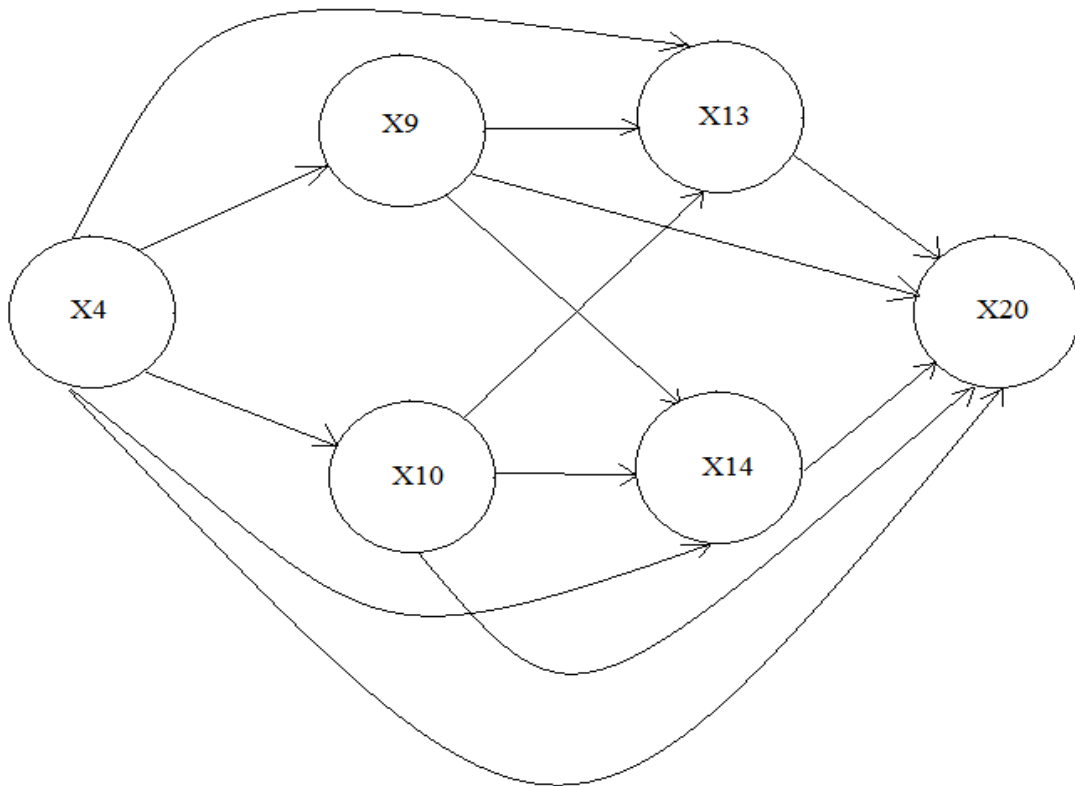


Рисунок 5-3 Ориентированный граф причинно-следственных связей. Задача 2

Установлено:

- максимальное влияние на X20 из технологических параметров оказывает заправочное натяжение основных нитей, а из свойств параамидной пряжи - выносливость нитей основы к многократным нагрузкам;
- параметры заправки ткани на станке в меньшей степени определяют обрывность нитей, чем свойства нитей и технологические параметры;
- достаточно хорошие показатели свойств параамидной пряжи требуют установки оптимального заправочного натяжения при изготовлении тканей.

Задача 3.

Исследуются: плотность ткани по утку X4, заправочное натяжение основы X13, величина угла заступа X14, положение скала по вертикали X15, обрывность нитей основы X20. Данные расчета на ЭВМ представлены в табл. 5-5.

Таблица 5-5 Коэффициенты Γ_{ij} и g_{ij} . Задача 3

Причина	Следствие	Γ_{ij}	g_{ij}	$\Gamma_{ij} - g_{ij}$
X4	X13	0,265	0,265	0
X4	X14	0,203	0,203	0
X4	X15	0,140	0,140	0
X4	X20	0,039	0,015	0,024
X13	X14	0	0	0
X13	X15	0	0	0
X13	X20	0,048	0,048	0
X14	X15	0	0	0
X14	X20	0,026	0,026	0
X15	X20	0,042	0,042	0

Ориентированный граф причинно-следственных связей представлен на рис. 5-4.

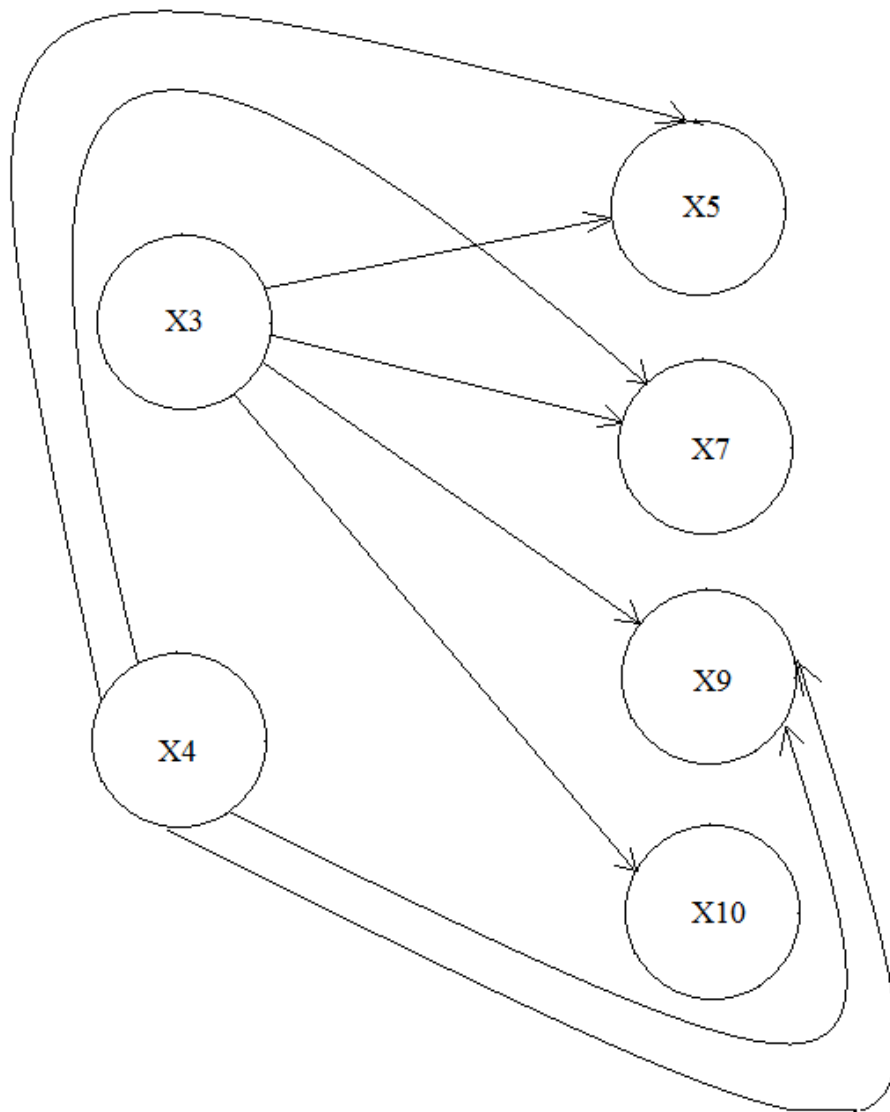


Рисунок 5-4 Ориентированный граф причинно-следственных связей. Задача 3

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

- из технологических параметров наибольшее влияние на обрывность нитей основы оказывает заправочное натяжение основных нитей;
- параметры заправки ткани заставляют при заправке ткани на ткацкий станок наибольшее внимание уделять заправочному натяжению основных нитей.

Задача 4.

Исследуются: плотности ткани по основе X3 и по утку X4, разрывная нагрузка основы X5 и утка X7, выносливость нитей основы к многократным нагрузкам X9, стойкость нитей к истиранию X10. Данные расчета на ЭВМ представлены в табл. 5-6.

Таблица 5-6 Коэффициенты Γ_{ij} и g_{ij} . Задача 4

Причина	Следствие	Γ_{ij}	g_{ij}	$\Gamma_{ij} - g_{ij}$
X3	X4	0	0	0
X3	X5	0,708	0,708	0
X3	X7	0,726	0,726	0
X3	X9	0,649	0,649	0
X3	X10	0,575	0,575	0
X4	X5	0,237	0,237	0
X4	X7	0,242	0,242	0
X4	X9	0,174	0,174	0
X4	X10	0,169	0,169	0
X5	X7	0	0	0
X5	X9	0	0	0
X5	X10	0	0	0
X7	X9	0	0	0
X7	X10	0	0	0
X9	X10	0	0	0

Ориентированный граф причинно-следственных связей представлен на рис. 5-5.

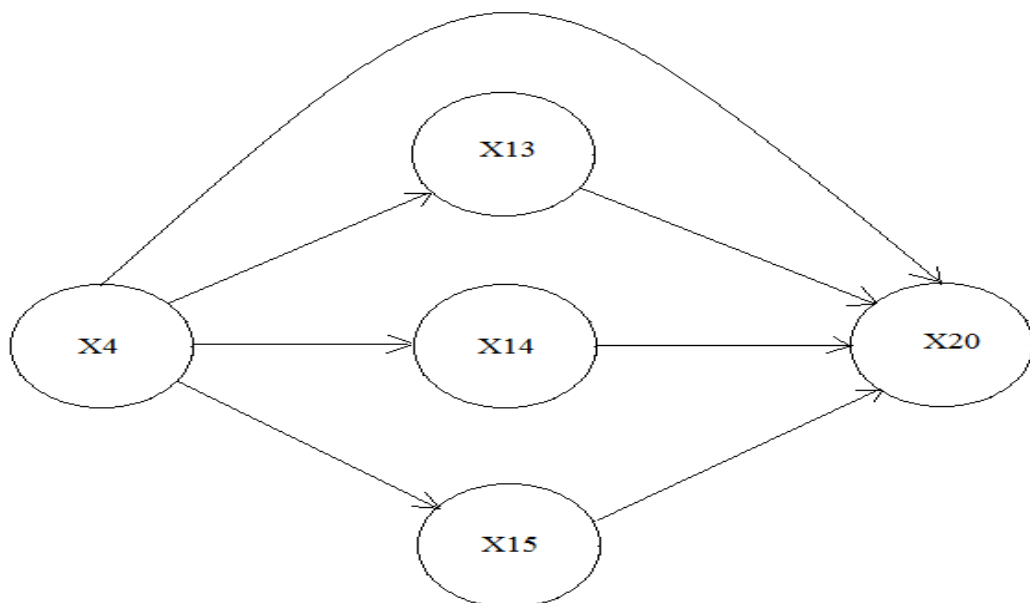


Рисунок 5-5 Ориентированный граф причинно-следственных связей. Задача 4

Установлено:

- параметры заправки ткани X1-X4 определяют выбор нитей с определенными свойствами;
- выбор параметров заправки тканей в большей степени предопределяет выбор нитей с более улучшенными гостовскими характеристиками, такими, как разрывная нагрузка нитей.

Задача 5.

Исследуются: плотность ткани по утку X4, разрывная нагрузка утка X7, разрывное удлинение утка X8, выносливость нитей основы к многократным нагрузкам X9, стойкость нитей к истиранию X10, обрывность нитей утка X21. Данные расчета на ЭВМ представлены в табл. 5-7.

Таблица 5-7 Коэффициенты Γ_{ij} и g_{ij} . Задача 5

Причина	Следствие	Γ_{ij}	g_{ij}	$\Gamma_{ij} - g_{ij}$
X4	X7	0.242	0,242	0
X4	X8	0.197	0,197	0
X4	X9	0.174	0,174	0
X4	X10	0.169	0,169	0
X4	X21	0.020	0,010	0,010
X7	X8	0	0	0
X7	X9	0	0	0
X7	X10	0	0	0
X7	X21	0.056	0,056	0
X8	X9	0	0	0
X8	X10	0	0	0
X8	X21	0.043	0,043	0
X9	X10	0	0	0
X9	X21	0.057	0,057	0
X10	X21	0.052	0,052	0

Ориентированный граф причинно-следственных связей представлен на рис. 5-6.

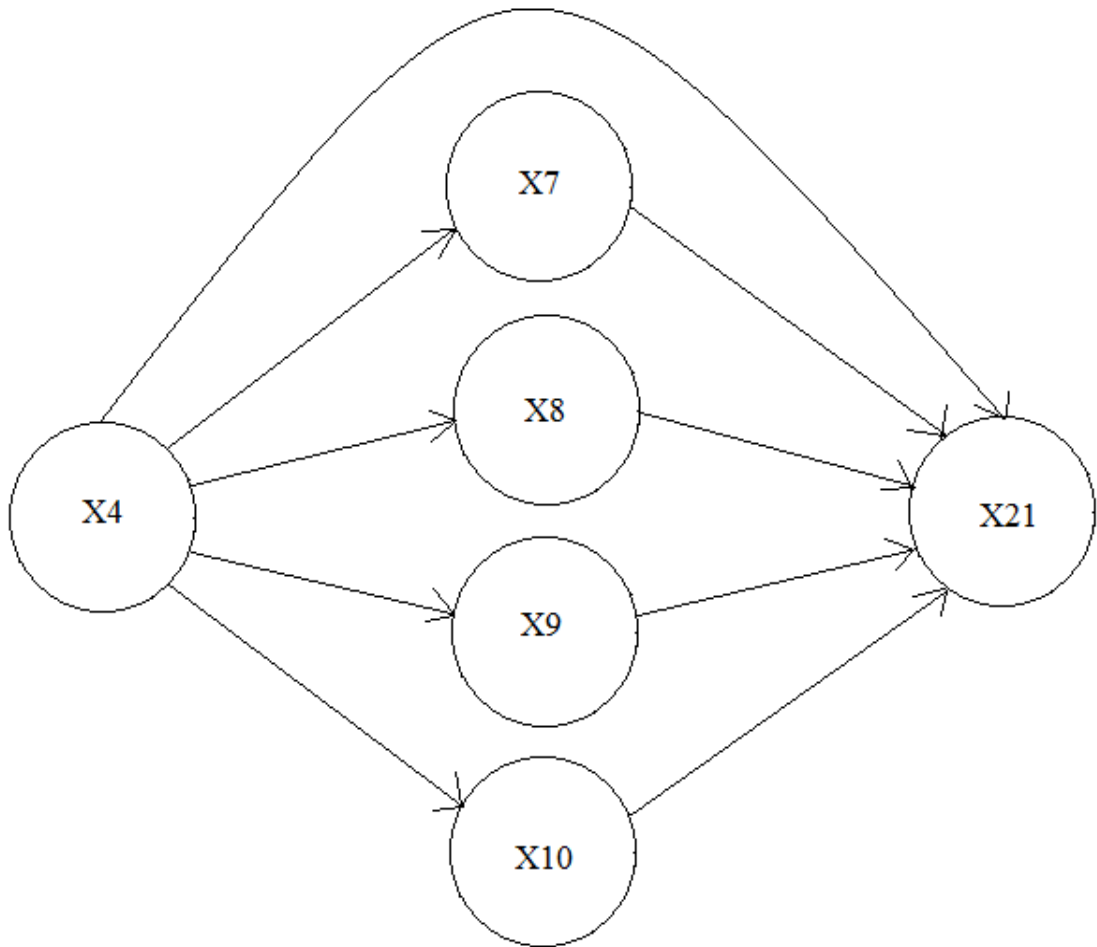


Рисунок 5-6 Ориентированный граф причинно-следственных связей. Задача 5

Установлено:

- на обрывность утка практически в одинаковой степени влияют все свойства используемых нитей, однако их влияние небольшое, видимо потому, что параарамидная пряжи имеет достаточно хорошие свойства;
- плотность ткани по утку, конечно, имеет корреляцию с физико-механическими свойствами нитей, параметры заправки ткани обуславливают вид используемого сырья.

Задача 6.

Исследуются: плотности ткани по основе X3 и по утку X4, порядок фазы строения ткани X12, разрывная нагрузка ткани в направлении основы X16 и в направлении утка X18. Данные расчета представлены в табл. 5-8.

Таблица 5-8 Коэффициенты Γ_{ij} и g_{ij} . Задача 6

Причина	Следствие	Γ_{ij}	g_{ij}	$\Gamma_{ij} - g_{ij}$
X3	X4	0	0	0
X3	X12	0,210	0,210	0
X3	X16	0,398	0,354	0,044
X3	X18	0,211	0,184	0,027
X4	X12	0,173	0,173	0
X4	X16	0,125	0,088	0
X4	X18	0,182	0,160	0,18
X12	X16	0,211	0,211	0
X12	X18	0,129	0,129	0
X16	X18	0	0	0

Ориентированный граф причинно-следственных связей представлен на рис. 5-7.

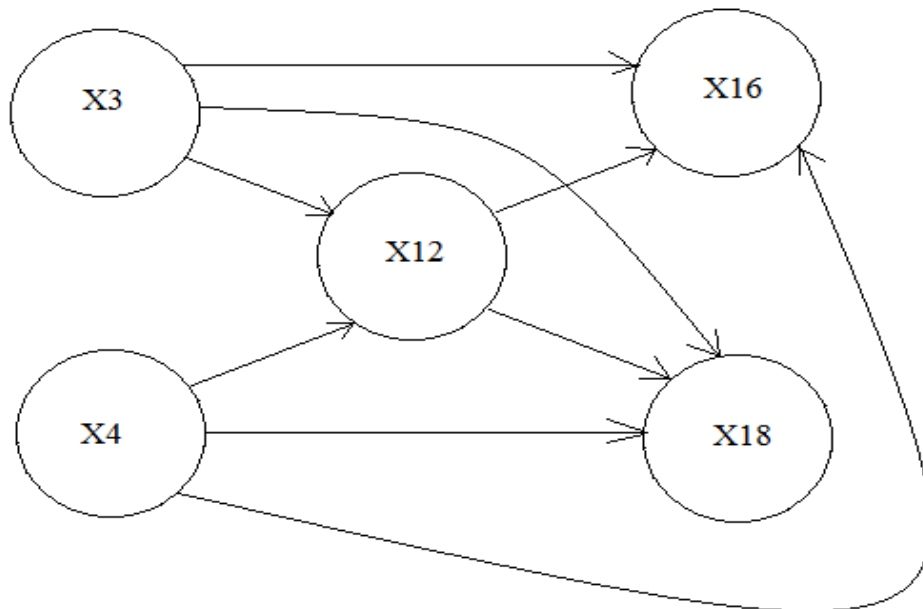


Рисунок 5-7 Ориентированный граф причинно-следственных связей. Задача 6

Установлено:

- параметры заправки предопределяют параметры структуры тканей и свойства исследуемых тканей о чем свидетельствуют довольно высокие коэффициенты причинного влияния;
- параметры структуры примерно такое же влияние оказывают на свойства исследуемых тканей.

Выводы по главе 5

1. Определены причинно-следственные связи между исследуемыми параметрами для арамидных тканей из пряжи. Это позволило определить наиболее значимые факторы для различных функций цели, которые позволят управлять технологическим процессом, структурой и свойствами тканей.

2. Установлена направленность причинно-следственных связей при изготовлении тканей из арамидной пряжи: параметры заправки тканей - свойства используемых нитей – параметры структуры тканей – поверхностная плотность тканей – физико-механические свойства тканей – обрывность нитей основы и утка.

3. Определены эффекты сопутствия и влияния друг на друга отдельных факторов, что позволило получить более достоверную статистику данных.

4. Идентификация факторов позволила установить, что наибольшее влияние на другие факторы из технологических параметров оказывает заправочное натяжение нитей основы.

5. 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 РЕЗУЛЬТАТЫ И 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.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ

1. При проектировании тканей из арамидной пряжи для специальной одежды необходимо в качестве выходных параметров брать поверхностную плотность ткани, обеспечивающую вес изделия, порядок фазы строения ткани, определяющий структуру ткани, прочность ткани, определяющую свойства изделия. При этом необходимо обязательно учитывать нетрадиционные свойства нитей и технологию тканей.
2. Для прогнозирования технологического режима необходимо использовать предложенный подход с использованием наследственной теории вязкоупругости и теории накопления повреждений.
3. Спроектированные арамидные ткани рациональной структуры целесообразно использовать для пошива специальной одежды.
4. Для выявления факторов, оказывающих наибольшее влияние на функции цели, целесообразно использовать причинно-следственную теорию информации, позволяющую построить ориентированные графы причинно-следственных связей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lavrent'eva, E. P. Innovative Fire- and Heat-Protective Knit Fabrics and Individual Protective Aids / E. P. Lavrent'eva, N. N. Shkola // *Fibre Chemistry*. – 2015. – Vol. 47. – № 2. – P. 117-120.
2. Lavrent'eva, E. P. International exhibition of textile machinery ITMA-2011 / E. P. Lavrent'eva, V. V. D'yachenko, M. P. Mikahilova, L. S. Koval'chuk // *Fibre Chemistry*. – 2012. – Vol. 44. – № 2. – P. 135-140.
3. Lavrent'eva, E. P. International exhibition of textile machinery ITMA-2011 / E. P. Lavrent'eva, V. V. D'yachenko, M. P. Mikhailova, L. S. Koval'chuk // *Fibre Chemistry*. – 2012. – Vol. 44. – № 3. – P. 199-202.
4. Lavrent'eva, E. P. New-generation fire- and heat-resistant textile materials for working clothes / E. P. Lavrent'eva // *Fibre Chemistry*. – 2013. – Vol. 45. – № 2. – P. 107-113.
5. Абрамова И.А. Разработка метода проектирования технологического процесса ткачества: дис. ... канд.техн.наук. - 2004
6. Айвазян С.А., Иванова С.С. Эконометрика. Учебное пособие, М.: МаркетДС, 2007, с. 112.
7. Акатъев В.А. Основы взрывопожаробезопасности. Учебное пособие для вузов. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2004, – 384 с.
8. Акимов Г.И. Исследование процесса формирования двухслойных шерстяных тканей на бесчелночных ткацких станках СТБ: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.02, - М, 1979, - 271 с.
9. Алексеев К.Г. Основы расчета параметров строения и формирования тканей. - М.: Легкая индустрия, 1973. – 168 с.
10. Ахмедов Р.Ю. Разработка технологических параметров изготовления тканей с малой раздвигаемостью нитей. Дисс. ... канд.техн.наук. - М: МТИ, 1991, - 194 с.

11. Баталко Т.П. Разработка оптимальных технологических параметров выработки хлопчатобумажных тканей из пряжи малой линейной плотности на станке АТПР: дис. ... канд.техн.наук - М, 1987, - 182 с.
12. Беляева О.А. Модификация вискозных волокон с целью снижения горючести: Автореферат дис. ... канд.техн.наук. СГТУ, 2010. – 126с
13. Бесхлебная С.Е. Разработка метода расчета объема сквозных пор в тканях главных и производных переплетений: дис. ... канд.техн.наук.: 05.19.02 – М, 2004. – 168с
14. Боевая одежда пожарных [Электронный ресурс] // ARSELON withstanding fiber. Режим доступа: <http://www.arselon.by/rus/produced/milform/>. Дата доступа: 15.03.2016.
15. Болодьян Г.И. Комплексный подход к созданию пожаробезопасных текстильных материалов и изделий: Автореферат дис. ... канд.техн.наук: 06.26.03 –М, 2003. - 28с
16. Букаев П.Т. Разработка параметров оптимального процесса бесчелночного ткачества и критериев его оценки: Автореферат дис. ... канд.техн.наук – М, 1985. - 45 с.
17. Власов П.В., Шосланд Я., Николаев С.Д. Прогнозирование технологического процесса ткачества – М,1988. - 41с.
18. Воробьев, В. А. Метод расчета при построении шерстяной пряжи и ткани. – М.: Легкая индустрия, 1964.
19. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: Гигиенические нормативы. – М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России, 2003. – 268 с.
20. Горячев М. В. Разработка метода оценки и расчета воздухопроницаемости тканей, выработанных из монокитей: дис. ... канд.техн.наук: 05.19.01 – М., 2002. – 177с.

21. ГОСТ 11209-85 Ткани хлопчатобумажные и смешанные защитные для спецодежды. Технические условия. Методы определения огнестойкости. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 14 с.
22. ГОСТ 12.4.073-79 Ткани для спецодежды и средств защиты рук. Номенклатура показателей качества. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 9 с.
23. ГОСТ 12.4.105-81 ССБТ. Ткани и материалы для спецодежды сварщиков. Общие технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 7 с.
24. ГОСТ 12.4.183-91 ССБТ. Материалы для средств защиты рук. Технические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 20 с.
25. ГОСТ 12.4.184-97 ССБТ. Ткани и материалы для специальной одежды, средств защиты рук и верха специальной обуви. Методы определения стойкости к прожиганию. – Минск: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 9 с.
26. ГОСТ 12.4.221-2002 ССБТ. Одежда специальная для защиты от повышенных температур, теплового излучения, конвективной теплоты. Общие технические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 9 с.
27. ГОСТ 2351-88 Изделия и полотна трикотажные. Нормы устойчивости окраски и методы ее определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 20 с.
28. ГОСТ 26289-84 Полотна трикотажные бельевого назначения. Нормы изменения линейных размеров после мокрой обработки. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 8 с.
29. ГОСТ 28554-90 Полотно трикотажное. Общие технические условия. – М.:
30. ГОСТ 31228-2004 Изделия трикотажные бельевые для взрослых. Нормы физико-гигиенических показателей. – М.: Стандартинформ, 2005. – 4 с.
31. ГОСТ 5007-87 Изделия трикотажные перчаточные. Общие технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 12 с.
32. ГОСТ 8541-94 Изделия чулочно-носочные, вырабатываемые на круглочулочных автоматах. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2006. – 50 с.
33. ГОСТ 9733.0-83 Материалы текстильные. Общие требования к методам испытаний устойчивости окрасок к химико-химическим воздействиям. – М.:

34. ГОСТ ЕН 531: 1995 IDT Одежда защитная для работающих в условиях повышенных температур.
35. ГОСТ Р 9185-2007 ИСО 9150 ССБТ. Одежда специальная. Методы испытания материала при воздействии брызг расплавленного металла. – М.: Стандартиформ, 2008. – 12 с.
36. ГОСТ Р 12.4.234-2007 ССБТ. Одежда специальная для защиты от термических рисков электрической дуги. – М.: Стандартиформ, 2007. – 27с.
37. ГОСТ Р 12.4.247-2008 ССБТ Одежда специальная для защиты от искр и брызг расплавленного металла. Технические требования. – М.: Стандартиформ, 2009. – 15 с.
38. Гришина О.А. Разработка метода придания и исследование огнезащитных свойств материалов для одежды: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.01
39. Гусаров, А. М. и др. // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы международной научно-практической конференции, Гомель, 2012.: в 2 ч. / ГУО "Гомельский инженерный институт" МЧС Республики Беларусь, Гомельский филиал Национальной академии наук Беларуси . –Гомель, 2012. –Ч. 1. –с. 225.
40. Гусаров, А. М. Совершенствование системы оценки теплозащитных свойств пакетов огнестойких материалов / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов, Н. М. Дмитрикович // Вестн. Витеб. гос. технол. Ун-та. –2011. – Вып. 21. – С. 46 –52.
41. Давыдов, А.Ф. Исследование стойкости тканей для пошива специальной одежды // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2011. - № 3 (332). — С. 20 - 22.
42. Дамянов Г.Б., Бачев Ц.З., Сурнина Н.Ф. Строение ткани и современные методы ее проектирования.- М.: Легкая и пищевая промышленность, 1980. – 240 с.
43. Денисенко Т.Н. Разработка методов оценки напряженности заправочных ткацких станков: дисс. ... канд.техн.наук. - М, 1993. - 170 с.
44. Евсюкова Е.В. Разработка технологических параметров изготовления технической ткани из углеродных нитей: дисс. ... канд.техн.наук. - М, 1990. - 154 с.

45. Егоров Н.В. Анализ структур огнезащитных тканей из арамидных нитей и особенности их изготовления на современном ткацком станке: дисс. ... канд.техн.наук, - М, 2010. – 180 с.
46. Егоров Н.В., Щербаков В.П. Исследования свойств нитей Русар для изготовления технических тканей // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010. - № 6. - с. 26-28.
47. Егоров Н.В., Щербаков В.П. Новый метод расчета жесткости нити при изгибе. Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2010, №5
48. Егоров Н.В., Щербаков В.П. Определение параметров строения арамидных огнезащитных тканей. Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2010, №3
49. Ерохин Ю.Ф., Карева Т.Ю., Николаев С.Д. Проектирование, технология изготовления тканых изделий: Монография. – М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2006.
50. Загоруйко М.В. Разработка методов придания огнезащитных свойств и исследование термического воздействия на структуру и свойства материалов и пакетов одежды: дис. ... канд.техн.наук: 05.19.01 -М, 2011. -209с.
51. Зотова, Н. К. Определение оптимальных параметров изготовления полутораслойных тканей: дис. ... канд.техн.наук: 05.19.02.- Москва, 2001.- 212 с.
52. Иноземцева Н.А. Разработка метода проектирования тканей по заданному порядку фазы строения: дис. ... канд.техн.наук: 05.19.02 -М, 2010.- 152 с.
ИПК Издательство стандартов, 2002. – 11 с.
53. Кальченко А.И., Муратова Г.И. Автоматизированная технология проектирования хлопчатобумажных тканей. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1991. – 27 с.
54. Карева Т. Ю., Николаев С. Д. Разработка способа получения тканей новых структур и механизмов его реализации на ткацких станках с кулачковым зевобразовательным механизмом (монография). Москва: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2003. – 68 с.
55. Карева Т.Ю., Николаев С.Д. Исследование параметров строения тканей различных способов формирования: Монография. – М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2004.

56. Карелина И.М. Разработка методов получения текстильных материалов с комплексом антимикробных и огнезащитных свойств: автореф. дисс. ... канд.хим.наук., Москва, 2000.
57. Кащеев О.В., Кан Э.М., Матраков 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.
58. Кащеева М.М. Разработка облегченных структур технических тканей из углеродных нитей и особенности их изготовления на ткацком станке: дисс. ... канд. тех. наук – Москва, МГТУ им.А.Н.Косыгина, 2009
59. Керимов С. Г., Попов Л. Н. Справочник-каталог: «Стандартные методы испытаний текстильных материалов технического назначения». – Ярославль: ОАО «НИИТТ», 2008, - 346 с.
60. Ковалева О.В. Разработка метода расчета технологических параметров процесса приобоя утка к опушке ткани: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.02:-М, 2003. -174 с.
61. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация. – М.: Высшая школа, 1976. – 277 с.
62. Константинова Н.И. Огнезащита текстильных материалов: дисс. ... доктора технических наук: 05.26.03/ Всерос. науч.-исслед. ин-т противопожар. обороны Мин-ва РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.- Москва, 2004.- 277 с.:
63. Кузьмин, В. В. Разработка метода проектирования петельных тканей по заданным параметрам: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.03.- Москва, 2000.- 213 с.
64. Куликова Т.В. Совершенствование технологии модификации полиэфирных волокнистых материалов с целью снижения горючести и их применение в производстве спецодежды: дисс. ... канд. техн. наук: 05.17.06, 05.19.01.- Саратов, 2005.- 175 с.
65. Лаврентьева Е.П. Инновационные текстильные материалы со специальными свойствами // Швейная промышленность.-2013. -№5. - с. 15-16.

66. Лаврентьева Е.П. Разработка научных основ и технологий производства текстильных материалов новых структур для специальной одежды и средств индивидуальной защиты . Дис. ... д-ра техн. наук, М:2016
67. Лаврентьева Е.П. Текстильные огне- и термостойкие материалы нового поколения для спецодежды // Химические волокна. -2013. - №2. - с. 47-53.
68. Лаврентьева Е.П. Термо- и огнезащитные ткани для защитной одежды / Дьяченко В.В., Михайлова М.П., Ковальчук Л.С.// Текстильная промышленность. - 2010. - №5. - с. 54-56.
69. Лаврентьева Е.П. Химические волокна, применяемые для производства огне- и термозащитной специальной одежды и средств индивидуальной защиты. / Дьяченко В.В. // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2015. - № 4. -с. 19-36.
70. Лакунин В.Ю., Склярова Г.Б., Ткачева Л.В., Шаблыгин М.В. «Номенклатура и свойства арамидных нитей, производимых на ОАО «Каменскхимволокно», Химические волокна, 2010, №3, с. 16-24.
71. Ликучева А.А. Разработка метода расчета параметров зевобразования на современных ткацких станках и пути снижения напряженности их заправок: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2003
72. Литовченко, А. Г. Разработка метода проектирования петельных тканей по заданным параметрам: дисс. ... канд. техн. наук. – М, 1995. -195с.
73. Лустгартен Л.Ю. Метод прогнозирования обрывности нитей основы. Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 1997, N4. - С. 44-47.
74. Лустгартен Н.В. Выбор и обоснование показателя напряженности процесса ткачества // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 1995, N3. - С.37-39.
75. Макеева Т.В., Кукин Г.Н. Влияние многократного растяжения и истирания пряжи на ее структуру // Текстильная промышленность, 1974, № 2, с. 66-68.
76. Малецкая С.В. Автоматизированный метод проектирования раппорта цвета по утку. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. №3 (267), 2002. – с. 110-111.

77. Малецкая С.В. Кодирование многоцветного узора двухлицевой ткани. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. №4 (279), 2004. – с. 39-41.
78. Малецкая С.В. Кодирование раппорта цвета по утку. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. №6 (269), 2002. – с. 43-44.
79. Мартынова А. А., Слостина Г.Л., Власова Н.А., Строение и проектирование тканей, Москва, 1999.- 324 с
80. Мартынова А.А., Черникина Л.А. Лабораторный практикум по строению и проектированию тканей. – М.: Легкая индустрия, 1976. – 296 с.
81. Мартынова А.А., Слостина Г.Л., Власова Н.А. Строение и проектирование тканей. – М.: МГТУ, учебник для вузов, 1998. – 364 с.
82. Мартынова, А. А. К вопросу проектирования технических тканей из химических волокон по прочности на раздирание: дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1964. - 151 с.
83. Мастраков Р.Е., Поликарпов А.В., Николаев С.Д. Особенности строения тканей с продольными полосами различного переплетения // Сборник научных трудов аспирантов, № 20, 2014, с.10-16.
84. Меркулов, А. В. Разработка метода проектирования и определения оптимальных параметров изготовления ворсовых тканей: дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1998.
85. Милашюс В.М. Исследование релаксационных свойств тканей: дисс. ... канд. техн. наук. – Каунас, 1974. - 327 с.
86. Мороз О.Н. Разработка технологии получения пряжи из отходов параарамидных нитей и тканей для изделий, эксплуатируемых в условиях повышенных температур: дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.02, Санкт-Петербург, 2008.- 196 с.
87. Назарова М.В. Разработка автоматизированных методов проектирования технологических процессов изготовления тканей заданного строения: дисс. ... доктора технических наук: 05.19.02, Москва, 2011. - 410 с.

88. Никишин В.Б. Разработка автоматизированного метода расчета параметров строения ткани: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.02.- Москва, 2002.- 251 с.
89. Николаев С.Д. Прогнозирование изготовления тканей заданного строения. - М.: МТИ, 1989. - 62 с.
90. Николаев А.С. Разработка оптимальных технологических параметров изготовления хлопчатобумажных тканей из пряжи малой линейной плотности на бесчелночных ткацких станках СТБ: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2000
91. Николаев С.Д. Прогнозирование технологических параметров изготовления тканей заданного строения и разработка методов их расчета. Дисс. докт.техн.наук. - М.: МТИ,1988. - 470 с.
92. Николаев С.Д., Зайцев В.П., Панин И.Н. О тонкости очистки фильтрата в производительности трубчатых текстильных фильтров // Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. 2005. - №5.- С.94-96.
93. Николаев С.Д., Кашеев О.В., Поликарпов А.В., Мастраков Р.Е. Определение параметров строения ткани по её микросрезам // Дизайн и технологии – М.:МГУДТ, №49(91) – 2015 – с. 68-73
94. 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", 2016, с.91-94
95. Николаев С.Д., Ковалева О.В., Ликучева А.А., Николаева Н.А., Рыбаулина И.В. Проектирование технологии тканей заданного строения: Монография. – М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2007.-204 с
96. Николаев С.Д., Мартынова А.А., Юхин С.С., Власова Н.А. Методы и средства исследования технологических процессов ткачества. Монография, М. -336с., 2003.
97. Николаев С.Д., Никишин В.Б. Разработка автоматизированного метода расчета параметров строения тканей по их микросрезам на ЭВМ. Сборник научных трудов "Компьютерные технологии в образовательной и научной деятельности", МГТУ, 2001, с.34-40

98. Николаев С.Д., Поликарпов А.В., Евсюкова Е.В., Ковалева О.В., Рыбаулина И.В. Проектирование тканей специального назначения по ее поверхностной плотности и порядку фазы строения // Дизайн и технологии - М.: 2016, №55, 6 с.
99. Николаев С.Д., Слугин А.И., Слугин И.В., Фомин Б.М. Разработка технологии изготовления тканей из параарамидной пряжи // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии в обучении и производстве», 2011.
100. Николаев С.Д., Юхин С.С., Слугин А.И., Иванова М.Н.. Исследование свойств и строения тканей из вторичных арамидных материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2007.
101. Николаев С.Д., Юхин С.С., Слугин А.И., Сеницын А.К. Определение вязкоупругих параметров пряжи из вторичных арамидных волокон // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2007.
102. Николаева Н.А. Разработка оптимальных технологических параметров изготовления тканей на основе использования котонированного льна: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2004
103. Новиков В.П. О строении и проектировании ткани с помощью геометрического метода. – Текстильная промышленность, 1946, № 2, с. 4-5; № 6, с. 9-17; № 12, с. 17-25.
104. Новиков В.П. О строении и проектировании ткани с помощью геометрического метода. – Текстильная промышленность, 1946, № 2, с. 4-5; № 6, с. 9-17; № 12, с. 17-25.
105. Новиков Н.Г.- О строении ткани и о проектировании ее с помощью геометрического метода // Текстильная промышленность.-1945. №1 -с.57-58.
106. Новиков, Н. Г. О строении ткани и проектировании ее с помощью геометрического метода// Текстильная промышленность. 1946. № 2,4-6.
107. Новикова, О. А. Разработка метода проектирования и определения оптимальных параметров изготовления тканей комбинированных переплетений: дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.03, Москва, 1996.- 15 с.

108. НПБ 157-97. Боевая одежда пожарных. Общие технические требования. Методы испытаний. – М.: ГУГПС и ФГУ ВНИИПО МВД России, 2000. – 28с
109. 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
110. Оников Э.А. Справочник по ткачеству. – М.: Легкая индустрия, 1979. – 487 с.
111. Оников Э.А. Непрерывный процесс тканеформирования: условия эффективности, параметры и опытная реализация: дисс. ... док.техн.наук. - М: МТИ, 1981. - 462 с.
112. Павлихина И.Ю. Разработка многослойных кремнеземных тканей разреженных структур: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2012
113. Панин А.И. Экспериментально-теоретическое исследование формирования мотальных паковок для создания и внедрения перспективных текстильных материалов. Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. МГУДТ 2016. 310с.
114. Панин И.Н. Разработка и исследование структур текстильных паковок специального назначения: дисс. ... д-ра техн. наук. – М.: МТИ им.А.Н.Косыгина, 1996 .- 326 с.
115. Панин И.Н., Лапшенкова В.С., Морозов С.И., Николаев С.Д., Разумеев К.Э., Снежков С.В., Сумарукова Р.И., Цимбалюк Е.П. Текстильные фильтры на БПЗК специальных мотальных паковок. Монография. – М.: ГОУВПО «МГТУ им.А.Н.Косыгина. 2009, -128 с.
116. 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, №1(367), с.129-133.

117. Патент РФ № 2264484, 11.02.2004. Слугин А.И., Слугин А.И., Слугин И.В. Способ получения волокон из вторичного сырья
118. Патент РФ №2338016, 23/03/2007. Михайлова М.П., Мальков Л.А., Слугин А.И., Шаблыгин М.В., Слугин И.В., Слугин А.И. Защитная ткань
119. Перепелкин Е.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009, – 360 с.
120. Поликарпов А.В. Требования к тканям для защитной одежды пожарного // Материалы международной научно-технической конференции молодых специалистов и ученых, Казанский национальный исследовательский университет, т.1, 2017 – с.224-230
121. Поликарпов А.В., Григорьева М.О., Цветкова А.Е., Балкиевская Е.Д., Николаев С.Д. Анализ свойств и строения огнестойких тканей. Тезисы докладов внутривузовской научной конференции Костромского государственного технологического университета. Кострома, 2015, Тезисы докладов, с.53
122. Поликарпов А.В., Данилов А.В., Кащеев О.В., Николаев С.Д. Анализ параметров структуры арамидных тканей различного переплетения. // Материалы международного научного симпозиума «Первые Косыгинские чтения», 2017, С. 197-201
123. 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)», 2016, с.92-94,
124. 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.
125. Поликарпов А.В., Кащеев 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)», 2016, с.89-92

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

127. 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

128. 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, 29-30 октября 2015 г.: в 2 т.: ВолгГТУ. – Волгоград 2016, С.155-157

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

130. Поликарпов А.В., Озеркова Д.В., Грачева Е.Е., Ткаченко П.А.. 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.

131. 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

132. Попов Л. Н., Керимов С. Г. Справочник-каталог: «Текстильные материалы технического назначения». – Ярославль: ОАО НИИТТ», 2006, - 492 с.

133. Примаченко Б.М., Яровая Л.В., Суркова В.М. Влияние степени заполнения по основе и утку высокоплотных технических тканей на их поверхностную плотность. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. № 4, 1999. – с. 52-55.

134. Perepelkin K.E.. The textile institute's World Conference. Structural mechanics of polymeric fibers. Review and new conceptions. Tampare, Finland. Proceedings.V.1. Tampare, 1996.-p.19-28
135. Раченкова О.М. Разработка метода расчета рациональных параметров строения тканей различного переплетения с учетом технологии их изготовления: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.03.- Москва, 2000.- 239 с.
136. Романов В.Ю. Разработка оптимальных технологических параметров выработки петельной ткани: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2009
137. Руденко Л.Г. Разработка автоматизированного метода расчета технологических параметров изготовления тканей: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.02.- Москва, 2002.- 144 с.
138. Рыбаулина И.В. Разработка автоматизированного метода проектирования фильтровальных тканей по заданным свойствам: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2007
139. Сакович Е.А., Кукин Г.Н. Связь между деформацией и коэффициентом трения нитей. – Текстильная промышленность, 1972, № 9, с. 73-75.
140. СанПин 2.4.7/1.1.1286-03 Гигиенические требования к одежде для детей, подростков и взрослых.
141. Сафонов П.Е., Федорова Е.Е., Фетисова О.Н., Юхин С.С. Анализ напряженно-деформированного состояния нитей основы на ткацких станках различной конструкции при выработке арамидных тканей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – Иваново: ИГТА, 2012. – № 2. – С. 50 - 53.
142. Сафонов П.Е., Федорова Е.Е., Фетисова О.Н., Юхин С.С. Расчет повреждаемости арамидных нитей на ткацких станках различной конструкции // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – Иваново: ИГТА, 2012. – № 3. – С. 46 - 48.
143. Сафонов П.Е.. Разработка оптимальных технологических параметров изготовления арамидных тканей технического назначения: дисс. ... канд. техн. наук, МГТУ им.А.Н.Косыгина, 2013. – 288 с

144. Севостьянов А.Г. и др. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. М.: Лёгкая индустрия, 1980 г. с. 392.
145. Севостьянов А.Г., Севостьянов П.А. Оптимизация механико-технологических процессов текстильной промышленности. М.: Легпромбытиздат, 1991, с. 256.
146. Синицын А.В. Разработка метода проектирования трехосных тканей: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2012
147. Синицына И.В. Анализ тканей ортогонального и не ортогонального строения для кромок: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2009
148. Слугин А.И. Взаимосвязь между параметрами строения тканей из арамидной пряжи и технологическими параметрами их изготовления на ткацкого станке // Сборник научных трудов аспирантов, выпуск 13, - М, 2007.
149. Слугин А.И. Оценка напряженности заправки тканей из арамидной пряжи на ткацком станке // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2008.
150. Слугин А.И., Николаев С.Д. Исследование свойств тканей для защитной одежды // Сборник научных трудов аспирантов. МГТУ им.А.Н.Косыгина, 2011.
151. Слугин А.И., Николаев С.Д., Фомин Б.М. Разработка тканей для защитной одежды // Сборник научных трудов, посвященный 100-летию со дня рождения П.В.Власова, МГТУ им.А.Н.Косыгина, 2011 г.
152. Слугин А.И., Николаев С.Д., Фомин Б.М., Николаев А.С. Исследование баллистических свойств тканевых бронепакетов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. №6, 2011.
153. Слугин А.И., Парфенов О.В., Николаев С.Д. Оптимизация изготовления тканей из арамидной пряжи // Тезисы международной научно-техн.конф. «ТЕКСТИЛЬ-2008», Москва, 2008.
154. Слугин А.И., Слугин А.И., Слугин И.В. Разработка технологии производства тканей для специальной защитной одежды из регенерированных пара-арамидных волокон // Вопросы оборонной техники. Сер. 15. Композиционные

неметаллические материалы в машиностроении, Москва, ФГУП «НТЦ «Информтехника», 2011. Вып. 1(160)-2(161).

155. Слугин Алексей И. Разработка оптимальных технологических параметров изготовления тканей на основе вторичной арамидной пряжи: дисс. ... канд.техн.наук, -М, 2008. – 171 с.

156. Слугин Андрей И. Разработка новых облегченных арамидных тканей на основе вторичных регенерированных волокон и технологических параметров их изготовления: дисс. ... канд.техн.наук. – М., 2012, – 162 с

157. Слугин Андрей И. Разработка тканей из арамидной пряжи // Сборник научных работ аспирантов МГТУ. 2008, №14

158. Слугин Андрей И., Слугин Алексей И. Исследование влияния вида переплетения ткани на натяжение нитей основы в процессе изготовления арамидных тканей из пряжи, полученной из вторичных материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2010, №3

159. Соловьев А.Н., Кирюхин С.М. Оценка качества и стандартизация текстильных материалов. - М.: Легкая индустрия, 1974. - 248 с.

Стандартинформ, 2005. – 7 с.

160. Стрекалова Ю.В. Закономерности процессов термолиза волокнистых полимерных материалов различного состава в присутствии фосфорсодержащих огнезамедлительных систем: дисс. ... канд. хим. наук: 05.17.06: Москва, 2003, 165 с.

161. Сурнина Н.Ф. Проектирование ткани по заданным параметрам. – М.: Легкая индустрия, 1973. – 142 с.

162. Углов А.В. Разработка оптимальных технологических параметров изготовления хлопчатобумажных тканей из пряжи высокой линейной плотности на пневморاپирных ткацких станках: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1998

163. Федорова Е.Е., Сафонов П.Е., Фетисова О.Н., Юхин С.С. Исследование многоцикловых характеристик к истиранию арамидных нитей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – Иваново: ИГТА, 2012.– № 1. – С. 19 - 21.

164. Федорова Е.Е., Сафонов П.Е., Фетисова О.Н., Юхин С.С. Исследование снижения прочности арамидных нитей при выработке тканей специального назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – Иваново: ИГТА, 2011. – № 6. – С. 15 - 17.
165. Фирсов А.В. Разработка метода проектирования рисунков мелкоузорчатых переплетений и его реализация на ПЭВМ: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.19.0:.- Москва, 1995.- 18 с.
166. Чеканова И.А. Разработка оптимальных технологических параметров изготовления тканей на основе использования регенерированных отходов: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2002
167. Черникина, Л. А. Проектирование шерстяных костюмных тканей по основным параметрам их строения: дисс. ... канд. техн. наук. –М, 1971. 227с.
168. Широва Е.А. Исследование и разработка автоматизированного метода расчета натяжения основных и уточных нитей на ткацких станках: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1999
169. Щербаков В.П. Научные основы переработки нитей в трикотажном производстве: дисс. ... док.техн.наук. - М, 1984. - 324 с.
170. Щербаков В.П. Прикладная и структурная механика волокнистых материалов: -М.: «Тисо Принт», 2013 г., с. 304.
171. Щербина Н.А. Модификация полиакрилонитрильного волокна с целью снижения горючести с использованием гибридных огнезамедлительных систем : диссертация ... кандидата технических наук : 05.17.06 / Щербина Наталья Александровна; [Место защиты: Сарат. гос. техн. ун-т].- Саратов, 2009.- 142 с.
172. Юхин С.С. Разработка оптимальных параметров выработки полутораслойной хлопчатобумажной ткани на бесчелночных станках: дис. ... канд. техн. наук.- М., 1986.- 193с.
173. Юхин С.С., Мартыненко С.Е. Автоматизированный метод проектирования тканей по заданной пористости. // Известия вузов, Технология текстильной промышленности. № 4, 2003. – с. 40-43.

174. Юхин С.С., Цыцилина С.А. Методы расчета параметров строения тканей // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1996. – № 5. – с. 36-38.
175. Юхина, Е. А. Определение оптимальных параметров строения и условий изготовления хлопчатобавсановых тканей: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1984.
176. Ятченко, О. Ф. Исследование и проектирование многослойных тканей специального назначения: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1975.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А	Апробация работы	142
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	Расчет параметров при проектировании тканей	146
ПРИЛОЖЕНИЕ В	Расчет вязкоупругих параметров арамидной пряжи различной линейной плотности	150
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	Расчет параметров напряженно-деформированного состояния нитей основы за один оборот для новых спроектированных тканей	153
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	Расчет параметров напряженно-деформированного состояния нитей основы по глубине заправки	157
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	Расчет параметров напряженно-деформированного состояния нитей утка на станке СТБ для спроектированных тканей	161
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	Расчет параметров долговечности арамидной пряжи различной линейной плотности	165
ПРИЛОЖЕНИЕ З	Расчет коэффициентов повреждаемости нитей основы на ткацком станке	168
ПРИЛОЖЕНИЕ И	Расчет энтропии, информации и коэффициентов причинного влияния факторов	182
ПРИЛОЖЕНИЕ К	Расчет частных коэффициентов причинного влияния между факторами	191

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Апробация работы



УТВЕРЖДАЮ

Директор

ООО «ПАНТЕКС»

А.И. Панин Панин А.И.

«13» декабря 2017г.

А К Т

**об апробации результатов диссертационной работы
аспиранта Поликарпова А.В. «Разработка метода про-
ектирования тканей из арамидной пряжи»**

Результаты диссертационной работы, выполненной аспирантом кафедры проектирования и художественного оформления текстильных изделий Российского государственного университета имени А.Н.Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) Поликарповым Александром Вячеславовичем, прошли апробацию в ткацком производстве Димитровградского филиала АО «КОВРОТЕКС».

Апробацию прошли:

- метод проектирования тканей по заданным поверхностной плотности ткани, прочности ткани на разрыв, порядку фазы строения тканей, учитывающим свойства используемых нитей, технологические параметры изготовления тканей;

- метод установления причинно-следственных связей в ткачестве между свойствами используемых нитей, параметрами заправки и структуры тканей, обрывностью нитей основы и утка, позволяющего выявить факторы, в наибольшей степени влияющие на функции цели;

- методы исследования структуры тканей при помощи современных информационных технологий.

Апробация проводилась на ассортименте вырабатываемых на комбинате тканей и дала положительный результат.

Предложенные аспирантом Поликарповым А.В. методы могут быть использованы при прогнозировании структур проектируемых тканей и технологий их изготовления.

Главный инженер

Е.П. Цимбалюк

Цимбалюк Е.П.

Начальник ПТО

М.А. Бояркина

Бояркина М.А.



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО НПК «ЦНИИШерсть»

к.т.н. Разбродин А.В.

25 декабря 2017 года

А К Т

**об апробации результатов диссертационной работы
аспиранта Поликарпова А.В. «Разработка метода про-
ектирования тканей из арамидной пряжи»**

Результаты диссертационной работы «Разработка метода проектирования тканей из арамидной пряжи», выполненной аспирантом кафедры проектирования и художественного оформления текстильных изделий Российского государственного университета имени А.Н.Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) Поликарповым А.В., приняты для использования в научных исследованиях ООО НПК «ЦНИИШерсть»

Использование разработанных аспирантов А.В. Поликарповым при исследованиях шерстяных тканей:

метода проектирования тканей по заданным поверхностной плотности ткани, прочности ткани, порядку фазы строения тканей, учитывающим свойства используемых нитей и технологические параметры изготовления тканей;

метода установления причинно-следственных связей в ткачестве между свойствами используемых нитей, параметрами заправки и структуры тканей, обрывностью нитей основы и утка, позволяющего выявить факторы, в наибольшей степени влияющие на функции цели;

метода исследования структуры тканей при помощи современных информационных технологий,

показали их высокую эффективность.

Предложенные аспирантом Поликарповым А.В. методы могут быть использованы при прогнозировании структур проектируемых тканей и технологий их изготовления.

Члены Ученого совета ООО НПК «ЦНИИШерсть»:

Исполнительный директор НИТЦ

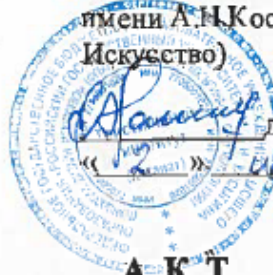
к.т.н. Разумеев В.К.

д.т.н., проф. Мовшович
П.М.

к.т.н. Павлюченко Е.В.

"УТВЕРЖДАЮ"

Директор Текстильного института
Российского государственного университета
имени А.Н.Косыгина (Технологии. Дизайн.
Искусство)



д.т.н., проф. Разумеев К.Э.

« 2 » _____ 2017 года

А К Т

**об использовании результатов диссертационной работы
аспиранта Поликарпова А.В. «Разработка метода проек-
тирования тканей из арамидной пряжи»**

Комиссия в составе заведующего кафедрой, д.т.н., проф. Юхина С.С., д.т.н. проф.В.А.Заваруева, к.т.н., доц.И.В.Рыбаулиной, составила настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы аспиранта Поликарпова А.В. внедрены в 2015-2017 годах в учебный процесс кафедры проектирования и художественного оформления текстильных изделий при проведении занятий с магистрами групп МАГ-ТТ-614, МАГ-ТТ-815 МАГ-ТТ-216, МАГ-ТТ-217:

- при изучении учебных курсов:

Прогнозирование технологического процесса ткачества;

Строение и технологии тканей технического назначения;

Причинно-следственные связи в ткачестве;

Напряженно-деформированное состояние нитей основы и утка на ткацком станке;

Основы механики нити.

- при выполнении выпускных квалификационных работ магистров (А.В.Данилов, гр. МАГ-ТТ-614, Григорьева М.О., гр.МАГ-ТТ-814, Озеркова Д.В., гр.МАГ-ТТ-215);

- при проведении НИР (Панфилов С.В., гр.МАГ-ТТ-216, Захаренкова Е.Ю., гр. МАГ-ТТ-216, Масолова А.С., гр.МАГ-ТТ-217)

Члены комиссии:

проф. С.С.Юхин

проф.В.А.Заваруев

доц. И.В.Рыбаулина

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Расчет параметров при проектировании тканей

Ткань 11

The screenshot shows the Eureka: The Solver application window. The title bar reads "C:\DOCUME~1\User\0016~1\~3C54~1\3A6A~1\06CB~1\EUREKA.EXE". The menu bar includes File, Edit, Solve, Commands, Report, Graph, Options, and Window. The main window is divided into four panes:

- Edit (Line 2, Col 1):**

```

C:PR2.
M=Po*To/100*(1+0.01*Ro)+Py*Ty/100*(1+0.01*Ro)
K=Po^3*2000*Iy/(Py^3*2000*Io)
PFS=(1+9*K)/(1+K)
Io=0.05*dog*dow^3
Iy=0.05*dyy*dyw^3
do=0.12*(0.1*To)^0.5
dy=0.12*(0.1*Ty)^0.5
dog=1.2*dow
dow=0.75*do
dyy=1.15*dy
dyw=0.8*dy

```
- Solution (Line 1):**

To	= 119.12123
Iy	= 119.12123
M	= 467.56784
PFS	= 5.0000000
Po	= 179.76542
Py	= 180.00234
pr1	= 3200.0023
pr2	= 3158.0764
- Report** (empty)
- Verify** (empty)

The status bar at the bottom contains the following text: F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

Ткань 12

The screenshot shows the Eureka: The Solver application window. The title bar reads "C:\DOCUME~1\User\0016~1\~3C54~1\3A6A~1\06CB~1\EUREKA.EXE". The menu bar includes File, Edit, Solve, Commands, Report, Graph, Options, and Window. The main window is divided into four panes:

- Edit (Line 2, Col 1):**

```

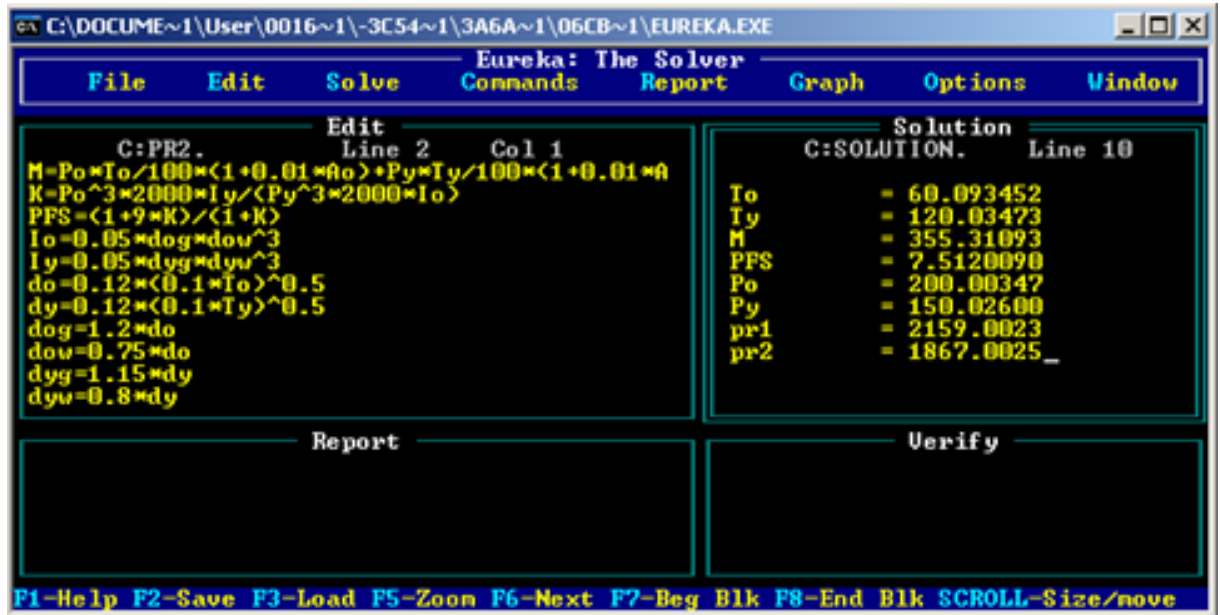
C:PR2.
M=Po*To/100*(1+0.01*Ro)+Py*Ty/100*(1+0.01*Ro)
K=Po^3*2000*Iy/(Py^3*2000*Io)
PFS=(1+9*K)/(1+K)
Io=0.05*dog*dow^3
Iy=0.05*dyy*dyw^3
do=0.12*(0.1*To)^0.5
dy=0.12*(0.1*Ty)^0.5
dog=1.2*dow
dow=0.75*do
dyy=1.15*dy
dyw=0.8*dy

```
- Solution (Line 10):**

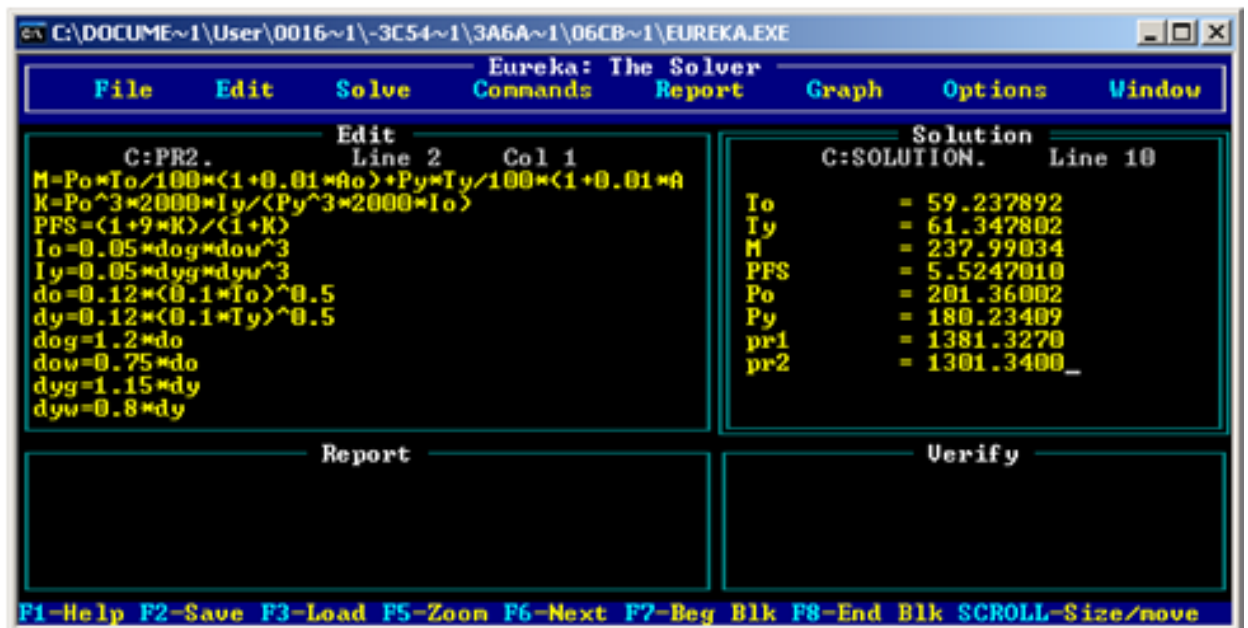
To	= 120.35003
Iy	= 119.19673
M	= 432.00347
PFS	= 5.4002550
Po	= 179.89034
Py	= 180.23700
pr1	= 3298.2341
pr2	= 3103.3190_
- Report** (empty)
- Verify** (empty)

The status bar at the bottom contains the following text: F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

Ткань 13



Ткань 14



Ткань №15

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit
 C:PR2. Line 2 Col 1
 $M = P_o * I_o / 100 * (1 + 0.01 * A_o) + P_y * I_y / 100 * (1 + 0.01 * A)$
 $K = P_o^3 * 2000 * I_y / (P_y^3 * 2000 * I_o)$
 $PFS = (1 + 9 * K) / (1 + K)$
 $I_o = 0.05 * dog * dou^3$
 $I_y = 0.05 * dyg * dyw^3$
 $do = 0.12 * (0.1 * I_o)^{0.5}$
 $dy = 0.12 * (0.1 * I_y)^{0.5}$
 $dog = 1.2 * do$
 $dou = 0.75 * do$
 $dyg = 1.15 * dy$
 $dyw = 0.8 * dy$

Solution
 C:SOLUTION. Line 10
 $I_o = 59.982392$
 $I_y = 60.127022$
 $M = 265.02678$
 $PFS = 5.0120910$
 $P_o = 199.03892$
 $P_y = 200.03709$
 $pr1 = 1400.9890$
 $pr2 = 1390.0127$

Report **Verify**

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Расчет вязкоупругих параметров арамидной пряжи различной линейной плотности

Арамидная пряжа 30x2 текс

C:\DOCUME~1\User\0016~1\~3C54~1\3A6A~1\3A6A~1\06CB~1\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit C:\WUP-POL3. Line 1 Col 1

$$\langle G2-G3 \rangle * t1^L - t2^L * \langle G1-G3 \rangle + t3^L * \langle G1-G2 \rangle = 0$$

$$A = \langle L * (L+1) * \langle G1-G2 \rangle \rangle / \langle G1 * (L+1) * \langle t2^L - t1^L \rangle \rangle + \langle$$

$$E = \langle \langle G1-G2 \rangle * L \rangle / \langle d * A * \langle t2^L - t1^L \rangle \rangle$$

$$B = \langle \langle G4-G1 + E * d * A * \langle t4^L - t1^L \rangle / L \rangle \rangle / \langle \langle E * d * A * \langle t4$$

$$T = 60$$

$$C = 1.16$$

$$d = 0.01$$

$$D = 0.1 * C * \langle 0.1 * T \rangle^{0.5}$$

$$S = 3.14 * D^2 / 4$$

$$G1 = P1 / S / 1000$$

$$G2 = P2 / S / 1000$$

Solution C:\SOLUTION. Line 1

A	=	.022569294
B	=	.60024346
d	=	.010000000
D	=	.28414081
E	=	1749.3853
G1	=	17.356246
G2	=	16.693553
G3	=	16.504212
G4	=	16.409542
L	=	.29306140

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

Арамидная пряжа 60x2 текс

C:\DOCUME~1\User\0016~1\~3C54~1\3A6A~1\3A6A~1\06CB~1\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit C:\WUPPOL60. Line 1 Col 1

$$\langle G2-G3 \rangle * t1^L - t2^L * \langle G1-G3 \rangle + t3^L * \langle G1-G2 \rangle = 0$$

$$A = \langle L * (L+1) * \langle G1-G2 \rangle \rangle / \langle G1 * (L+1) * \langle t2^L - t1^L \rangle \rangle + \langle$$

$$E = \langle \langle G1-G2 \rangle * L \rangle / \langle d * A * \langle t2^L - t1^L \rangle \rangle$$

$$B = \langle \langle G4-G1 + E * d * A * \langle t4^L - t1^L \rangle / L \rangle \rangle / \langle \langle E * d * A * \langle t4$$

$$T = 120$$

$$C = 1.16$$

$$d = 0.01$$

$$D = 0.1 * C * \langle 0.1 * T \rangle^{0.5}$$

$$S = 3.14 * D^2 / 4$$

$$G1 = P1 / S / 1000$$

$$G2 = P2 / S / 1000$$

Solution C:\SOLUTION. Line 1

A	=	.020691476
B	=	.49155788
d	=	.010000000
D	=	.40183579
E	=	1755.5073
G1	=	17.372025
G2	=	16.685664
G3	=	16.504212
G4	=	16.393763
L	=	.26045570

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

Арамидная пряжа 83,3х2 текс

C:\DOCUME~1\User\0016~1\~3C54~1\3A6A~1\3A6A~1\06CB~1\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit		Solution	
Line	Col	Line	Col
1	1	1	1
C:WUPPOL83.		C:SOLUTION.	
$(G2-G3)*t1^L-t2^L*(G1-G3)+t3^L*(G1-G2)=0$		A	= .022194188
$A=(L*(L+1)*(G1-G2))/(G1*(L+1)*(t2^L-t1^L)+$		B	= .58467153
$E=(G1-G2)*L)/(d*A*(t2^L-t1^L))$		d	= .010000000
$B=(G4-G1+E*d*A*(t4^L-t1^L)/L)/(E*d*A*(t4$		D	= .47347329
$T=166.6$		E	= 1749.8220
$C=1.16$		G1	= 17.354352
$d=0.01$		G2	= 16.689500
$D=0.1*C*(0.1*T)^0.5$		G3	= 16.501977
$S=3.14*D^2/4$		G4	= 16.405375
$G1=P1/S/1000$		L	= .28757887
$G2=P2/S/1000$			

Report Uerify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Расчет параметров напряженно-деформированного состояния нитей основы за один оборот для новых спроектированных тканей

Ткань 1

```

C:\К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE
K2= 1.512869E-06
D2= 7.045987E-04
K1= 1.195868E-02
K2= 1.512869E-06
K2= 1.615419E-06
K1= 1.548018E-02
K2= 1.512869E-06
K2= 1.615419E-06
K2= 1.644706E-05
K1= 1.767629E-02
K2= 1.512869E-06
K2= 1.615419E-06
K2= 1.644706E-05
K1= 2.196113E-03
K1= 1.996936E-02
K2= 1.512869E-06
K2= 1.615419E-06
K2= 1.644706E-05
K1= 2.196113E-03
K2= 3.541731E-05
D1=, D2=, D3=, D4=, D5=, D6= 4.694154E-04      7.045987E-04
4.699347E-04      6.285782E-04      7.847886E-04
6.280786E-04
если 1-закончить, если 2 - продолжить, h=?

```

Ткань 2

```

C:\К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE
K2= 1.512869E-06
D2= 6.386045E-03
K1= 1.195868E-02
K2= 1.512869E-06
K2= 1.615419E-06
K1= 1.548018E-02
K2= 1.512869E-06
K2= 1.615419E-06
K2= 1.644706E-05
K1= 1.767629E-02
K2= 1.512869E-06
K2= 1.615419E-06
K2= 1.644706E-05
K1= 2.196113E-03
K1= 1.996936E-02
K2= 1.512869E-06
K2= 1.615419E-06
K2= 1.644706E-05
K1= 2.196113E-03
K2= 3.541731E-05
D1=, D2=, D3=, D4=, D5=, D6= 4.25449E-03      6.386045E-03
4.259197E-03      6.020457E-03      7.755922E-03
6.010605E-03
если 1-закончить, если 2 - продолжить, h=?

```

Ткань 3

```

с:\ К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE
K2 = 1.144947E-06
D2 = 5.876141E-03
K1 = 9.157977E-03
K2 = 1.144947E-06
K2 = 1.23276E-06
K1 = 1.224953E-02
K2 = 1.144947E-06
K2 = 1.23276E-06
K2 = 1.284645E-05
K1 = 1.422484E-02
K2 = 1.144947E-06
K2 = 1.23276E-06
K2 = 1.284645E-05
K1 = 1.975309E-03
K1 = 1.632089E-02
K2 = 1.144947E-06
K2 = 1.23276E-06
K2 = 1.284645E-05
K1 = 1.975309E-03
K2 = 2.874538E-05
D1 =, D2 =, D3 =, D4 =, D5 =, D6 = 3.915167E-03      5.876141E-03
3.918884E-03      5.501616E-03      7.066173E-03
5.496679E-03
если 1-закончить, если 2 - продолжить, b=? _

```

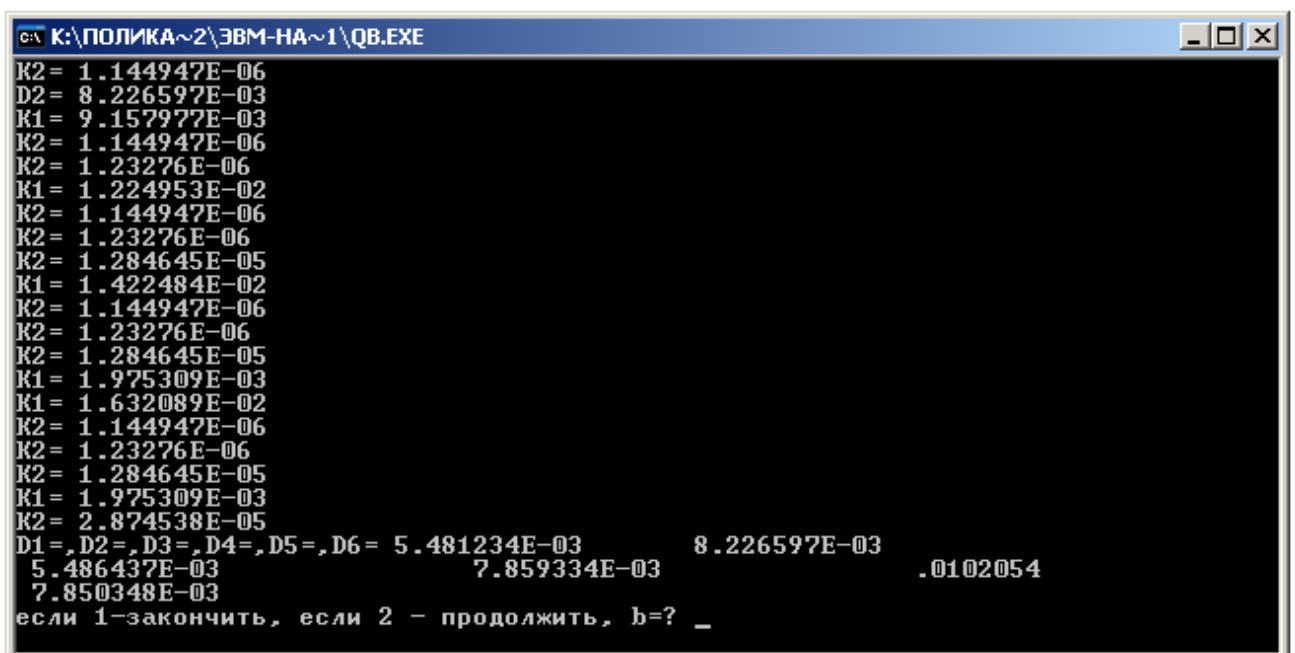
Ткань 4

```

с:\ К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE
K2 = 1.144947E-06
D2 = 7.443024E-03
K1 = 9.157977E-03
K2 = 1.144947E-06
K2 = 1.23276E-06
K1 = 1.224953E-02
K2 = 1.144947E-06
K2 = 1.23276E-06
K2 = 1.284645E-05
K1 = 1.422484E-02
K2 = 1.144947E-06
K2 = 1.23276E-06
K2 = 1.284645E-05
K1 = 1.975309E-03
K1 = 1.632089E-02
K2 = 1.144947E-06
K2 = 1.23276E-06
K2 = 1.284645E-05
K1 = 1.975309E-03
K2 = 2.874538E-05
D1 =, D2 =, D3 =, D4 =, D5 =, D6 = 4.698201E-03      7.443024E-03
4.702415E-03      6.68023E-03      8.635542E-03
6.673268E-03
если 1-закончить, если 2 - продолжить, b=? _

```

Ткань 5



```
К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE
K2= 1.144947E-06
D2= 8.226597E-03
K1= 9.157977E-03
K2= 1.144947E-06
K2= 1.23276E-06
K1= 1.224953E-02
K2= 1.144947E-06
K2= 1.23276E-06
K2= 1.284645E-05
K1= 1.422484E-02
K2= 1.144947E-06
K2= 1.23276E-06
K2= 1.284645E-05
K1= 1.975309E-03
K1= 1.632089E-02
K2= 1.144947E-06
K2= 1.23276E-06
K2= 1.284645E-05
K1= 1.975309E-03
K2= 2.874538E-05
D1=, D2=, D3=, D4=, D5=, D6= 5.481234E-03      8.226597E-03
5.486437E-03      7.859334E-03      .0102054
7.850348E-03
если 1-закончить, если 2 - продолжить, b=? _
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Расчет параметров напряженно-деформированного состояния нитей основы по глубине заправки

Ткань 1

К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE			
z1=, z2=, z3=, z4=, z5=	603.7736	150.9434	603.7736
528.3019	377.3585		
t1=, t2=, t3=, t4=, t5=	3.018868	3.773585	6.792452
9.433962	11.32075		
G1=, G2=, G3=, G4=	.747346	.8968152	1.121019
K11=, K12=, K1=	0	9.743878E-02	9.743878E-02
K11=, K12=, K1=	0	.1034226	.1034226
K21=, K22=, K2=	.2537864	.3294827	7.569632E-02
K11=, K12=, K1=	0	.1502417	.1502417
K21=, K22=, K2=	.2537864	.3294827	7.569632E-02
K11=, K12=, K1=	.1034226	.1502417	4.681904E-02
K11=, K12=, K1=	0	.2314161	.2314161
K21=, K22=, K2=	.2537864	.3294827	7.569632E-02
K11=, K12=, K1=	.1034226	.2314161	.1279935
K11=, K12=, K1=	.1502417	.2314161	8.117442E-02
K11=, K12=, K1=	0	.3163661	.3163661
K21=, K22=, K2=	.2537864	.3294827	7.569632E-02
K11=, K12=, K1=	.1034226	.3163661	.2129435
K11=, K12=, K1=	.1502417	.3163661	.1661244
K11=, K12=, K1=	.2314161	.3163661	8.495003E-02
D1=, D2=, D3=, D3max=, D4=, D4max=, D5=	4.673313E-03		5.635892E-03
6.726817E-03	8.004331E-03		8.522838E-03
9.800353E-03	.0104515		
если 1-закончить, если 2 - продолжить, b=? _			

Ткань 2

К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE			
z1=, z2=, z3=, z4=, z5=	571.4286	142.8571	571.4286
500	357.1429		
t1=, t2=, t3=, t4=, t5=	2.857143	3.571429	6.428572
8.928572	10.71429		
G1=, G2=, G3=, G4=	.6794055	.8152866	1.019108
K11=, K12=, K1=	0	8.492195E-02	8.492195E-02
K11=, K12=, K1=	0	9.045443E-02	9.045443E-02
K21=, K22=, K2=	.2053185	.2678715	6.255299E-02
K11=, K12=, K1=	0	.1333513	.1333513
K21=, K22=, K2=	.2053185	.2678715	6.255299E-02
K11=, K12=, K1=	9.045443E-02	.1333513	.0428969
K11=, K12=, K1=	0	.2087967	.2087967
K21=, K22=, K2=	.2053185	.2678715	6.255299E-02
K11=, K12=, K1=	9.045443E-02	.2087967	.1183422
K11=, K12=, K1=	.1333513	.2087967	7.544532E-02
K11=, K12=, K1=	0	.2886469	.2886469
K21=, K22=, K2=	.2053185	.2678715	6.255299E-02
K11=, K12=, K1=	9.045443E-02	.2886469	.1981925
K11=, K12=, K1=	.1333513	.2886469	.1552956
K11=, K12=, K1=	.2087967	.2886469	7.985026E-02
D1=, D2=, D3=, D3max=, D4=, D4max=, D5=	4.200011E-03		5.063484E-03
6.037014E-03	7.19839E-03	7.636493E-03	
8.79787E-03	9.354287E-03		
если 1-закончить, если 2 - продолжить, b=?			

Ткань 3

```

с:\ К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE
z1=,z2=,z3=,z4=,z5= 685.7143          171.4286      685.7143
617.1429          428.5714
t1=,t2=,t3=,t4=,t5= 3.428571        4.285714      7.714286
10.8             12.94286
G1=,G2=,G3=,G4= .8152865          .9783438      1.22293       1.467516
K11=,K12=,K1= 0          8.112588E-02  .0904351      8.112588E-02
K11=,K12=,K1= 0          .0904351      .0904351
K21=,K22=,K2= .2255716          .2988742      7.330257E-02
K11=,K12=,K1= 0          .1688572      .1688572
K21=,K22=,K2= .2255716          .2988742      7.330257E-02
K11=,K12=,K1= .0904351          .1688572      7.842214E-02
K11=,K12=,K1= 0          .3126391      .3126391
K21=,K22=,K2= .2255716          .2988742      7.330257E-02
K11=,K12=,K1= .0904351          .3126391      .222204
K11=,K12=,K1= .1688572          .3126391      .1437819
K11=,K12=,K1= 0          .4605073      .4605073
K21=,K22=,K2= .2255716          .2988742      7.330257E-02
K11=,K12=,K1= .0904351          .4605073      .3700722
K11=,K12=,K1= .1688572          .4605073      .2916501
K11=,K12=,K1= .3126391          .4605073      .1478682
D1=,D2=,D3=,D3max=,D4=,D4max=,D5= 4.965788E-03      6.005741E-03
7.35662E-03      8.73457E-03      9.725191E-03      1.110314E-02
1.232567E-02
если 1-закончить, если 2 - продолжить, b=? _

```

Ткань 4

```

с:\ К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE
z1=,z2=,z3=,z4=,z5= 761.9048          190.4762      761.9048
666.6667          476.1905
t1=,t2=,t3=,t4=,t5= 3.809524        4.761905      8.571428
11.90476         14.28571
G1=,G2=,G3=,G4= .9511676          1.141401      1.426751      1.712102
K11=,K12=,K1= 0          9.311949E-02  .1065115      9.311949E-02
K11=,K12=,K1= 0          .1065115      .1065115
K21=,K22=,K2= .2821419          .3768233      9.468138E-02
K11=,K12=,K1= 0          .220665       .220665
K21=,K22=,K2= .2821419          .3768233      9.468138E-02
K11=,K12=,K1= .1065115          .220665       .1141535
K11=,K12=,K1= 0          .4209308      .4209308
K21=,K22=,K2= .2821419          .3768233      9.468138E-02
K11=,K12=,K1= .1065115          .4209308      .3144193
K11=,K12=,K1= .220665          .4209308      .2002658
K11=,K12=,K1= 0          .6307369      .6307369
K21=,K22=,K2= .2821419          .3768233      9.468138E-02
K11=,K12=,K1= .1065115          .6307369      .5242255
K11=,K12=,K1= .220665          .6307369      .410072
K11=,K12=,K1= .4209308          .6307369      .2098061
D1=,D2=,D3=,D3max=,D4=,D4max=,D5= 5.944768E-03      .0072134
9.046039E-03      1.067754E-02  1.231122E-02
1.394272E-02      1.599652E-02
если 1-закончить, если 2 - продолжить, b=?

```


Ткань 5

```

К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE
z1=, z2=, z3=, z4=, z5= 761.9048      190.4762      761.9048
666.6667      476.1905
t1=, t2=, t3=, t4=, t5= 3.809524    4.761905      8.571428
11.90476      14.28571
G1=, G2=, G3=, G4= .9511676      1.141401      1.426751      1.712102
K11=, K12=, K1= 0      9.311949E-02  .1065115      9.311949E-02
K11=, K12=, K1= 0      .1065115      .1065115
K21=, K22=, K2= .2821419      .3768233      9.468138E-02
K11=, K12=, K1= 0      .220665      .220665
K21=, K22=, K2= .2821419      .3768233      9.468138E-02
K11=, K12=, K1= .1065115      .220665      .1141535
K11=, K12=, K1= 0      .4209308      .4209308
K21=, K22=, K2= .2821419      .3768233      9.468138E-02
K11=, K12=, K1= .1065115      .4209308      .3144193
K11=, K12=, K1= .220665      .4209308      .2002658
K11=, K12=, K1= 0      .6307369      .6307369
K21=, K22=, K2= .2821419      .3768233      9.468138E-02
K11=, K12=, K1= .1065115      .6307369      .5242255
K11=, K12=, K1= .220665      .6307369      .410072
K11=, K12=, K1= .4209308      .6307369      .2098061
D1=, D2=, D3=, D3max=, D4=, D4max=, D5= 5.944768E-03      .0072134
9.046039E-03      1.067754E-02      1.231122E-02
1.394272E-02      1.599652E-02
если 1-закончить, если 2 - продолжить, b=?

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Расчет параметров напряженно-деформированного состояния нитей утка на станке
СТБ для спроектированных тканей

Ткань 1

```

C:\К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE
a1=, a2=, a3=, a4=, a5=, a6=, a7=, a8=, a9=? 0,80,90,100,150,160,200,280,360
F1=,F2=,F3=,F4=,F5=? 100,180,140,160,100
Ey=,A=,A1=,bet=? 1755,0.0206,0.200,0.585
n=? 200
TY=? 120
S= .1471875
G1=,G2=,G3=,G4=,G5= 6.794055      12.2293      9.511677
10.87049      6.794055
Dz= 3.871256E-03
D1= 3.973537E-03
D2= 7.155794E-03
D3= 5.56718E-03
D4=,D4max= 7.12832E-03      7.902571E-03
D5= 1.181857E-02
D6= 7.838193E-03
D7= 7.84673E-03
D8= 7.853487E-03
если 1-закончить, если 2 - продолжить, h=? _

```

Ткань 2

```

C:\К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE
D3= 5.495822E-03
D4=,D4max= 7.052945E-03      7.827196E-03
D5= .011722
D6= 7.796543E-03
D7= 7.798642E-03
D8= 7.803523E-03
если 1-закончить, если 2 - продолжить, h=? 2
F1=,F2=,F3=,F4=,F5=? 90,160,125,140,90
Ey=,A=,A1=,bet=? 1755,0.0206,0.260,0.585
n=? 200
TY=? 120
S= .1471875
G1=,G2=,G3=,G4=,G5= 6.11465      10.87049      8.492569
9.511677      6.11465
Dz= 3.484131E-03
D1= 3.53121E-03
D2= 6.279747E-03
D3= 4.907012E-03
D4=,D4max= 6.269649E-03      6.850337E-03
D5= 1.016151E-02
D6= 6.825374E-03
D7= 6.827264E-03
D8= 6.831656E-03
если 1-закончить, если 2 - продолжить, h=?

```

Ткань 3

```

с:\ К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE
D6= 6.825374E-03
D7= 6.827264E-03
D8= 6.831656E-03
если 1-закончить, если 2 - продолжить, b=? 2
F1=,F2=,F3=,F4=,F5=? 80,140,110,125

Redo from start
F1=,F2=,F3=,F4=,F5=? 80,140,110,125,80
Eу=,A=,A1=,bet=? 1755,0.0206,0.260,0.585
n=? 200
TY=? 120
S= .1471875
G1=,G2=,G3=,G4=,G5= 5.435244          9.511677          7.473461
  8.492569          5.435244
Dz= 3.097005E-03
D1= 3.138853E-03
D2= 5.494788E-03
D3= 4.318201E-03
D4=,D4max= 5.486351E-03          6.06704E-03
D5= 8.988191E-03
D6= 6.044487E-03
D7= 6.046166E-03
D8= 6.05007E-03
если 1-закончить, если 2 - продолжить, b=?

```

Ткань 4

```

с:\ К:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE
D3= 4.318201E-03
D4=,D4max= 5.486351E-03          6.06704E-03
D5= 8.988191E-03
D6= 6.044487E-03
D7= 6.046166E-03
D8= 6.05007E-03
если 1-закончить, если 2 - продолжить, b=? 2
F1=,F2=,F3=,F4=,F5=? 50,90,60,75,50
Eу=,A=,A1=,bet=? 1749,0.0226,0.293,0.600
n=? 200
TY=? 60
S= 7.359375E-02
G1=,G2=,G3=,G4=,G5= 6.794055          12.2293          8.152866
  10.19108          6.794055
Dz= 3.884537E-03
D1= 3.925361E-03
D2= 7.067665E-03
D3= 4.71251E-03
D4=,D4max= 5.496009E-03          6.66137E-03
D5= 1.096152E-02
D6= 6.64291E-03
D7= 6.644831E-03
D8= 6.649322E-03
если 1-закончить, если 2 - продолжить, b=?

```

Ткань 5

```

C:\ПОЛИКА~2\ЭВМ-НА~1\QB.EXE
D3= 4.71251E-03
D4=,D4max= 5.496009E-03      6.66137E-03
D5= 1.096152E-02
D6= 6.64291E-03
D7= 6.644831E-03
D8= 6.649322E-03
если 1-закончить, если 2 - продолжить, h=? 2
F1=,F2=,F3=,F4=,F5=? 60,100,70,85,60
Eу=,A=,A1=,bet=? 1749,0.0226,0.293,0.6
n=? 200
TY=? 60
S= 7.359375E-02
G1=,G2=,G3=,G4=,G5= 8.152866      13.58811      9.511677
  11.54989      8.152866
Dz= 4.661445E-03
D1= 4.710434E-03
D2= 7.853024E-03
D3= 5.498134E-03
D4=,D4max= 6.28273E-03      7.448092E-03
D5= 1.174843E-02
D6= 7.431213E-03
D7= 7.433518E-03
D8= 7.438908E-03
если 1-закончить, если 2 - продолжить, h=?

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Расчет параметров долговечности арамидной пряжи различной линейной плотности

Линейная плотность нитей 30x2 текс

The screenshot shows the Eureka: The Solver window with the following content:

File Edit Solve Eureka: The Solver Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR2-~1. Line 14 Col 1

```

T=60
F1=1
F2=1.25
F3=1.5
t1=20.171
t2=3.061
t3=0.656
P1=t1^(m+1)*K1^(A*(1+m))/B^(1+m)=1
P2=t2^(m+1)*K2^(A*(1+m))/B^(1+m)=1
P3=t3^(m+1)*K3^(A*(1+m))/B^(1+m)=1

```

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.45000112
B	=	6.28000043
m	=	-0.93012004
s	=	0.29393877

Report **Verify**

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

Линейная плотность нитей 60x2 текс

The screenshot shows the Eureka: The Solver window with the following content:

File Edit Solve Eureka: The Solver Commands Report Graph Options Window

Edit D:3-4-60~1. Line 5 Col 9

```

T=120
F1=1.5
F2=1.75
F3=2
t1=14.221
t2=3.896
t3=1.2696
P1=t1^(m+1)*K1^(A*(1+m))/B^(1+m)=1
P2=t2^(m+1)*K2^(A*(1+m))/B^(1+m)=1
P3=t3^(m+1)*K3^(A*(1+m))/B^(1+m)=1

```

Solution D:SOLUTION. Line 10

A	=	8.40040045
B	=	68300054
m	=	-0.93120031
s	=	0.41569219

Report **Verify**

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

Линейная плотность нитей 83,3x2 текс

C:\ D:\DISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit Line 11 Col 9
 D:3-4-16~1.
 K2=F2/s
 K3=F3/s
 s=0.12*(0.1*T)^(0.5)
 T=166.6
 F1=2
 F2=2.5
 F3=3
 t1=5.789
 t2=0.906
 t3=0.199
 P1=t1^(m+1)*K1^(A*(1+m))/B^(1+m)=1

Solution D:SOLUTION. Line 10
 A = 8.31003210
 B = 6.92001251
 m = -0.93003200
 s = .48979996
 -

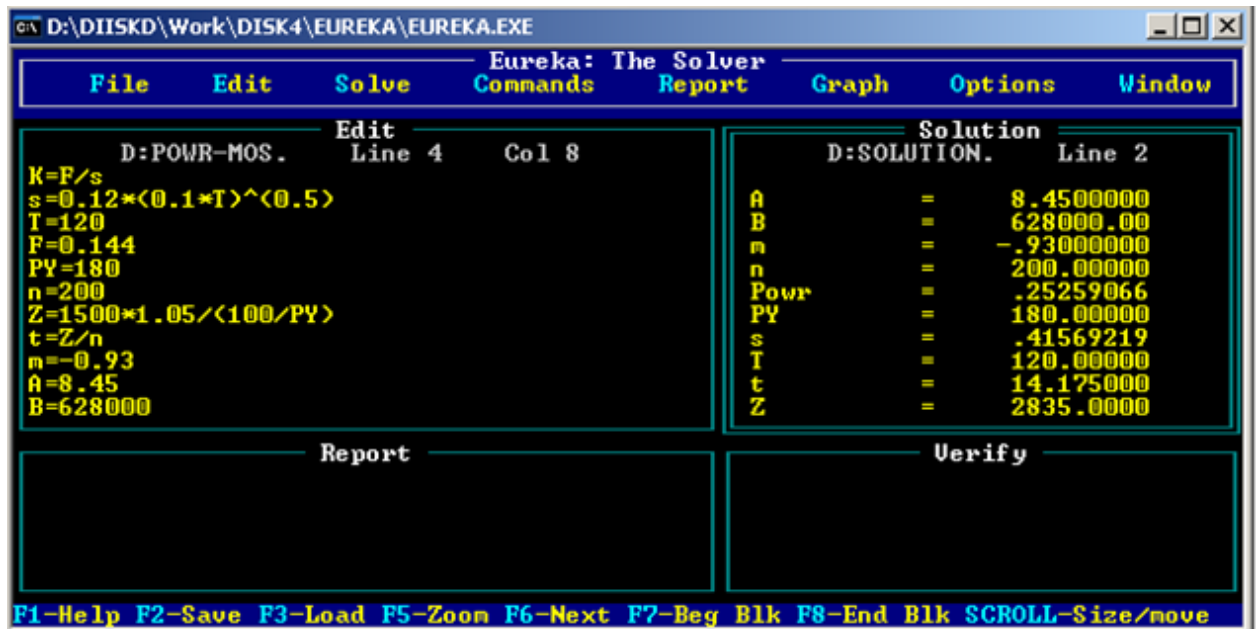
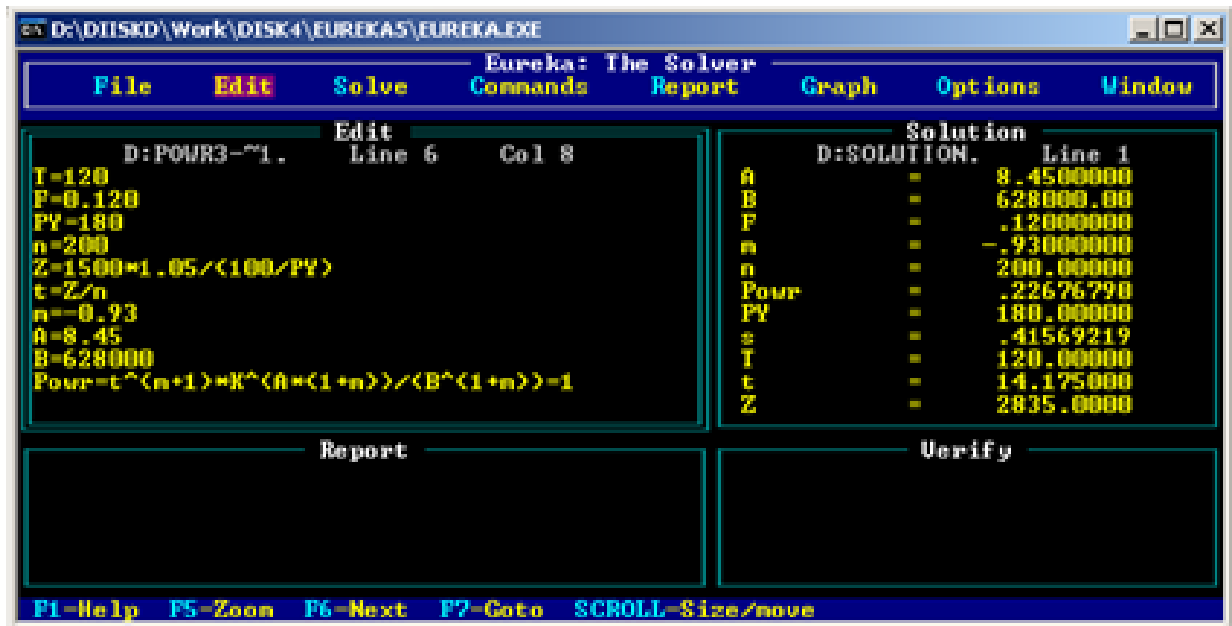
Report Uerify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Расчет коэффициентов повреждаемости нитей основы на ткацком станке

Ткань 1



D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver
 File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR-MOS. Line 4 Col 8

```

K=F/s
s=0.12*(0.1*T)^(0.5)
T=120
F=0.168
PY=180
n=200
Z=1500*1.05/(100/PY)
t=Z/n
n=-0.93
A=8.45
B=628000
  
```

Solution D:SOLUTION. Line 4

A	=	8.4500000
B	=	628000.00
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Power	=	.27670456
PY	=	180.00000
s	=	.41569219
T	=	120.00000
t	=	14.175000
Z	=	2835.0000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver
 File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

```

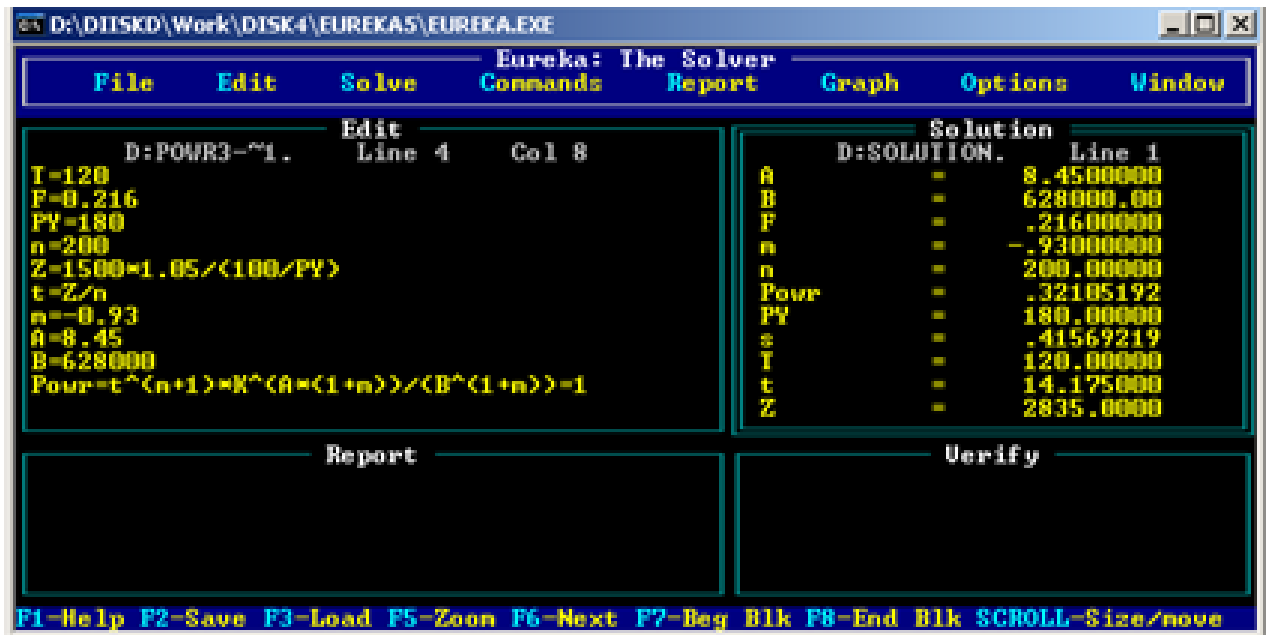
T=120
F=0.192
PY=180
n=200
Z=1500*1.05/(100/PY)
t=Z/n
n=-0.93
A=8.45
B=628000
Power=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))-1
  
```

Solution D:SOLUTION. Line 1

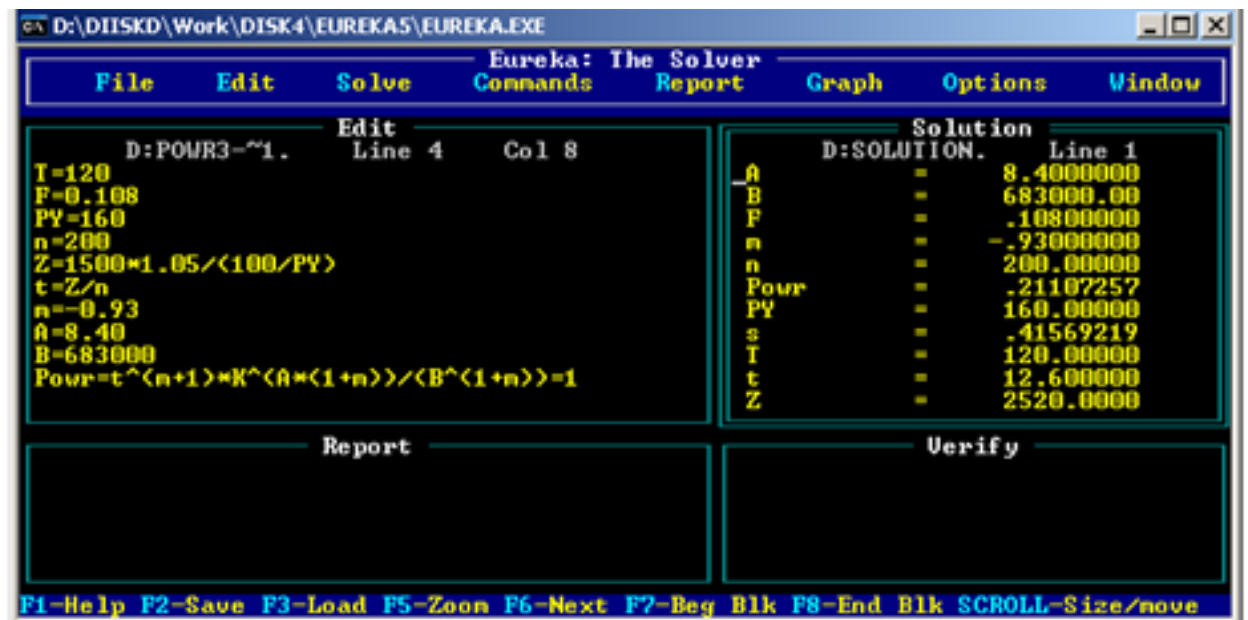
A	=	8.4500000
B	=	628000.00
F	=	.19200000
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Power	=	.29944603
PY	=	180.00000
s	=	.41569219
T	=	120.00000
t	=	14.175000
Z	=	2835.0000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move



Ткань 2



D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

T=120
 P=0.132
 PY=160
 n=200
 Z=1500*1.05/(100/PY)
 t=Z/n
 n=-0.93
 A=8.40
 B=683000
 Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))-1

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4000000
B	=	683000.00
F	=	.13200000
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.23750683
PY	=	160.00000
s	=	.41569219
T	=	120.00000
t	=	12.600000
Z	=	2520.0000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

T=120
 P=0.180
 PY=160
 n=200
 Z=1500*1.05/(100/PY)
 t=Z/n
 n=-0.93
 A=8.40
 B=683000
 Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))-1

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4000000
B	=	683000.00
F	=	.18000000
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.28502231
PY	=	160.00000
s	=	.41569219
T	=	120.00000
t	=	12.600000
Z	=	2520.0000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit Line 5 Col 1

D:POWR3-~1.

T=120
 F=0.204
 PY=160
 n=200
 Z=1500*1.05/(100/PY)
 t=Z/n
 n=-0.93
 A=8.40
 B=683000
 Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/<B^(1+n)>=1

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4000000
B	=	683000.00
F	=	.20400000
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.30678998
PY	=	160.00000
s	=	.41569219
T	=	120.00000
t	=	12.600000
Z	=	2520.0000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit Line 5 Col 1

D:POWR3-~1.

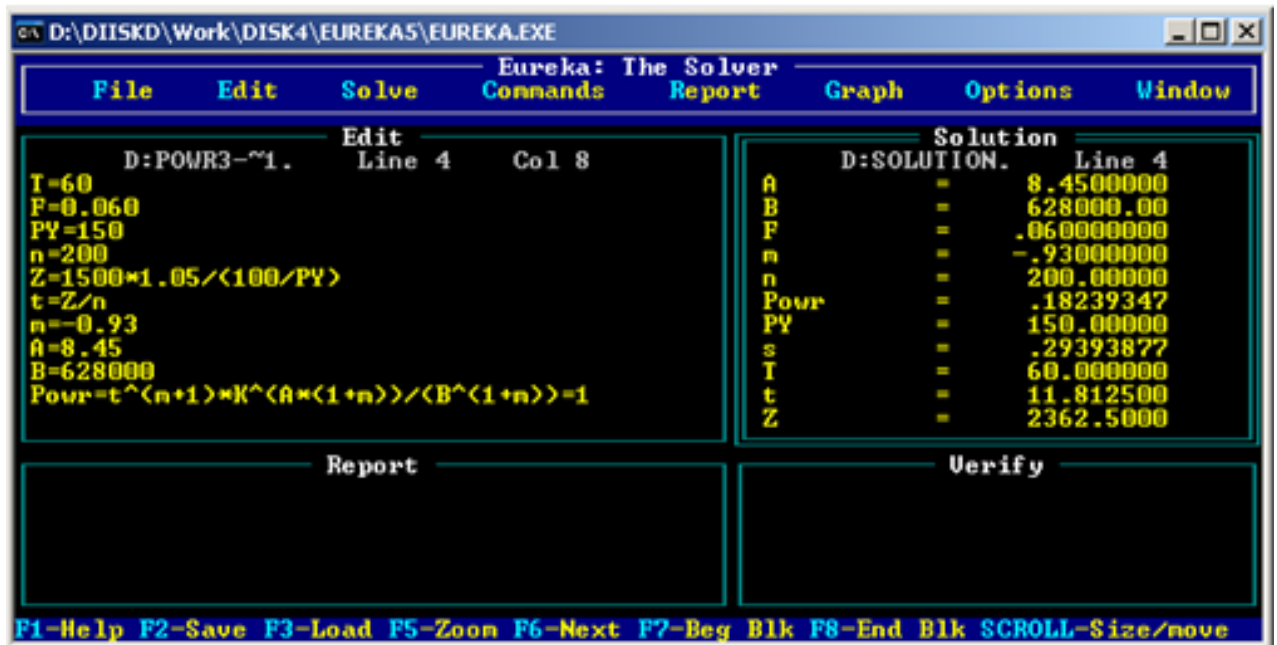
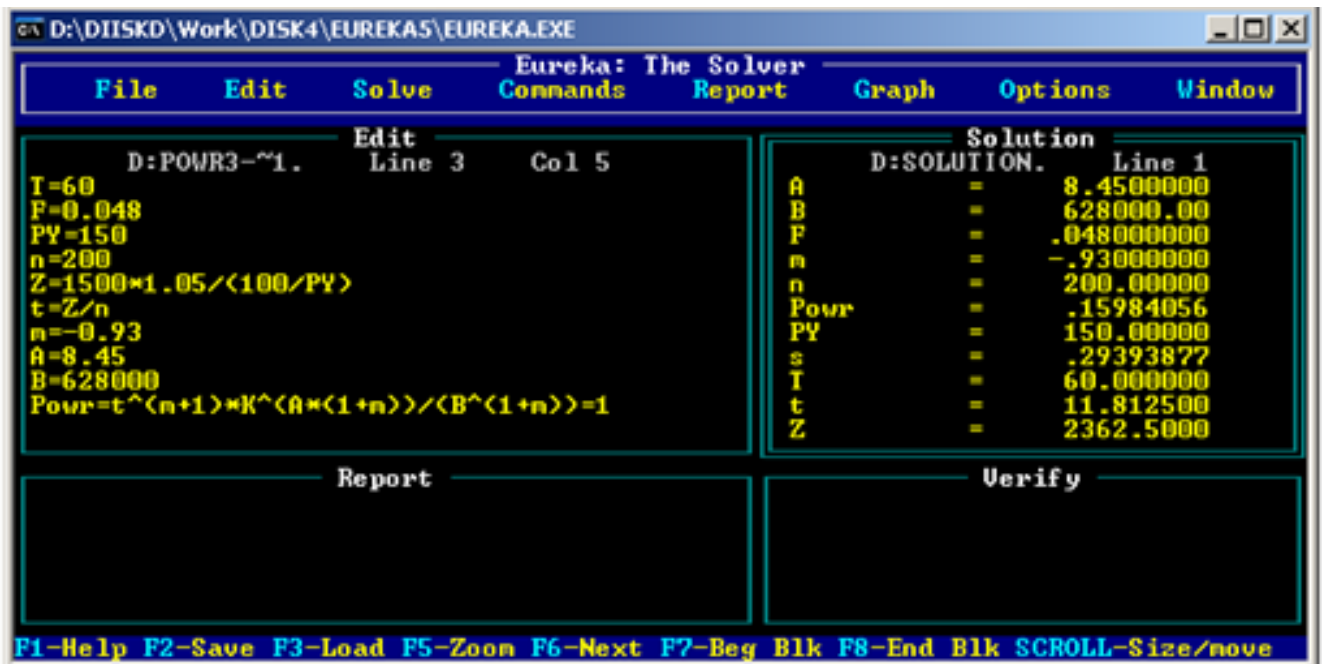
T=120
 F=0.204
 PY=160
 n=200
 Z=1500*1.05/(100/PY)
 t=Z/n
 n=-0.93
 A=8.40
 B=683000
 Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/<B^(1+n)>=1

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4000000
B	=	683000.00
F	=	.18000000
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.28502231
PY	=	160.00000
s	=	.41569219
T	=	120.00000
t	=	12.600000
Z	=	2520.0000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move



D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

```

T=60
F=0.072
PY=150
n=200
Z=1500*1.05/(100/PY)
t=Z/n
n=-0.93
A=8.45
B=628000
Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))-1

```

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4500000
B	=	628000.00
F	=	.072000000
K	=	.24494897
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.20316317
PY	=	150.00000
s	=	.29393877
T	=	60.000000
t	=	11.812500

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

```

T=60
F=0.084
PY=150
n=200
Z=1500*1.05/(100/PY)
t=Z/n
n=-0.93
A=8.45
B=628000
Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))-1

```

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4500000
B	=	628000.00
F	=	.084000000
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.22255841
PY	=	150.00000
s	=	.29393877
T	=	60.000000
t	=	11.812500
Z	=	2362.5000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

```
T=60
F=0.096
PY=150
n=200
Z=1500*1.05/(100/PY)
t=Z/n
n=-0.93
A=8.45
B=628000
Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))=1
```

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4500000
B	=	628000.00
F	=	.096000000
K	=	.32659863
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.24084978
PY	=	150.00000
s	=	.29393877
T	=	60.000000
t	=	11.812500

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

Ткань 4

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

```
T=60
F=0.060
PY=180
n=200
Z=1500*1.05/(100/PY)
t=Z/n
n=-0.93
A=8.45
B=628000
Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))=1
```

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4500000
B	=	628000.00
F	=	.060000000
K	=	.20412415
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.18473618
PY	=	180.00000
s	=	.29393877
T	=	60.000000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

T=60
 F=0.072
 PY=150
 n=200
 Z=1500*1.05/(100/PY)
 t=Z/n
 n=-0.93
 A=8.45
 B=628000
 Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))=1

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4500000
B	=	628000.00
F	=	.072000000
K	=	.24494897
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.20316317
PY	=	150.00000
s	=	.29393877
T	=	60.000000
t	=	11.812500

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

T=60
 F=0.084
 PY=180
 n=200
 Z=1500*1.05/(100/PY)
 t=Z/n
 n=-0.93
 A=8.45
 B=628000
 Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))=1

Solution D:SOLUTION. Line 11

B	=	628000.00
F	=	.084000000
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.22541702
PY	=	180.00000
s	=	.29393877
T	=	60.000000
t	=	14.175000
Z	=	2835.0000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

```

T=60
F=0.096
PY=180
n=200
Z=1500*1.05/(100/PY)
t=Z/n
n=-0.93
A=8.45
B=628000
Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))=1

```

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4500000
B	=	628000.00
F	=	.096000000
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.24394332
PY	=	180.00000
s	=	.29393877
T	=	60.000000
t	=	14.175000
Z	=	2835.0000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

```

T=60
F=0.108
PY=180
n=200
Z=1500*1.05/(100/PY)
t=Z/n
n=-0.93
A=8.45
B=628000
Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))=1

```

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4500000
B	=	628000.00
F	=	.10800000
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.26154454
PY	=	180.00000
s	=	.29393877
T	=	60.000000
t	=	14.175000
Z	=	2835.0000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

```

T=60
F=0.072
PY=200
n=200
Z=1500*1.05/(100/PY)
t=Z/n
m=-0.93
A=8.45
B=628000
Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))=1
  
```

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4500000
B	=	628000.00
F	=	.072000000
m	=	-.930000000
n	=	200.00000
Powr	=	.20729589
PY	=	200.00000
s	=	.29393877
T	=	60.000000
t	=	15.750000
Z	=	3150.0000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

```

T=60
F=0.084
PY=200
n=200
Z=1500*1.05/(100/PY)
t=Z/n
m=-0.93
A=8.45
B=628000
Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))=1
  
```

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4500000
B	=	628000.00
F	=	.084000000
m	=	-.930000000
n	=	200.00000
Powr	=	.22708567
PY	=	200.00000
s	=	.29393877
T	=	60.000000
t	=	15.750000
Z	=	3150.0000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

T=60
 F=0.096
 PY=200
 n=200
 Z=1500*1.05/(100/PY)
 t=Z/n
 n=-0.93
 A=8.45
 B=628000
 Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))=1

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4500000
B	=	628000.00
F	=	.096000000
n	=	-.930000000
n	=	200.00000
Powr	=	.24574911
PY	=	200.00000
s	=	.29393877
T	=	60.000000
t	=	15.750000
Z	=	3150.0000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

Eureka: The Solver

File Edit Solve Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

T=60
 F=0.108
 PY=200
 n=200
 Z=1500*1.05/(100/PY)
 t=Z/n
 n=-0.93
 A=8.45
 B=628000
 Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))=1

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4500000
B	=	628000.00
F	=	.10800000
n	=	-.93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.26348062
PY	=	200.00000
s	=	.29393877
T	=	60.000000
t	=	15.750000
Z	=	3150.0000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA5\EUREKA.EXE

File Edit Solve Eureka: The Solver Commands Report Graph Options Window

Edit D:POWR3-~1. Line 4 Col 8

T=60
 F=0.120
 PY=200
 n=200
 Z=1500*1.05/(100/PY)
 t=Z/n
 m=-0.93
 A=8.45
 B=628000
 Powr=t^(n+1)*K^(A*(1+n))/(B^(1+n))=1

Solution D:SOLUTION. Line 1

A	=	8.4500000
B	=	628000.00
F	=	.12000000
n	=	-93000000
n	=	200.00000
Powr	=	.28042339
PY	=	200.00000
s	=	.29393877
T	=	60.000000
t	=	15.750000

Report Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Расчет энтропии, информации и коэффициентов причинного влияния
факторов

0.1", " 0.1", " 0.1", " 0.1", " 0.2", " 0.1", " 0.1", "
 0.1", " 0.1", " 0.1"

"X1", "Линейная плотность основы, текс"
 "X2", "Линейная плотность утка, текс"
 "X3", "Плотность ткани по основе, нит/дм"
 "X4", "Плотность ткани по утку, нит/дм"
 "X5", "Разрывная нагрузка основы, Н"
 "X6", "Разрывное удлинение основы, %" "
 "X7", "Разрывная нагрузка утка, Н"
 "X8", "Разрывное удлинение утка, %" "
 "X9", "Выносливость к многократным нагрузкам основы, циклов"
 "X10", "стойкость нитей основы к истиранию, циклов"
 "X11", "Поверхностная плотность ткани, г/кв.м"
 "X12", "Порядок фазы строения ткани"
 "X13", "заправочное натяжение основы, сН"
 "X14", "величина угла заступа, град"
 "X15", "Положение скала по вертикали, мм"
 "X16", "Разрывная нагрузка ткани, Н"
 "X17", "Разрывное удлинение ткани по основе, %" "
 "X18", "Разрывная нагрузка ткани по утку, Н"
 "X19", "Разрывное удлинение ткани по утку, %" "
 "X20", "Обрывность основы, обр/м"
 "X21", "Обрывность утка, обр/м"

"X1", " 0.473"
 "X2", " 0.473"
 "X3", " 0.901"
 "X4", " 0.928"
 "X5", " 0.843"
 "X6", " 0.818"
 "X7", " 0.848"
 "X8", " 0.818"
 "X9", " 0.837"
 "X10", " 0.805"
 "X11", " 0.881"
 "X12", " 0.837"
 "X13", " 0.693"
 "X14", " 0.681"
 "X15", " 0.693"
 "X16", " 0.547"
 "X17", " 0.515"
 "X18", " 0.530"
 "X19", " 0.514"
 "X20", " 0.261"
 "X21", " 0.203"

"X1", " 0.473", " 0.299", " 0.138", " 0.473", " 0.080", " 0.473", "
 0.080", " 0.232", " 0.227", " 0.235", " 0.135", " 0.473", " 0.022", "
 0.026", " 0.364", " 0.022", " 0.364", " 0.021", " 0.007", " 0.010"
 "X2", " " " " 0.299", " 0.138", " 0.473", " 0.080", " 0.473", " 0.080", "
 0.232", " 0.227", " 0.235", " 0.135", " 0.473", " 0.022", " 0.026", "
 0.364", " 0.022", " 0.364", " 0.021", " 0.007", " 0.010"
 "X3", " " " " " " " 0.336", " 0.637", " 0.432", " 0.654", " 0.432", "
 0.585", " 0.518", " 0.424", " 0.189", " 0.505", " 0.105", " 0.089", "
 0.359", " 0.368", " 0.262", " 0.353", " 0.048", " 0.046"
 "X4", " " " " " " " 0.220", " 0.183", " 0.225", " 0.183", " 0.162", "
 0.157", " 0.232", " 0.161", " 0.246", " 0.188", " 0.130", " 0.116", "
 0.075", " 0.169", " 0.077", " 0.037", " 0.019"
 "X5", " " " " " " " " 0.397", " 0.829", " 0.397", " 0.559", " 0.525", "
 0.370", " 0.214", " 0.598", " 0.033", " 0.039", " 0.516", " 0.336", "
 0.367", " 0.335", " 0.049", " 0.048"
 "X6", " " " " " " " " " " 0.412", " 0.790", " 0.508", " 0.407", "

0.271", "	0.149", "	0.276", "	0.109", "	0.121", "	0.207", "	0.461", "
0.079", "	0.460", "	0.055", "	0.035", "			
"X7", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.412", "	0.577", "	0.544", "	0.373", "
0.213", "	0.602", "	0.034", "	0.037", "	0.516", "	0.353", "	0.367", "
0.352", "	0.048", "	0.047", "				
"X8", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.508", "	0.407", "	0.271", "	0.138", "
0.276", "	0.111", "	0.122", "	0.207", "	0.461", "	0.079", "	0.460", "
0.055", "	0.035", "					
"X9", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.626", "	0.336", "	0.163", "
0.441", "	0.043", "	0.046", "	0.335", "	0.479", "	0.192", "	0.459", "
0.054", "	0.048", "					
"X10", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.346", "	0.169", "	0.432", "
0.034", "	0.040", "	0.307", "	0.357", "	0.216", "	0.352", "	0.042", "
0.042", "						
"X11", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.174", "	0.379", "
0.119", "	0.115", "	0.236", "	0.171", "	0.243", "	0.169", "	0.046", "
0.048", "						
"X12", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.153", "	0.155", "
0.076", "	0.177", "	0.059", "	0.108", "	0.059", "	0.034", "	0.046", "
"X13", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.047", "	0.056", "
0.433", "	0.225", "	0.365", "	0.224", "	0.033", "	0.034", "	
"X14", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.214", "
0.024", "	0.022", "	0.045", "	0.023", "	0.018", "	0.019", "	
"X15", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.026", "
0.022", "	0.040", "	0.023", "	0.029", "	0.019", "		
"X16", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.133", "
0.259", "	0.132", "	0.013", "	0.016", "			
"X17", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "
0.023", "	0.495", "	0.035", "	0.020", "			
"X18", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "
0.023", "	0.006", "	0.014", "				
"X19", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "
0.034", "	0.020", "					
"X20", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "
" ", "	0.003", "					
"X1", " "	1.000", "	0.632", "	0.292", "	1.000", "	0.169", "	1.000", "
0.169", "	0.490", "	0.480", "	0.497", "	0.285", "	1.000", "	0.046", "
0.055", "	0.770", "	0.046", "	0.771", "	0.044", "	0.016", "	0.022", "
"X2", " ", "	0.632", "	0.292", "	1.000", "	0.169", "	1.000", "	0.169", "
0.490", "	0.480", "	0.497", "	0.285", "	1.000", "	0.046", "	0.055", "
0.770", "	0.046", "	0.771", "	0.044", "	0.016", "	0.022", "	
"X3", " ", "	" ", " ", "	0.373", "	0.708", "	0.480", "	0.726", "	0.480", "
0.649", "	0.575", "	0.471", "	0.210", "	0.561", "	0.116", "	0.099", "
0.398", "	0.409", "	0.291", "	0.392", "	0.053", "	0.051", "	
"X4", " ", "	" ", " ", "	0.237", "	0.197", "	0.242", "	0.197", "	0.174", "
0.169", "	0.250", "	0.173", "	0.265", "	0.203", "	0.140", "	0.125", "
0.081", "	0.182", "	0.083", "	0.039", "	0.020", "		
"X5", " ", "	" ", " ", "	0.470", "	0.983", "	0.470", "	0.663", "	0.623", "
0.439", "	0.254", "	0.709", "	0.039", "	0.046", "	0.612", "	0.399", "
0.435", "	0.398", "	0.059", "	0.056", "			
"X6", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.504", "	0.966", "	0.622", "	0.498", "
0.331", "	0.182", "	0.337", "	0.133", "	0.148", "	0.253", "	0.564", "
0.097", "	0.562", "	0.068", "	0.043", "			
"X7", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.486", "	0.681", "	0.642", "	0.440", "
0.252", "	0.710", "	0.040", "	0.044", "	0.609", "	0.417", "	0.433", "
0.416", "	0.056", "	0.056", "				
"X8", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.622", "	0.498", "	0.331", "	0.169", "
0.337", "	0.135", "	0.149", "	0.253", "	0.564", "	0.097", "	0.562", "
0.068", "	0.043", "					
"X9", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	" ", " ", "	0.748", "	0.401", "	0.195", "
0.527", "	0.052", "	0.055", "	0.400", "	0.572", "	0.229", "	0.548", "
0.065", "	0.057", "					

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Расчет частных коэффициентов причинного влияния между факторами

Задача 1

The screenshot shows the Eureka: The Solver application window. The title bar reads 'D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA1\EUREKA.EXE'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'Solve', 'Commands', 'Report', 'Graph', 'Options', and 'Window'. The main window is divided into four panes:

- Edit (D:4FAKTOR., Line 6, Col 18):**

```

g12=0.173
g13+g12*g23=0.265
g14+g12*g24+g13*g34+g12*g23*g34=0.039
g23=0.182
g24+g23*g34=0.041
g34=0.048

```
- Solution (D:SOLUTION., Line 7):**

```

g12      =   .173000000
g13      =   .233514000
g14      =   .020698328
g23      =   .182000000
g24      =   .032264000
_g34     =   .048000000

```
- Report** (empty)
- Verify** (empty)

The status bar at the bottom displays: F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

Задача 2

The screenshot shows the Eureka: The Solver application window. The title bar reads 'D:\DIISKD\Work\DISK4\EUREKA1\EUREKA.EXE'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'Solve', 'Commands', 'Report', 'Graph', 'Options', and 'Window'. The main window is divided into four panes:

- Edit (D:P2., Line 9, Col 9):**

```

g15+g12*g25+g13*g35+g14*g45+g12*g23*g3
g16+g12*g26+g13*g36+g14*g46+g15*g56+g1
g23=0
g24+g23*g34=0.527
g25+g23*g35+g24*g45+g23*g34*g45=0.052
g26+g23*g36+g24*g46+g25*g56+g23*g34*g4
g34=0.536
g35+g34*g45=0.043
g36+g34*g46+g35*g56+g34*g45*g56=0.053
g45=0
g46+g45*g56=0.048

```
- Solution (D:SOLUTION., Line 18):**

```

g16      =   .0099087260
g23      =   .000000000
g24      =   .527000000
g25      =   .052000000
g26      =   .038352000
g34      =   .536000000
g35      =   .043000000
g36      =   .026154000
g45      =   .000000000
g46      =   .048000000
g56      =   .026000000

```
- Report** (empty)
- Verify** (empty)

The status bar at the bottom displays: F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

Задача 3

Eureka: The Solver

Edit Line 10 Col 12

D:P3.

$$g_{12} = 0.265$$

$$g_{13} + g_{12} * g_{23} = 0.203$$

$$g_{14} + g_{12} * g_{24} + g_{13} * g_{34} + g_{12} * g_{23} * g_{34} = 0.140$$

$$g_{15} + g_{12} * g_{25} + g_{13} * g_{35} + g_{14} * g_{45} + g_{12} * g_{23} * g_{35} = 0$$

$$g_{23} = 0$$

$$g_{24} + g_{23} * g_{34} = 0$$

$$g_{25} + g_{23} * g_{35} + g_{24} * g_{45} + g_{23} * g_{34} * g_{45} = 0.048$$

$$g_{34} = 0$$

$$g_{35} + g_{34} * g_{45} = 0.026$$

$$g_{45} = 0.042$$

Solution Line 10

D:SOLUTION.

g12	=	.26500000
g13	=	.20300000
g14	=	.14000000
g15	=	.01512200
g23	=	.00000000
g24	=	.00000000
g25	=	.04800000
g34	=	.00000000
g35	=	.02600000
g45	=	.04200000

Report

Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

Задача 4

Eureka: The Solver

Edit Line 15 Col 11

K:P4-6F.

$$g_{23} = 0.237$$

$$g_{24} + g_{23} * g_{34} = 0.242$$

$$g_{25} + g_{23} * g_{35} + g_{24} * g_{45} + g_{23} * g_{34} * g_{45} = 0.174$$

$$g_{26} + g_{23} * g_{36} + g_{24} * g_{46} + g_{25} * g_{56} + g_{23} * g_{34} * g_{46} = 0$$

$$g_{34} = 0$$

$$g_{35} + g_{34} * g_{45} = 0$$

$$g_{36} + g_{34} * g_{46} + g_{35} * g_{56} + g_{34} * g_{45} * g_{56} = 0$$

$$g_{45} = 0$$

$$g_{46} + g_{45} * g_{56} = 0$$

$$g_{56} = 0$$

Solution Line 17

K:SOLUTION.

g24	=	.24200000
g25	=	.17400000
g26	=	.16900000
g34	=	.00000000
g35	=	.00000000
g36	=	.00000000
g45	=	.00000000
g46	=	.00000000
g56	=	.00000000

Report

Verify

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

Задача 5

File Edit Solve **Eureka: The Solver** Commands Report Graph Options Window

Edit
K:P4-6F. Line 4 Col 69

```

4
g35+g12*g24*g45+g13*g34*g45=0.169
g12*g23*g36+g12*g24*g46+g12*g25*g56+g13*g34
g46+g23*g35*g56+g24*g45*g56+g23*g34*g45*g56

```

Solution
K:SOLUTION. Line 6

```

g12 = .24200000
g13 = .19700000
g14 = .17400000
g15 = .16900000
g16 = .01000000
g23 = .00000000
g24 = .00000000
g25 = .00000000
g26 = .05600000
g34 = .00000000

```

Report **Verify**

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move

Задача 6

File Edit Solve **Eureka: The Solver** Commands Report Graph Options Window

Edit
K:P3-5F. Line 10 Col 22

```

12=0
13+g12*g23=0.210
14+g12*g24+g13*g34+g12*g23*g34=0.398
15+g12*g25+g13*g35+g14*g45+g12*g23*g35+g12*
23=0.173
24+g23*g34=0.125
25+g23*g35+g24*g45+g23*g34*g45=0.182
34=0.211
35+g34*g45=0.1293
45=0

```

Solution
K:SOLUTION. Line 10

```

g12 = .00000000
g13 = .21000000
g14 = .35369000
g15 = .18384700
g23 = .17300000
g24 = .088497000
g25 = .15963110
g34 = .21100000
g35 = .12930000
g45 = .00000000

```

Report **Verify**

F1-Help F2-Save F3-Load F5-Zoom F6-Next F7-Beg Blk F8-End Blk SCROLL-Size/move