

ХЕРСОНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

на правах рукописи

ЩЕРБАНЬ ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ

Щербань

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НИТЕЙ С НАПРАВЛЯЮЩИМИ

ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТКАНИ И ТРИКОТАЖА

Специальность 05.19.03 -

технология текстильных материалов

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

ХЕРСОН - 1994

ДВ 31.054

Работа выполнена в Государственной академии легкой промышленности Украины (ГАЛПУ)

Официальные оппоненты :

доктор технических наук, профессор Кленов Владимир Борисович

доктор технических наук, профессор Ефремов Роман Дмитриевич

доктор технических наук, профессор Ганзюк Леонид Ильич

Ведущее предприятие - Украинский научно-исследовательский институт текстильной промышленности

Защита диссертации состоится " 24 " ноября 1994 г. в ¹⁴⁰⁰ часов на заседании специализированного совета Д 19.01.01 при Херсонском индустриальном институте по адресу : 325008 , г.Херсон, Бериславское шоссе, 24

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Херсонского индустриального института.

Автореферат разослан " 19 " октября 1994 года

Ученый секретарь специализированного совета, д.т.н., профессор

Вайнер

И.И.Вайнер

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00777090 (U)

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ДВ 31.054

В работе изложены теоретические основы процесса взаимодействия нитей с направляющими поверхностями большой и малой кривизны, произвольной формы с учетом сминаемости, жесткости на изгиб в статических и динамических условиях. Приводятся результаты экспериментальных исследований по определению условий взаимодействия мононитей, комплексных нитей и пряжи с направляющими и рабочими органами текстильных и трикотажных машин. Результаты комплексных теоретико-экспериментальных исследований процесса взаимодействия нитей с деформируемыми и не деформируемыми направляющими дошли в основу изучения процессов формирования многослойных трикотажных тканей на ткацких станках, взаимодействия нитей с нитенатяжителями и нитенаправителями различных трикотажных машин. Это позволило провести оптимизацию процессов переработки нитей на технологическом оборудовании с точки зрения совершенствования структуры многослойных тканей, определения рациональных форм заправочных линий нити на трикотажных машинах и, как следствие, увеличить производительность, повысить качество вырабатываемых тканей и трикотажа за счет снижения обрывности.

А в т о р з а щ и щ а е т :

1. Теоретические основы определения главных компонентов кривизны и кручения оси нити с учетом сминаемости в зоне контакта с направляющей поверхностью произвольного профиля.
2. Теоретические основы определения скоростей и ускорений точек оси нити, с учетом сминаемости, при ее движении по направляющей большой кривизны.
3. Теоретические основы динамики процесса взаимодействия сминаемых, жестких на изгиб нитей с направляющими большой кривиз-

ны.

4. Основы теории взаимодействия нитей с деформируемой направляющей поверхностью.
5. Теоретические исследования по определению формы оси и натяжения нити в случае продольного и поперечного скольжения по направляющей с учетом силы тяжести, коэффициента изгибной жесткости.
6. Определение формы равновесия жестких на изгиб нитей с двумя точками закрепления в поле силы тяжести.
7. Теоретические основы взаимодействия сминаемых, жестких на изгиб нитей с направляющими большой кривизны.
8. Определение влияния формы направляющей поверхности большой кривизны на натяжение комплексных нитей и пряжи.
9. Методы экспериментального исследования процесса взаимодействия нитей с направляющими большой кривизны с учетом анизотропии физико-механических свойств.
10. Теоретические основы взаимодействия нитей основы и утка в зоне формирования многослойных тканей и с направляющими и рабочими органами ткацкого станка при учете сминаемости и жесткости на изгиб.
11. Уравнения перемещения опушки ткани для каждого конкретного момента процесса формирования ткани.
12. Разработанные на основе теоретико-экспериментальных исследований процесса прибора утка структуры многослойных технических тканей.
13. Критерии оптимизации при выборе размеров нитенаправителей различных трикотажных машин.
14. Методы определения натяжения ведущей ветви нити для основных типов нитенатяжителей трикотажных машин.
15. Программное обеспечение для оптимизации формы заправочной

линии нити на различных трикотажных машинах.

16. Методы совершенствования системы нитеподачи на чулочных и перчаточных автоматах, кругло- и основовязальных машинах с точки зрения минимизации натяжения в рабочей зоне.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

А к т у а л ь н о с т ь данной работы заключается в решении задач, стоящих перед текстильной и легкой промышленностью, по увеличению выпуска тканей и трикотажных полотен на основе роста производительности существующего оборудования, использования современных технологий, базирующихся на последних достижениях науки.

Низкое качество сырья, несовершенство нитетракта технологического оборудования при увеличении натяжения по глубине заправки приводит к обрывам. Простои оборудования, связанные с ликвидацией обрыва, составляют в настоящее время 75-80% от общего времени простоев.

Значительно сократить число обрывов можно путем использования качественного сырья и оптимизацией условий переработки нитей на технологическом оборудовании, где имеет место взаимодействие с направляющими и рабочими органами большой кривизны.

Отсутствие фундаментальных исследований в области изучения взаимодействия нитей с направляющими большой кривизны с учетом сминаемости, жесткости на изгиб затрудняет решение такой важной задачи как совершенствование технологических процессов ткачества и трикотажного производства.

Следовательно, разработка научных основ взаимодействия нитей с направляющими при формировании ткани и трикотажа является актуальной задачей, требующей фундаментального исследования

и скорейшего разрешения.

Исходя из этого целями диссертационной работы являются: совершенствование технологических процессов при формировании ткани и трикотажа на основе исследований по механике деформируемой нити, взаимодействующей с направляющей поверхностью.

Научная новизна работы заключается в создании научных основ взаимодействия нити с направляющими при изготовлении ткани и трикотажа, которые позволили впервые получить следующие оригинальные результаты:

- определить главные компоненты кривизны и кручения оси нити с учетом сминаемости в зоне контакта с направляющей поверхностью произвольного профиля;
- определить скорости и ускорения точек оси сминаемой нити при ее движении по направляющей большой кривизны;
- описать динамику процесса взаимодействия сминаемых, жестких на изгиб нитей с направляющими большой кривизны;
- описать процесс взаимодействия нитей с деформируемой направляющей поверхностью;
- получить выражения для определения формы оси и натяжения нити в случае продольного и поперечного скольжения по направляющей с учетом силы тяжести, коэффициента изгибной жесткости;
- в поле силы тяжести определить форму равновесия жестких на изгиб нитей с двумя точками закрепления;
- описать процесс взаимодействия сминаемых, жестких на изгиб нитей с направляющими большой кривизны;
- установить влияние формы направляющей поверхности большой кривизны на натяжение комплексных нитей и пряжи;
- разработать методы экспериментального исследования процесса взаимодействия нитей с направляющими большой кривизны с учетом анизотропии физико-механических свойств;

- описать процесс взаимодействия нитей основы и утка в зоне формирования многослойных тканей и с направляющими и рабочими органами ткацкого станка при учете сминаемости и жесткости на изгиб;
- получить уравнения перемещения опущки ткани для каждого конкретного момента процесса формирования ткани;
- разработать, на основе теоретико-экспериментальных исследований процесса прибора утка, структуры многослойных технических тканей повышенной прочности;
- установить критерии оптимизации при выборе размеров нитенаправителей различных трикотажных машин;
- разработать методы определения натяжения ведущей ветви нити для основных типов нитенаправителей трикотажных машин;
- получить программное обеспечение для оптимизации формы заправочной линии нити на различных трикотажных машинах;
- усовершенствовать системы нитеподдачи на чулочных и перчаточных автоматах, кругло- и основовязальных машинах с точки зрения минимизации натяжения в рабочей зоне.

Основными методами научных исследований. При теоретическом исследовании движения нити по направляющей поверхности использовались элементы теоретической механики, векторной алгебры, дифференциальной геометрии, математического анализа. Проекции уравнений равновесия сил, действующих на элементарный отрезок нити, получали путем проектирования замкнутых векторных контуров на оси натуральных трехгранников. Равновесие элементарного отрезка нити описывалось системой из 31 дифференциального и 7 алгебраических уравнений, которая содержала 38 неизвестных функций (натяжения нити, перерезывающих сил, изгибающих и крутящего моментов, компонентов кривизны и кручения оси нити, векторов, характеризующих деформацию

элементарного отрезка нити, угловых и линейных скоростей и ускорений для точек оси нити) относительно аргументов S и t .

При интегрировании систем дифференциальных уравнений на ЭВМ использовался метод Рунге-Кутты Мерсона с автоматическим выбором шага. Решение систем трансцендентных уравнений осуществлялось на ЭВМ с использованием метода поразрядного приближения.

Экспериментальные исследования проводились методом тензометрирования с применением математических методов планирования и анализа данных эксперимента. Экспериментальные данные обрабатывались на ЭВМ с использованием методов математической статистики.

Практическая ценность работы заключается в оптимизации условий переработки нитей при изготовлении ткани и трикотажа, что позволило получить следующие результаты:

- разработаны методы определения натяжения нитей, при их взаимодействии с направляющими и рабочими органами машин легкой и текстильной промышленности, с учетом физико-механических свойств последних, геометрической формы гибкой поверхности;
- предложены методы и разработаны установки, защищенные 2 авторскими свидетельствами, для определения фрикционных свойств нитей с учетом их анизотропии;
- по результатам эксперимента построены регрессионные зависимости изменения натяжения нити от радиуса кривизны направляющей, натяжения ведомой ветви, угла охвата, скорости движения нити, ее вида и строения;
- установлена связь между условиями взаимодействия нитей с направляющей и их удельной разрывной нагрузкой и относительным разрывным удлинением после прохождения последней;
- определены критерии по выбору размеров нитенаправляющих и

рабочих органов машин легкой и текстильной промышленности с учетом сминаемости и жесткости на изгиб, что позволило снизить относительное натяжение в рабочей зоне на 10-15%, уменьшить обрывность на 5-15%;

- предложены рекомендации по выбору размеров и формы направляющих и рабочих органов технологического оборудования с учетом вида перерабатываемого сырья, его физико-механических свойств;

- разработан метод определения силы прироста, натяжения основных нитей на участке "опчика ремиз", позволяющий на начальной стадии проектирования многослойных тканей определить в каких условиях будет происходить формирование проектируемой ткани на станке;

- на основе проведенных исследований разработаны новые структуры многослойных тканей, которые защищены 4 авторскими свидетельствами;

- использование новых структур многослойных технических тканей, при производстве на станках типа АТТ и СТБ, позволило при экономии сырья на 6-8%, увеличении прочности на разрыв на 34% повысить производительность оборудования в 2,5 раза;

- по результатам экспериментальных исследований получены регрессионные зависимости силы прироста от заправочного натяжения, от совместного влияния заступа и разнонатянутости зева;

- предложены принципиально новые способы определения натяжения нитей при взаимодействии с нитенатяжными приборами, что позволило разработать рекомендации для их существенной модернизации;

- разработано программное обеспечение для оптимизации формы линии заправки нити на существующем трикотажном оборудовании, которое можно использовать на машиностроительных предприятиях и в конструкторских бюро легкого машиностроения для проектирования и изготовления нового, более совершенного;

оптимизирована форма линии заправки нити на перчаточном автомате ПА-8, основовязальной машине Кокетт, чулочных автоматах ЧОР 18 и ДАНН 3, кругловязальной машине ОУЗ1, что позволило уменьшить величину относительного натяжения перед рабочей зоной на 12,85%, сократить обривность на 6-15%.

Р е а л и з а ц и я р а б о т ы. Результаты работы внедрены на Киевской фабрике технических тканей, Львовском экспериментальном механическом заводе, Броварской фабрике верхнего детского трикотажа, Киевской платочной фабрике, Червоноградском производственном чулочном объединении, Львовском промышленно-техническом объединении "Луч", Николаевской фирме "Лчра". Экономический эффект от результатов работ, в которых принимал участие автор, составляет 1 млн. 169,5 тыс. руб. в ценах 1991 г. Результаты исследований внедрены в учебный процесс кафедры теоретической механики и ТМ Государственной академии легкой промышленности Украины.

А в р о б а ц и я р а б о т ы. Основные результаты исследования докладывались и получили положительную оценку: на научных конференциях профессорско-преподавательского состава Государственной академии легкой промышленности Украины ежегодно с 1988 по 1993; на XII Всесоюзной научной конференции по текстильному материаловедению "Надежность, экономичность и качество текстильных материалов" в 1988г.; на техническом совете Киевской фабрики технических тканей в 1988, 1991г.; на Всесоюзной научно-методической конференции "Пути повышения качества подготовки инженерных кадров в текстильной промышленности", М., 1991г.; на республиканской научно-методической конференции, Ровно, 1992; на научно-технической конференции "От фундаментальных исследований до практического внедрения", М., 1993г.; на научных совещаниях представителей кафедр ткачества, теорий

механизмов и проектирования текстильных машин Ивановского текстильного института, кафедры ткачества Костромского технологического института, 1988; на технических советах Николаевского объединения "Аура" и Броварской фабрики верхнего и детского трикотажа 1988, 1992г.; на заседании технического совета Украинского научно-исследовательского института текстильной промышленности, 1994г.; на расширенном заседании кафедры теоретической механики и ТММ Государственной академии легкой промышленности Украины в 1992, 1994г.; на расширенном заседании кафедры ткачества Херсонского индустриального института в 1993, 1994г.

П у б л и к а ц и и. По теме диссертации опубликовано 40 работ, в том числе учебное пособие, 27 научных статей, 7 авторских свидетельств.

С т р у к т у р а и о б ъ е м д и с с е р т а ц и и. Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов по главам и общих выводов. Общий объем составляет 704 стр., из них: основного текста 287 стр., 76 рисунков на 83 стр., 20 таблиц на 31 стр., список литературных источников 462 наименования на 35 стр., 11 приложений на 268 стр.

С О Д Е Р Ж А Н И Е Р А Б О Т Ы

Во введении показана актуальность проблемы создания научных основ взаимодействия нитей с направляющими при изготовлении ткани и трикотажа, определены цели и научная новизна исследования.

Первая глава посвящена обзору литературных источников для изучения состояния вопросов, относящихся к теме и смежных с ней.

Обзор литературы проводился системно. В соответствии с пос-

ставленными целями и задачами исследования все источники были распределены на следующие группы: анализ причин обрывности нитей при их переработке на технологическом оборудовании; механика нити, взаимодействующей с направляющими поверхностями большой и малой кривизны; экспериментальное исследование процесса взаимодействия нити с направляющими, определение коэффициента трения; основные вопросы приложения механики нити, взаимодействующей с направляющей, при формировании однослойных и многослойных тканей; взаимодействие нитей с направляющими, рабочими органами, нитенатяжителями при переработке на трикотажных машинах.

Наибольший интерес, с точки зрения темы диссертационной работы, представляют исследования профессоров В.А.Гордеева, Е.Д.Ефремова, А.Н.Минакова, В.И.Васильченко, И.И.Мигунова, В.В.Чугина, Н.В.Власова, В.Б.Кленова, В.И.Щербакова, В.И.Гарбарьца, И.И.Вайнера, Ю.Ф.Ерохина, Н.В.Лустгартен, Ф.М.Розанова, Г.Н.Кукина, Р.Д.Ефремова, Ф.А.Моисеенко, С.Д.Николаева, Б.С.Окса, В.М.Лазаренко, В.А.Светлицкого, Ю.В.Яцубовского, докторов технических наук Э.А.Оникова, П.Т.Букаева, В.М.Кагана, кандидатов наук С.В.Шивова, Н.В.Хвальковского, С.Н.Корягина и других специалистов.

Проведенный обзор позволил: окончательно сформулировать цели и наметить задачи исследования по разработке научных основ взаимодействия нитей с направляющими при изготовлении ткани и трикотажа; более подробно раскрыть актуальность проблемы, важность ее решения не только для науки, но и для промышленности; на начальной стадии обосновать выбор объектов и методов исследования, измерительно-регистрающей аппаратуры.

Во второй главе приводится обобщенная теория механики снимаемых нитей. На предварительном этапе проводится подробная классификация нитей, определяются необходимые допущения для

построения нитей-моделей. Реальные нити необходимо классифицировать по структуре, форме поперечного сечения и по физико-механическим свойствам. Нити модели разделялись на две модификации: к первой модификации относятся модели, которые наиболее полно описывают поведение реальных нитей при различных условиях нагружения и по своей структуре весьма приближены к последним; когда реальные нити подвергаются воздействию в узком спектре изменения силового поля, характера нагружения, или необходимо исследовать физико-механические показатели нитей только при растяжении, сватии в продольном и поперечном направлении, сминаемости в зоне контакта применяют модели второй модификации.

Для описания формы оси сминаемой нити необходимо ввести три координатные системы. Две системы подвижные (натурального трехгранника $\bar{e}_* \bar{v}_* \bar{\beta}_*$ и главного трехгранника $\bar{e}_* \bar{n}_* \bar{b}_*$) и неподвижная координатная система O, XYZ . Соотношения между единичными ортами натурального трехгранника в случае лагранжевых S_0, t и эйлеровых S, t координат имеют вид

$$\bar{e}_* = (1 + \varepsilon) \bar{e}_0 + (1 + \varepsilon) \frac{\partial \bar{u}}{\partial S_0}, \quad (1)$$

$$\bar{v}_* = (1 + \varepsilon) \bar{v}_0 \frac{\rho_*}{\rho_{0*}} + (1 + \varepsilon) \rho_* \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial S_0^2} + \frac{\partial \varepsilon}{\partial S_0} \rho_* \bar{e}_{0*}, \quad (2)$$

$$\bar{\beta}_* = (1 + \varepsilon)^2 \left[\bar{\beta}_0 \frac{\rho_*}{\rho_{0*}} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial S_0} \times \bar{v}_0 \frac{\rho_*}{\rho_{0*}} + \bar{e}_{0*} \times \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial S_0^2} \rho_* + \frac{\partial \bar{u}}{\partial S_0} \times \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial S_0^2} \rho_* \right] \quad (3)$$

где $\bar{e}_*, \bar{v}_*, \bar{\beta}_*$ - единичные орты касательной, нормали и бинормали в эйлеровых координатах; $\bar{e}_0, \bar{v}_0, \bar{\beta}_0$ - единичные орты касательной, нормали и бинормали в лагранжевых координатах; ε - относительная деформация растяжения; \bar{u} - вектор, характеризующий смещение точек оси за счет деформации поперечника нити; ρ_* ,

ρ_{0*} - радиус кривизны оси нити в точках A_{0*} и A_0 .

Выражения для главных компонентов кривизны и кручения нити, с учетом сминаемости в зоне контакта с направляющей, определяются по следующим формулам

$$\frac{1}{\rho_1} = \frac{1}{\rho_0} + \frac{2}{\rho_0} \frac{\partial U_T}{\partial S} - \frac{2}{\rho_{01}} \frac{\partial U_B}{\partial S} + \frac{\partial^2 U_y}{\partial S^2} - U_y \left(\frac{1}{\rho_0^2} + \frac{1}{\rho_{01}^2} \right), \quad (4)$$

$$\frac{1}{\rho_{*1}} + \frac{\partial \Psi_*}{\partial S} = \frac{1}{\rho_{01}} + \frac{\partial \Psi_0}{\partial S} + \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial U_B}{\partial S} - \frac{\sin \Psi_0}{\rho_0} U_T + \frac{U_y}{\rho_{01}} + U_y \frac{\partial \Psi_0}{\partial S} \right), \quad (5)$$

ρ_1 - радиус кривизны оси нити; ρ_0 - радиус кривизны оси нити без учета сминаемости; ρ_{*1} , ρ_{01} - радиус кручения оси нити с учетом и без учета сминаемости; U_T , U_y , U_B - проекции вектора \bar{U} на оси натурального трехгранника; Ψ_* , Ψ_0 - значение угла Сен-Венана в произвольной точке оси нити с учетом и без учета сминаемости.

С учетом (1) - (5) получены системы дифференциальных уравнений в проекциях на оси натурального трехгранника: для скоростей точек оси сминаемой нити; для зависимости вектора скорости от вектора абсолютной угловой скорости; для соотношения между векторами ускорения точек оси нити и углового ускорения $\bar{\epsilon}_e$.

Результирующая система дифференциальных уравнений, описывающих движение сминаемых нитей по направляющей поверхности, представляет собой замкнутую нелинейную систему из 31 дифференциального и 7 алгебраических уравнений, которая содержит 38 неизвестных функций: P , Q_2 , Q_3 , M_K , M_{K2} , M_{K3} , F_T , F_n , F_B , M_B , F_T , N , z_1 , ρ_1 , ρ_{*1} , v_{KT} , v_{*n} , v_{*B} , $v'_T + U'_T$, $v'_n + U'_n$, $v'_B + U'_B$, ω_1 , ω_2 , ω_3 , $\omega_{0T} + \omega_{0T}$, $\omega_{0n} + \omega_{0n}$, $\omega_{0B} + \omega_{0B}$, $\Delta_T(\bar{u})$, $\Delta_n(\bar{u})$, $\Delta_B(\bar{u})$, z_x , δ , $\dot{\delta}$, U_T , U_y , U_B , ρ_0 , ρ_{01} относительно аргументов S и t .

$$\frac{\partial P}{\partial S} - Q_2 \varphi_1 + Q_3 p_1 + F_z = T \left[\frac{\partial (\dot{v}_z + \dot{u}'_z)}{\partial t} + (\omega_{0z} + \omega_{uz}) (\dot{v}_z + \dot{u}'_z) - (\omega_{0z} + \omega_{uz}) (\dot{v}_z + \dot{u}'_z) \right],$$

$$\frac{\partial Q_2}{\partial S} + P \varphi_1 - Q_3 z_1 + F_n = T \left[\frac{\partial (\dot{v}_n + \dot{u}'_n)}{\partial t} - (\omega_{0z} + \omega_{uz}) (\dot{v}_z + \dot{u}'_z) + (\omega_{0z} + \omega_{uz}) (\dot{v}_z + \dot{u}'_z) \right],$$

$$\frac{\partial Q_3}{\partial S} - P p_1 + Q_2 z_1 + F_B = T \left[\frac{\partial (\dot{v}_B + \dot{u}'_B)}{\partial t} + (\omega_{0z} + \omega_{uz}) (\dot{v}_z + \dot{u}'_z) - (\omega_{0z} + \omega_{uz}) (\dot{v}_z + \dot{u}'_z) \right],$$

$$\frac{\partial M_K}{\partial S} - M_{H2} \varphi_1 + M_{H3} p_1 + M_z = \gamma_H [J_{z0} + \Delta z(\bar{u})] \varepsilon_1,$$

$$\frac{\partial M_{H2}}{\partial S} + M_K \varphi_1 - M_{H3} z_1 - Q_3 + M_n = \gamma_H [J_{n0} + \Delta n(\bar{u})] \varepsilon_2, \quad (6)$$

$$\frac{\partial M_{H3}}{\partial S} - M_K p_1 + M_{H2} z_1 + Q_2 + M_B = \gamma_H [J_{B0} + \Delta B(\bar{u})] \varepsilon_3,$$

$$F_z = F_T (A, \mu, N) \cos \psi_T, \quad F_n = N, \quad F_B = F_T (A, \mu, N) \sin \psi_T,$$

$$\psi_T = (\hat{v}_z; \hat{v}_x), \quad M_B = z_x F_T, \quad z_1 = \frac{1}{\rho_{*1}} + \frac{\partial \psi_*}{\partial S},$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\rho_0} &= \frac{\partial \varphi_0}{\partial s}, & \frac{1}{\rho_{01}} &= \frac{\partial \psi}{\partial s}, & \rho_1 &= \frac{\sin \psi_1}{\rho_1}, & q_1 &= \frac{\cos \psi_1}{\rho_1}, \end{aligned} \right\}$$

где ρ - натяжение нити; Q_2, Q_3 - проекции перерезывающей силы на нормаль и бинормаль; T - линейная плотность нити; γ_H - объемная плотность; $J_{\tau_0}, J_{\rho_0}, J_{\nu_0}$ - геометрические моменты инерции относительно осей главного трехгранника до сминаемости нити; $\Delta_{\tau}(\ddot{u}), \Delta_{\rho}(\ddot{u}), \Delta_{\nu}(\ddot{u})$ - функциональные коэффициенты, определяющие изменение геометрических моментов инерции за счет сминаемости в зоне контакта; $U'_{\tau}, U'_{\rho}, U'_{\nu}$ - проекции вектора скорости \bar{u}' перемещения произвольной точки за счет сминаемости в зоне контакта; $\omega_{0\nu}, \omega_{0\nu}$ - проекции векторов угловых скоростей $\bar{\omega}_0, \bar{\omega}_u$ на бинормаль главного трехгранника; ω_{0n}, ω_{un} - проекции векторов угловой скорости вращения элемента нити на нормальную ось; $M_{\tau}, M_{\rho}, M_{\nu}$ - проекции вектора главного момента на оси главного трехгранника; $F_T(A, \mu, \mu')$ - соответствующая зависимость между нормальным давлением μ' в произвольной точке и силой трения F_T ; μ - коэффициент трения; φ_T - угол азимута трения; A - коэффициент, характеризующий влияние межмолекулярного взаимодействия трущихся поверхностей; z_x - расстояние от точки на оси элемента нити до направляющей ($z_x = z - U_y$, где z - расчетный радиус сечения нити).

Нелинейная зависимость между удельным нормальным давлением и относительной деформацией поперечного сечения выражается следующей системой дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} \mu &= b E_1 \delta (1 - b_3 \delta^{b_4}) + \eta \delta (1 - b_5 \delta^{b_6}), \end{aligned} \right\} (7)$$

$$\delta = \frac{z - z_x}{z}, \quad \dot{\delta} = \frac{\partial u_v}{\partial t} \frac{1}{z},$$

где b - ширина следа контакта; $\dot{\delta}$ - скорость относительной деформации поперечного сечения нити; η - коэффициент, характеризующий вязкие свойства нити при ее поперечной деформации; E_1 - текущий модуль жесткости; b_3, b_4, b_5, b_6 - опытные коэффициенты, определяемые из диаграмм "нагрузка-деформация".

В третьей главе приводятся результаты теоретического исследования процесса взаимодействия нитей с направляющими поверхностями большой и малой кривизны при их продольном и поперечном скольжении.

В случае движения нити по направляющей поверхности переменного радиуса кривизны натяжение ведущей ветви определяется по формуле

$$P = P_0 \exp \left\{ \frac{a a_1 b_1 c_1}{\rho_0^b (b + c_1 - 1)} \left[\rho^{(b + c_1 - 1)} - \rho_0^{(b + c_1 - 1)} \right] \right\}, \quad (8)$$

где ρ_0 - радиус кривизны поверхности в точке входа нити на направляющую; P, P_0 - соответственно натяжение ведущей и ведомой ветвей нити; a, b - коэффициенты, характеризующие фрикционные свойства нитей; a_1, b_1, c_1 - постоянные для каждой конкретной геометрической формы поверхности. Анализ полученных результатов показал, что при определении натяжения нитей, движущихся по направляющим переменной кривизны, необходимо учитывать изменение величины коэффициента трения.

Обеспечение необходимого закона изменения натяжения нити, движущейся по направляющей поверхности, позволяет оптимизировать процессы переработки нитей, снизить обрывность. Это достигается выводом такого закона изменения

котором натяжение будет, в свою очередь, изменяться по требуемому закону. Скопчателное выражение имеет вид

$$\rho = \left[\frac{\rho_0^b a_{11} a_{22} s^{(a_{22}-1)}}{a (i + a_{11} s^{a_{22}})} \right]^{1/b-1}, \quad (9)$$

где a_{11} , a_{22} — постоянные коэффициенты, определяемые для каждого конкретного закона изменения натяжения.

Определенный интерес представляет изучение взаимодействия жестких на изгиб нитей с цилиндрическими направляющими при различных случаях силового нагружения. Задача сводится к определению действительного угла охвата из выражения

$$\frac{B \varphi_*^2}{2 \rho_0} - 1 + \frac{R}{\rho_0} \cos(\alpha + \beta) = -\cos(\alpha - \beta) + \frac{R}{\rho_0} \cos(\beta - \beta), \quad (10)$$

где B — коэффициент изгибной жесткости нити; φ_* — кривизна нити в точке входа на направляющую; ρ_0 — натяжение нити; R — внешняя сила; α , β — углы наклона сил ρ_0 и R к оси X ; β — угол наклона касательной к оси X . Для различных случаев силового нагружения из уравнения (10) можно определить величину угла θ , на который уменьшится теоретический угол охвата.

при $\beta = 0$, $\alpha = \pi/2$

$$\cos \theta = \sqrt{1 - \frac{B \varphi_*^2}{4 R^2}}, \quad (11)$$

при $R = 0$

$$\cos \theta = 1 - \frac{B \varphi_*^2}{2 \rho_0}, \quad (12)$$

при $R = \rho_0$ и $\alpha = \pi/2$

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{B \varphi_*^2}{2 \rho_0} - 1 \right) - \sqrt{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{B \varphi_*^2}{2 \rho_0} - 1 \right)^2} \right]. \quad (13)$$

Изучение поперечного скольжения нити по направляющей постоянной кривизны, с учетом сил тяжести, позволило получить выражения для определения формы оси нити, натяжения

$$\begin{aligned} \bar{x} = & \frac{kR\varphi^2}{2} + \frac{\mu_0 g (\cos \lambda k - \sin \lambda) R \varphi}{2 \rho_0 \cos \gamma_0} \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) + \\ & + R \operatorname{tg} \gamma_0 \varphi - kR \frac{\pi}{2} \varphi, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \rho = & \rho_0 \cos \gamma_0 \sqrt{1 + \left[k\varphi + \frac{\mu_0 g (\cos \lambda k - \sin \lambda)}{\rho_0 \cos \gamma_0} \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) + \right.} \\ & \left. + \operatorname{tg} \gamma_0 - k \frac{\pi}{2} \right]^2}, \end{aligned} \quad (14)$$

где λ, R, φ — цилиндрические координаты; μ_0 — линейная плотность нити; g — ускорение свободного падения; λ — угол наклона оси цилиндра к горизонту; k — коэффициент трения нити о направляющую; γ_0 — угол наклона оси нити к вертикальной оси. Если радиус цилиндра стремится к бесконечности (нить совершает движение по плоскости), то из исходной системы дифференциальных уравнений получим

$$y = \bar{x} = h \left[\operatorname{ch} \left(\frac{x}{h} - 1 \right) \right], \quad h = \frac{\rho_0}{\mu_0 g k}, \quad (15)$$

уравнение цепной линии, где h — некоторая постоянная.

Выражение (16) представляет зависимость изменения натяжения жесткой на изгиб нити с двумя точками закрепления в поле силы тяжести

$$P = P_0 + M_0 g y + \frac{B}{2} (q_{10}^2 - q_1^2), \quad (16)$$

где q_{10} , q_1 - кривизна оси нити соответственно в нижней и текущей точке; y - текущая ордината. Выражение для определения угла наклона касательной к горизонтальной оси имеет вид

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{q_1}{q_{10}} e^{\frac{B}{3M_0 g} (q_{10}^3 - q_1^3)}} \quad (17)$$

Нормальное течение многих технологических процессов обеспечивается созданием минимально возможного натяжения нити в зоне взаимодействия с рабочими органами технологического оборудования. Решение данной задачи должно базироваться на исследовании взаимодействия нити с направляющей большой кривизны с учетом сминаемости нити в зоне контакта, жесткости на изгиб.

Величина реального угла охвата определяется из выражения

$$\varphi = \varphi_p + a \arccos \left[1 - \delta_0 \left(\frac{2^2}{R} \right)^2 \right] + a \arccos \left[1 - \delta \left(\frac{2^2}{R} \right)^2 \right] - a \arccos \left[1 - \frac{B_0}{2P_0 (R+2)^2} \right] - a \arccos \left[1 - \frac{B_0}{2P_1 (R+2)^2} \right], \quad (18)$$

где φ_p - расчетное значение угла охвата нитью направляющей; δ_0 - начальная деформация поперечного сечения; P_1 , P_0 - натяжение ведущей и ведомой ветвей; R - радиус кривизны направляющей; r - расчетный радиус нити; B_0 - коэффициент изгибной жесткости. Для определения натяжения было получено трансцендентное уравнение (19) вида $f(P_1) = 0$ относительно P_1

$$\begin{aligned}
 P_1 + \left\{ \frac{B_0}{2[R+z(1-\delta_0)]^2} - P_0 \right\} \left(1 + \frac{R+z}{R+z(1-\delta_0)} \right) \{ \exp x \\
 \times [M \{ \Psi p + a_2 \cos [1 - \delta_0 \left(\frac{z^2}{R} \right)^2] + a_3 \cos [1 - \delta \left(\frac{z^2}{R} \right)^2] - \\
 - a_2 \cos [1 - \frac{B_0}{2P_0(R+z)^2}] - a_3 \cos [1 - \frac{B_0}{2P_1(R+z)^2}] \} - \\
 - 1 \} \} - \frac{B_0}{2[R+z(1-\delta)]^2} = 0.
 \end{aligned} \quad (19)$$

Решение данного уравнения выполнялось на ЭВМ с использованием численных методов. Расчеты проводились для вискозной комплексной нити 16,7 текс; капроновой комплексной нити 28 текс; хлопчатобумажной пряжи 27,6 текс; шерстяной пряжи 29,9 текс; вискозной штапельной пряжи 28,8 текс. Анализ зависимостей натяжения нитей от радиуса кривизны показывает, что на интервале 0,5-3 мм натяжение снижается, а при дальнейшем увеличении R его величина монотонно возрастает, что объясняется уменьшением удельного давления и изменением величины коэффициента трения.

По результатам расчетов были построены соответствующие зависимости с явно выраженными экстремальными точками. Результаты аппроксимировались полиномом

$$P = a_0 + a_1 R + a_2 R^2 + a_3 R^3 + \dots + a_n R^n \quad (20)$$

Разработанная программа позволяла определять необходимые коэффициенты полинома с требуемой точностью. При этом, степень по-

лином выбиралась автоматически в зависимости от требуемой точности результата. Если в уравнение (19) пренебречь сминаемостью и жесткостью нити на изгиб, то получим известную формулу Л. Эйлера.

Исследуя взаимодействие нитей с направляющими большой кривизны переменной геометрии профиля было установлено, что меньшее натяжение бывает там, где кривизна направляющей поверхности уменьшается от точки входа нити до точки схода.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментального исследования условий взаимодействия нитей с направляющими. Использование методов математической статистики, активного планирования эксперимента позволило получить регрессионные зависимости, которые описывают процесс взаимодействия с требуемой точностью. Полученные данные обрабатывались на ЭВМ с использованием специально разработанного программного обеспечения для ортогонального плана 2-го порядка.

Проведенная работа позволила установить основные факторы, влияющие на изменение натяжения ведущей ветви нити. К их числу относятся: натяжение ведомой ветви P_0 , радиус кривизны направляющей R , угол охвата θ и скорость движения нити U . В работе был реализован ортогональный план второго порядка для четырех указанных факторов.

В диссертации приводится подробное обоснование выбора широкого ассортимента натуральных и химических нитей и пряжи. Для проведения эксперимента были разработаны две новые экспериментальные установки, защищенные авторскими свидетельствами. Выбор измерительно-регистрающей аппаратуры основывался на соответствующем обосновании с точки зрения точности получаемых результатов.

По результатам исследования совместного влияния радиуса

кривизны направляющей R , натяжения ведомой ветви P_0 , угла охвата θ и скорости движения нити U построены следующие регрессионные зависимости:

капроновая мононить 52 Т капроновая мононить 36 Т

$$P = 0,82R + 1,36P_0 + 1,66U - 9,00, \quad P = 0,61R + 1,41P_0 + 1,86U - 8,05,$$

капроновая комплексная нить 280,5 Т

$$P = 57,80R^2 - 35,19R + 4,89P_0 + 2,74U - 2,08U - 4,59RP_0 + 0,45P_0U - 11,05,$$

капроновая комплексная нить 174 Т

$$P = 4,16R^2 - 5,54R + 2,95P_0 + 3,34U + 1,77U - 0,79RP_0 - 12,53,$$

лавсановая комплексная нить 110,8 Т

$$P = 0,86R^2 - 4,16R + 1,97P_0 + 3,20U + 1,53U - 8,08,$$

лавсановая комплексная нить 58 Т

$$P = 0,75R^2 - 3,26R + 1,35P_0 + 3,09U + 1,38U - 3,21,$$

вискозная пряжа 93,8 Т

$$P = 1,93P_0 + 2,89U + 1,34U - 0,87R - 9,84,$$

полипропиленовая комплексная нить 93,5 Т

$$P = 0,96R - 0,21RP_0 + 2,38P_0 + 3,37U + 1,54U - 15,41,$$

хлопчатобумажная пряжа 100 Т

$$P = 3,46R^2 - 1,02R + 2,09P_0 + 3,23U + 1,40U - 16,35,$$

шерстяная пряжа 89,7 Т

$$P = 1,41R^2 - 6,48R + 1,79P_0 + 2,49U + 1,29U - 2,55,$$

хлопчатобумажная пряжа 27,6 Т

$$P = 1,90P_0 - 0,32R + 3,26U + 1,38U - 11,96,$$

шерстяная пряжа 29,9 Т

$$P = 1,33R^2 - 5,46R + 1,65P_0 + 2,31U + 1,10V - 2,29,$$

вискозная штапельная пряжа 28,8 Т

$$P = 0,59R^2 - 2,51R + 1,77P_0 + 2,71U + 1,17V - 7,19,$$

вискозная комплексная нить 16,7 Т

$$P = 0,63R^2 - 2,11R + 1,66P_0 + 2,57U + 1,10V - 6,39,$$

капроновая комплексная нить 28 Т

$$P = 0,38R^2 - 3,21R + 1,77P_0 + 3,06U + 1,31V - 6,73.$$

Проведенные исследования позволили определить зависимость разрывной нагрузки и относительного разрывного удлинения от условий взаимодействия нити с направляющей (для нитей I-XU).

Проведены экспериментальные исследования и определено влияние анизотропии трения и формы направляющей поверхности на натяжение ведущей ветви капроновых, вискозных, хлопчатобумажных и шерстяных нитей.

В пятой главе приводится обоснование выбора объектов и методов исследования при совершенствовании технологических процессов при изготовлении ткани и трикотажа. Предлагается классификация многослойных тканей с учетом особенностей их строения и свойств. Описываются новые структуры многослойных технических тканей повышенной прочности. Четыре из них защищены авторскими свидетельствами (А.с.№ 1509439, 1640239, 1708952, 1807115).

Для шести модификаций ткани типа СТСЗ (-5М, -6, -7, -10, -16) приводится заправочный расчет. Экспериментальное исследование условий формирования данных тканей на бесчелночных и челночных ткацких станках (типа СТБ и АТТ) проводилось в соответствии с планами эксперимента, которые приведены в приложении

в диссертации. При этом, определялось влияние заправочного натяжения P_0 , совместного влияния заступа Уз и разнотяннутости зева h на величину силы прибора P . Выбор данных заправочных параметров подробно аргументировался.

Для различных типов нитенаправителей и нитетенатяжных устройств трикотажных машин составлены планы проведения эксперимента, по определению влияния натяжения ведомой ветви P_0 , скорости движения нити V , конкретной конструкции на величину выходного натяжения.

Для определения условий формирования многослойных тканей, их физико механических свойств были разработаны специальные приборы и устройства для определения силы прибора, натяжения групп основных нитей, натяжения ткани непосредственно на станке. Для разрыва многослойных тканей захваты разрывных машин специально переоборудовались. Это позволяло исключить разрушение непосредственно в захвате.

В шестой главе приводятся результаты исследования процесса формирования одно- и многослойных тканей с использованием основ механики нити, взаимодействующей с направляющей. Система уравнений для определения расчетной длины основы и ткани в заправке имеет вид

$$L_{0ij} = L_{z1i} + l_{i2} + L_{z13} + l_{i4} + l_{z15} + l_{i6} + l_{z17} + l_{i8},$$

$$i = 1 \dots k, \quad j = 1 \dots 8, \quad L_{z1i} = \frac{P_i}{f_i} \left(1 - \frac{t_{0i}}{P_{0i}} \right),$$

$$f_i = a_i / \left(\frac{t_{0i}}{P_i} \right)^{b_i}, \quad L_{z1j} = \frac{R_{ij}}{M_{ij}} \left(1 - \frac{1}{e^{M_{ij} a_{ij}}} \right),$$

$$\mu_{ij_1} = a_{ij_1} / \left(\frac{\rho_{ij_1}}{R_{ij_1}} \right)^{b_{ij_1}}, \quad \alpha_{ij_1} = \alpha_{0ij_1} + \delta_{ij_1}, \quad j_1 = 3, 5, 7, \quad (21)$$

$$i = 1 \dots k, \quad \alpha_{0ij_1} = \arcsin \frac{y_{ij_1}}{\sqrt{x_{ij_1}^2 + y_{ij_1}^2}} - \arcsin \frac{R_{ij_1-2} - R_{ij_1}}{\sqrt{x_{ij_1}^2 + y_{ij_1}^2}},$$

$$L_0 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^8 L_{0ij}, \quad L_T = l_5 + l_{36} + l_7 + l_{37},$$

где k - соответствует числу основ; ρ_i - радиус намотки основы на соответствующей навои; f_i - коэффициент трения нитей; a_i, b_i - постоянные коэффициенты; t_{0i} - натяжение нити намотанной на навои; P_{0i} - натяжение нити после схода с навои; R_{ij_1} - радиус кривизны соответствующей направляющей; μ_{ij} - коэффициент трения нити о направляющую; α_{ij_1} - угол охвата нитью направляющей с учетом изменения диаметра навои; δ_{ij_1} - постоянный геометрический параметр; x_{ij_1}, y_{ij_1} - вертикальная и горизонтальная составляющая размера между двумя соседними нитенаправителями.

Коэффициент жесткости основы определяется из следующей системы уравнений

$$C_0 = \sum_{i=1}^k m_i \Delta_i, \quad n_{ij_2} = e^{\mu_{ij_2} \alpha_{ij_2}},$$

$$\Delta_i = \frac{c_{i2} c_{i4} c_{i6} c_{i8} n_{i2} n_{i4} n_{i6}}{c_{i8} c_{i4} n_{i4} (c_{i6} n_{i6} + c_{i2} n_{i2}) + c_{i2} n_{i2} c_{i6} n_{i6} (c_{i8} + c_{i4} n_{i4})}$$

$$c_{i10A} = \frac{C_{0i}}{\sqrt{(l_{i10} - x)^2 + (h - y)^2}}, \quad c_{i10B} = \frac{C_{0i}}{\sqrt{(l_{i10} - x)^2 + (h + y)^2}}, \quad (22)$$

$$c_{i9} = \frac{C_{0i}}{\sqrt{h^2 + l_{i9}^2}},$$

$$C_{i8} = \left(\frac{n_{i8} C_{i0B} C_{i9}}{n_{i8} C_{i9} + C_{i0B}} + \frac{n'_{i8} C_{i10H} C_{i9}}{n'_{i8} C_{i9} + C_{i10H}} \right) \frac{v_{i9}^2}{h^2 + v_{i9}^2},$$

где n_i — число соответствующих нитей в заправке; n_{i2} , n_{i4} , n_{i6} — параметры, определяющие соотношение между натяжением ведущей и ведомой ветвей на соответствующих участках упругой системы заправки.

Коэффициент жесткости всей упругой системы заправки равен

$$C = \frac{C_0 C_T}{C_0 + C_T}, \quad (23)$$

где C_T — коэффициент жесткости ткани.

Величина силы прибоя для многослойной ткани определяется из выражения

$$P_n = (C_0 + C_T) \lambda_n \left(\frac{1 + v_k}{1 + v_k \delta_k} \right) + \Delta_0 C_0 - \Delta_T C_T, \quad k=1 \dots n, \quad (24)$$

где λ_n — величина прибойной полоски, мм; n — число слоев ткани, где уточины переплетаются с основными нитями; Δ_0 , Δ_T — суммарная деформация основы и ткани при прибое вследствие зверообразования, отпуска основы с навоя, отвода ткани и пр.; $\delta_k = R_k / F_k$; R_k — сила, которую необходимо приложить к основным нитям с коэффициентом жесткости C_0 , чтобы растянуть их на величину λ_{HK} ; F_k — реально действующая на поверхность основных нитей со стороны утка сила трения; $\lambda_{HK} = \lambda_{1k} + \lambda_{ck}$; $\lambda_{ck} = \lambda_{1k} (1 - \delta_k)$; λ_{1k} — составляющая деформации основы за счет действия на нее сил трения при движении уточины в зоне формирования ткани; $v_k = \lambda_{1k} / \lambda_{2k}$;

$$\lambda_{2k} = \lambda_n - \lambda_{1k} - \lambda_{ck}$$

В главе приводятся результаты теоретических исследований по получению уравнений равновесия нитей основы и утка в зоне формирования многослойной ткани.

Экспериментальные исследования влияния заправочного натяжения основы, плотности ткани по утку, совместного влияния заступа и разнонатянутости зева на величину силы прибора, величину уработки нитей для тканей СТСЗ-5М, 6, 7, 10, 16 представлены соответствующими регрессионными зависимостями.

Влияние плотности по утку Π_y (н/дм) на величину силы прибора P описывается следующим уравнением

$$P = 1,9 \cdot 10^{-2} \Pi_y^2 - 4 \Pi_y + 318. \quad (25)$$

Совместное влияние заступа и разнонатянутости зева для указанных тканей отражается регрессионными зависимостями

для СТСЗ-5М

$$P = 2478,62 + 17,27h - 15,71\psi_3 - 0,70\psi_3 h, \quad (26)$$

для СТСЗ-6

$$P = 2634,47 + 2,67h - 17,76\psi_3 - 2,38h^2, \quad (27)$$

для СТСЗ-7

$$P = 2182,96 + 111,82h - 43,91\psi_3 - 5,59h\psi_3, \quad (28)$$

для СТСЗ-10

$$P = 2050,8 + 44,1h - 21,18\psi_3 - 1,44h\psi_3 - 2,82h^2, \quad (29)$$

для СТСЗ-16

$$P = 2988,9 + 39,91h - 20,2\psi_3 - 1,34h\psi_3. \quad (30)$$

В приведенных зависимостях h необходимо подставлять в мм, а ψ_3 в градусах.

Установлено, что величина разрывной нагрузки многослойной ткани зависит от ее структуры и условий формирования. В конце главы приводятся основные выводы.

В седьмой главе приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований условий взаимодействия нитей с направляющими и натяжителями различных систем нитеподачи трикотажных машин.

Дана математическая формализация критериев выбора размеров нитенаправителей с учетом физико-механических свойств перерабатываемого сырья

$$L_1 = R + e, \quad L_2 = 2\delta_0, \quad L_3 = e^{\mu\psi} - 1, \quad (31)$$

$$P_1 = P_0 \left(1 + \frac{L_1 L_3}{L_1 - L_2} \right).$$

Дифференцируя последнее равенство по радиусу кривизны направляющей R , с учетом выражений (18), (19), получим

$$\frac{\partial L_3}{\partial R} L_1^2 - \frac{\partial L_1}{\partial R} L_3 L_2 - L_1 \frac{\partial L_3}{\partial R} L_2 + \frac{\partial L_2}{\partial R} L_1 L_3 = 0. \quad (32)$$

Последнее равенство (32), совместно с системой уравнений (31), определяет выбор размеров нитенаправителя с учетом физико-ме-

ханических свойств нитей.

Изучая условия взаимодействия нитей с пальцевым натяжителем получены уравнения для определения натяжения ведущей ветви нити. Угол наклона оси нити к образующей пальца определялся по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2(\mathcal{K} R_1 + \sqrt{h_1^2 - R_1^2})}{l_1}, \quad (33)$$

где \mathcal{K} - число витков вокруг пальца; h_1 , R_1 , l_1 - геометрические параметры пальцевого натяжителя ($h_1=13\text{мм}$, $R_1=9\text{мм}$, $l_1=51\text{мм}$). Наличие двух глазков у натяжителя приводит к росту выходного натяжения на 5,5-7сН. Увеличение натяжения от трения нити по поверхности пальца в среднем равняется 5сН. Следовательно, натяжитель такого типа будет эффективным лишь тогда, когда необходимо создать повышенное натяжение. Экспериментальные зависимости выходного натяжения P_1 от скорости U и запраночного натяжения P_0 для капроновой нити 28 текс и для шерстяной пряжи 29,9 текс имеют соответствующий вид

$$P_1 = 2,8 P_0 + 1,2 U; \quad P_1 = 2,7 P_0 + 0,9 U.$$

При исследовании условий взаимодействия нити со стоечным натяжителем, с учётом зависимостей (31) и (32), было установлено что возникает возможность его модернизации. Для этого необходимо диаметр стоек увеличивать по мере возрастания входного натяжения. Это позволит снизить величину выходного натяжения на 32,4%.

Анализ работы гребенчатого натяжителя и натяжителя с грузорезки войбами позволил получить уравнения перемещения рабочего органа натяжителя (гребенки, кольца) в динамических условиях

с присоединенным демпфером

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{b\varphi_0}{2}t^2 + \frac{b^2(\varphi_0 - 2a\varphi_0^2)}{24}t^4 + \dots + \frac{mghJh_2}{4P_1\ell^2}, \quad (34)$$

без присоединенного демпфера

$$\varphi = \varphi_0 \operatorname{ch}\left(\sqrt{\frac{4P_1\ell^2}{Jh_2}}t\right) + \frac{mghJh_2}{4P_1\ell^2}, \quad (35)$$

где $a = (c_2 \rho S d^3)/2J$; $b = (4P_1\ell^2)/Jh_2$; φ_0 - начальное значение угла отклонения гребенки от вертикали; t - время; J - момент инерции; P_1 - входное натяжение; ρ - плотность среды; S - площадь мишеля; h_2 , ℓ , h - геометрические параметры натяжителя; m - масса подвижных частей гребенки; g - ускорение свободного падения.

При исследовании взаимодействия тарельчатого нитенатяжителя с грузом и пружиной определены основные соотношения для натяжения ведущей ветви нити с учетом сжимаемости и жесткости на изгиб нити

$$\left. \begin{aligned} P_A &= P_0 + bE_1 \left(1 + \frac{l}{tg\delta_*}\right) \frac{(z - z_k)^2}{z}, \\ P &= P' + 2Nl, \quad P' = P_A \left[1 + \frac{R+z}{R+z(1-\delta_0)} (e^{\mu d} - 1)\right], \\ \delta &= \delta_0 e^{\mu d\rho}, \quad \delta_0 = \frac{P_A(R+z)}{[zP_A + E_1 b(R+z)^2]}, \quad \mu = \frac{a}{(P_A/R)b}, \\ \alpha &= \alpha_\rho + \alpha z \arccos \left[1 - \delta_0 \left(\frac{z}{R}\right)^2\right] + \alpha z \arccos \left[1 - \delta \left(\frac{z}{R}\right)^2\right] - \\ &\quad - 2 \alpha z \arccos \left[1 - \frac{b_0}{2P_A(R+z)^2}\right], \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

где E_1 - модуль упругости нити на сжатие; f - коэффициент трения между нитью и тарелками; \mathcal{N} - удельное нормальное давление; β_* - среднее значение угла наклона касательной к наружному профилю шайбы в точке входа.

Динамическая составляющая натяжения от прохождения утолщения через данный натяжитель определяется из уравнения

$$\Delta P_g = 2f m_2 \frac{d}{d_1^2} v^2,$$

где m_2 - масса подвижных частей натяжителя; d , d_1 - геометрические параметры утолщения (максимальный горизонтальный и вертикальный размеры); v - скорость движения нити.

Оптимизация размеров тарельчатого нитенатяжителя проводилась в соответствии с учетом равенства нормальных давлений в точках контакта верхней шайбы с нитью до и после модернизации

$$\mathcal{N} = \frac{\mathcal{N}_0}{2 \left[1 + \frac{R_2}{R_3} \sin \left(\frac{\alpha}{2} - \arcsin \frac{z}{R_2} \right) \right]}, \quad (37)$$

где R_2 - расстояние от оси штыря до точки входа-выхода нити; R_3 - расстояние от оси штыря до точки касания шайб.

В данной главе приводятся математические зависимости, описывающие процесс взаимодействия нити с трубчатым нитенаправителем, приводятся основные соотношения для определения влияния формы оси трубки на величину выходного натяжения.

Математическое обеспечение САПР системы нитеподачи трикотажной машины основывается на определении условий взаимодейст-

вая нити с различными нитенаправителями и нитенатяжителями. Для определения оптимальной формы питетракта трикотажной машины может использоваться ЭВМ. Для автоматизации данного процесса был разработан пакет прикладных программ "TRIKOTAG". При этом учитывались физико-механические свойства нитей.

Совершенствование системы нитеподачи трикотажных машин осуществлялось по двум направлениям: совершенствование конструкции нитенаправителей, натяжителей и оптимизация формы заправочной линии нити. Осуществление данной программы для замковых трикотажных машин ПАНН 8, НОР 18, ПН 8, ОВУ1, основополагающей машины "Кокетт 2" позволило снизить выходное относительное натяжение нити перед зоной вязания на 20-50%, уменьшить обрывность на 6-15%. Это было достигнуто за счет уменьшения изломов линии заправки нити, уменьшения суммарного угла охвата нитью направляющих, совершенствовании конструкции нитенатяжителей.

Работа содержит 11 приложений, где приведены прикладные программы и результаты решения систем трансцендентных уравнений: по определению натяжения ведущей ветви нити взаимодействующей с направляющей с учетом сминаемости и жесткости на изгиб; по определению оптимального размера нитенаправителей; по расчету величин силы притока для различных артикулов многослойных технических тканей; по определению перемещения опухли ткани; по расчету натяжения нити после различных нитенатяжителей и нитенаправителей. Приводятся программы и результаты обработки экспериментальных данных, на основании которых построены регрессионные зависимости изменения натяжения ведущей ветви нити, физико-механических свойств от натяжения ведомой ветви, угла охвата, скорости движения, радиуса кривизны направляющей для 15 наименований нитей.

В пятое и шестое приложения вошли планы и результаты экс-

периментальных исследований по определению влияния заправочного натяжения, совместного влияния застужа и разнонатянутости зред на: величину силы притоа; физико-механические свойства нитей и тканей; строение ткани. Отдельное приложение составили материалы, подтверждавшие научную и практическую значимость работы.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ

С позиций разработанных научных основ взаимодействия нитей с направляющими изложены обоснованные технические и технологические решения, реализация которых вносит заметный вклад в научно-технический прогресс, а именно, при совершенствовании технологических процессов и оборудовании текстильной и легкой промышленности.

Решение научной проблемы по разработке основ взаимодействия нитей с направляющими при формировании ткани и трикотажа позволило получить следующие основные результаты:

1. Выполнены комплексные теоретические исследования по:
 - определению главных компонентов кривизны и кручения оси нити с учетом сминаемости в зоне контакта с направляющей поверхностью произвольного профиля;
 - определению скорости и ускорения точек оси сминаемой нити при ее движении по направляющей большой кривизны;
 - описанию динамики процесса взаимодействия сминаемых, жестких на изгиб нитей с направляющей большой кривизны с учетом и без учета ее деформации.

2. Разработка основ механики сминаемой, жесткой на изгиб нити позволила решить ряд конкретных задач механики нити:

- получить выражения для определения формы оси и натяжения нити в случае продольного и поперечного скольжения по направляющей с

учетом силы тяжести, коэффициента изгибной жесткости;

- в поле силы тяжести определить форму равновесия жестких на изгиб нитей с двумя точками закрепления;

- описать процесс взаимодействия сминаемых, жестких на изгиб нитей с направляющими большой кривизны;

- установить влияние формы направляющей поверхности на натяжение мононитей, комплексных нитей и пряжи.

3. Основные теоретические положения использовались для решения ряда прикладных задач, имеющих большое значение для технологии ткацкого и трикотажного производств:

- по описанию процесса взаимодействия нитей основы и утка в зоне формирования однослойных и многослойных тканей и с направляющими и рабочими органами ткацкого станка при учете сминаемости и жесткости на изгиб;

- получить уравнения перемещения опутки ткани для каждого конкретного момента процесса формирования ткани;

- определение технологических нагрузок при формировании не только однослойных, но и многослойных тканей;

- выбор критериев оптимизации размеров нитенаправителей различных трикотажных машин;

- разработать методы определения натяжения ведущей ветви нити для основных типов нитенатяжителей трикотажных машин и на этой основе создать пакет прикладных программ для обеспечения САПР системы нитеподачи различных трикотажных машин.

4. Для реализации планов экспериментальных исследований и проверки правильности и корректности сделанных допущений при теоретических исследованиях:

- предложены методы и разработаны установки, защищенные 2 авторскими свидетельствами, для определения натяжения нитей при их взаимодействии с направляющими, нитенатяжителями и рабочими

органами машин легкой и текстильной промышленности с учетом физико-механических свойств (сминаемости, жесткости на изгиб, анизотропии трения);

- в соответствии с планами эксперимента для 15 видов нитей реализован ортогональный план 2-го порядка по определению влияния натяжения ведомой ветви, угла охвата, радиуса кривизны направляющей поверхности и скорости движения нити на натяжение ведущей ветви, определены соответствующие коэффициенты в уравнениях регрессии, которые с 95% доверительной вероятностью описывают данный процесс;

- установлена связь между условиями взаимодействия нитей с направляющей и их удельной разрывной нагрузкой и относительным разрывным удлинением после прохождения последней;

- по результатам экспериментальных исследований подтверждена приемлемость использования определенных ранее критериев по выбору размеров нитек направляющих и рабочих органов машин легкой и текстильной промышленности с учетом сминаемости и жесткости на изгиб, что позволило снизить относительное натяжение в рабочей зоне на 10-45%, уменьшить обрывность на 16-35%;

- использование разработанного метода определения силы прибора, натяжения основных нитей на участке "опушка-ремиз" позволило на начальной стадии проектирования многослойных тканей определить в каких условиях будет происходить формирование проектируемой ткани на станке;

- на основе проведенных исследований разработаны новые структуры многослойных тканей, которые защищены 4 авторскими свидетельствами;

- для различного ткацкого оборудования предложены методы и разработаны соответствующие измерительные приспособления для определения технологических усилий, что позволило получить досто-

верные результаты и на их основе построить регрессионные зависимости силы прироста от величины заправочного натяжения основы и совместного влияния заступа и разнонатянутости зева для 5 артикулов технических тканей типа СТСЗ;

- определено влияние условий переработки на физико-механические свойства тканей и нитей из них, на строение ткани;

- предложены принципиально новые способы определения натяжения нитей при взаимодействии с нитенатяжними приборами, что позволило разработать рекомендации для их существенной модернизации.

5. Реализация комплексных теоретико-экспериментальных исследований позволила получить следующие практические результаты:

- исходя из реальных условий взаимодействия нитей с направляющими оптимизировать геометрические размеры последних для каждого конкретного вида нитей;

- модернизировать конструкции стоечного и тарельчатого нитенатяжителей, что позволило расширить их технологические возможности, получить экономию материала;

- установлено, что пальчиковый нитенатяжитель можно наиболее эффективно использовать при переработке нитей низкого тейкса с узким диапазоном варьирования входного натяжения;

- комбинированные отечественные нитенатяжители, существующих конструкций, эффективны лишь при не высоких скоростях переработки нитей, увеличение скорости движения нити приводит к росту динамической составляющей натяжения, что объясняется инерционностью их подвижных частей;

- совершенствование структуры многослойной технической ткани СТСЗ-5М, используемой для изготовления силовых захватов, позволило получить ряд новых СТСЗ-7 - СТСЗ-16, выпуск которых можно перевести на более современное (по сравнению со станками типа АТТ-120-5М) оборудование - станки типа СТБ, что позволяет при

экономии сырья (на условную 20см ширину ткани) на 6-8%, увеличения прочности на 30-35% повысить производительность оборудования в 2,5 раза;

- с учетом предварительных исследований оптимизирована форма линии заправки нити на перчаточном автомате ПП-8, основовязальной машине Кокетт, чулочных автоматах ЧОР-18 и ДАНА 3, кругловязальной машине ОВЗ1, что позволило уменьшить величину относительного натяжения перед зоной вязания на 12-65%, сократить обрывность на 6-15%;

- полученные пакеты прикладных программ для определения технологических усилий при переработке нитей на технологическом оборудовании, регрессионные зависимости, новые методы определения физико-механических свойств тканой и нитей из них могут быть использованы на машиностроительных предприятиях, фабриках, НИИ данного профиля для модернизации существующего оборудования и разработки нового;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены в учебный процесс Государственной академии легкой промышленности Украины при чтении специального раздела по дисциплине "Теоретическая механика" - "Основы механики нити".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щербань В.Ю. Введение в механику сминаемых нитей и основные вопросы ее приложения. - Киев: НК ВД, 1992. - с.52.
2. А.с.№1708952. Многослойная техническая ткань/ Щербань В.Ю., Васильченко В.Н., Кошель С.А., Апокин Ц.В., Козиянчук В.И., Луканина Т.Г.; КТИЛП. - Опуб. 30.04.92, бм^н №4.
3. А.с.№1807115 Многослойная техническая ткань/Щербань В.Ю., Васильченко В.Н., Стеценко С.Д., Зайченко А.Г.; КТИЛП. - Опуб. 07.04.93, бм^н №13.
4. А.с.№1730504. Устройство для определения фрикционных свойств нитей/Щербань В.Ю., Васильченко В.Н., Апокин Ц.В., Козиянчук В.И., Луканина Т.Г.; КТИЛП. - Опуб. 30.04.92, бм^н №16.
5. А.с.№1805341. Прибор для определения коэффициента трения/Щербань В.Ю., Васильченко В.Н., Кошель С.А., Апокин Ц.В.,

- Козиянчук В.И., Лукашина Т.Г.; КТИИП. Отуб. 30.03.93, Бюл. №12, б. п. с. №1509439. Многослойная техническая ткань/Васильченко В.И., Кудевод Е.И., Забуженко А.Г., Апокин Ц.В., Щербань В.Ю.; КТИИП. - Отуб. 23.09.89, Бюл. №35.
7. П. с. №1640235. Многослойная техническая ткань/Щербань В.Ю., Васильченко В.И., Апокин Ц.В., Козиянчук В.И., Комель С.А.; КТИИП. Отуб. в. 12.90, Бюл. №13.
8. Щербань В.Ю. К вопросу об оборачиваемости нитей при их переработке//Изв. вузов. Технол. легкой пром. сти. 1992, №6, - с. 81-84.
9. Щербань В.Ю. К вопросу о взаимодействии нити с деформируемой направляющей поверхностью//Изв. вузов. Технол. легкой пром. сти. 1990, №5, с. 103-105.
10. Щербань В.Ю. К вопросу о поперечном скольжении нити по направляющей//Изв. вузов. Технол. легкой пром. сти. -1991, -№3, с. 108-110.
11. Щербань В.Ю. О критериях выбора размеров нитенаправителей машин легкой промышленности//Изв. вузов. Технол. легкой пром. сти. 1989, №4, с. 95-97.
12. Щербань В.Ю. Определение геометрических характеристик формы оси нити, движущейся по деформируемой направляющей поверхности//Изв. вузов. Технол. текстильной пром. сти. -1990, -№6, - с. 52-55.
13. Щербань В.Ю. Определение технологических усилий в процессе прироя при формировании многослойной технической ткани//Изв. вузов. Технол. текстильной пром. сти. -1990, -№3, - с. 44-47.
14. Щербань В.Ю. Особенности взаимодействия сминаемых, жестких па ялтио нитей с рабочими органами трикотажных и швейных машин//Изв. вузов. Технол. легкой пром. сти. -1988, -№4, - с. 126-130.
15. Щербань В.Ю. Взаимодействие нитей с макро- и микронеровностями на поверхности рабочих органов машин легкой промышленности//Изв. вузов. Технол. легкой пром. сти. -1992, -№5- 6, - с. 79-81.
16. Щербань В.Ю. Взаимодействие нити с направляющими переменной кривизны//Изв. вузов. Технол. легкой пром. сти. -1990, - №4, - с. 137-139.
17. Щербань В.Ю. Влияние плотности по утку на условия формирования многослойной технической ткани//Текстильная пром. сть - 1989, - №10, - с. 53.
18. Щербань В.Ю. Влияние формы направляющей поверхности на натяжение нити//Изв. вузов. Технол. легкой пром. сти. -1989, -№5, - с. 119-122.
19. Щербань В.Ю. Исследование процесса прироя утка при формировании многослойной технической ткани//Изв. вузов. Технол.

- текстильной пром-сти. -1990. №4. с.41-44.
20. Апокин Ц.В., Щербань В.Ю. Определение кинематических параметров нити на швейных машинах/Тез.доклада. -Киев:КТИЛП, 1992. -с.148.
 21. Гасем А.Х., Францев В.Н., Щербань В.Ю. Исследование трубчатых нитенаправителей на бытовых трикотажных и швейных машинах. -М.:Тез.доклада, Государственная академия сферы быта и услуг, 1993, с.51-52.
 22. Васильченко В.Н., Щербань В.Ю., Апокин Ц.В. Устройство для удержания многослойной ткани в захватах универсальных разрывных машин//Текстильная пром-сть. 1987. №8. -с.62.
 23. Васильченко В.Н., Щербань В.Ю., Кошель С.А. Прибор для определения натяжения ткани на станке СТБ-175/ЦБТИ, Минлегпром УССР. Информационное письмо, №132 89, 1989.
 24. Гасем А.Х., Кот А.Н., Щербань В.Ю. Особенности взаимодействия нитей с трубчаткой нитенаправителями на замковых трикотажных машинах. -УГАИП, тез. докладов, 1993, с.68.
 25. Апокин Ц.В., Щербань В.Ю. Математическое моделирование процесса формирования однослойных тканей / Тез. доклада. -Киев: КТИЛП, 1990. -с.265-266.
 26. Гасем А.Х., Щербань В.Ю. Особенности взаимодействия нитей с деформированной наплавляющей поверхностью трубчатой формы кругловязальных и плосковязальных машин//Легка промисловість - 1993. -№1. -с.47-48.
 27. Щербань В.Ю., Стеценко С.Д. Влияние структуры многослойной ткани, параметров заправки станка на величину разрывной нагрузки. Тез. доклада. -Киев:КТИЛП, 1992. -с.145.
 28. Щербань В.Ю., Стеценко С.Д., Зайченко А.Г. К вопросу о равновесии жесткой на изгиб нити//Изв. вузов. Технол. легкой пром-сти. -1992. -№1. -с.95-97.
 29. Гасем А.Х., Щербань В.Ю. Стабилизация натяжения в случае использования нитенаправителя трубчатой формы//Легка промисловість. -1993. -№1. -с.46.
 30. Гасем А.Х., Щербань В.Ю. Усовершенствование системы нитоподдачи двухфонтурной круглоластичной машины КЛК-5М//Легка промисловість. -1993. -№1. -с.47.
 31. Щербань В.Ю. К вопросу об анизотропии трения текстильных нитей. Тез. доклада. -Киев:КТИЛП, 1990. -с.267-268.
 32. Кот А.Н., Хомяк О.Н., Щербань В.Ю. Оптимизация суммарного бокового зазора между иглой(игловодом) и стенками игельного паза перчаточного автомата. Сообщение 1.//Изв. вузов. Технол. легкой пром-сти. -1992. -№2. -с.82-87.
 33. Кот А.Н., Хомяк О.Н., Щербань В.Ю. Оптимизация суммарного бокового зазора между иглой(игловодом) и стенками игельного паза перчаточного автомата. Сообщение 2//Изв. вузов. Технол.

- легкой пром-сти. 1992. №3. - с.80-83.
34. Щербань В.В., Стеценко С.Д., Зайченко А.Г. Условия взаимодействия нити с направляющей при постоянной деформации поперечного сечения // Легка промисловість. - 1992. №3. - с.43.
35. Кот А.Н., Щербань В.В., Хомяк О.Н. Эффективность использования в петлеобразующих системах вязальных машин клиньев с подвижными элементами // Изв. вузов. Технол. легкой пром-сти. - 1989. №5. - с.110-116.
36. Кошель С.А., Щербань В.В. Оптимальні параметри заправки верстата СТБ-175/Київ: Легка промисловість. - 1990. - №1. - с.29-30.
37. Создание технологии изготовления специальной технической ткани повышенной прочности. Отчет по НИР/КТИЛП; Васильченко В.Н., Аночкин П.В., Щербань В.В., Кошель С.А. - ГРН01.86.0104732. Киев, 1988. - с.11.
38. Щербань В.В., Васильченко В.Н. Начальные основы взаимодействия нитей с направляющими поверхностями большой кривизны // Легка промисловість. 1992. №2. - с.48.
39. Щербань В.В., Зайченко А.Г., Стеценко С.Д. Совершенствование технологии изготовления многослойных технических тканей повышенной прочности // Текстильная пром-сть. 1992. - №7. - с. 34-35.
40. Щербань В.В., Гасем А.Х. Использование нитенаправителей трубчатой формы на перчаточном автомате ПА-8 // Легка промисловість. 1993. №1. - с.48.
41. Щербань В.В. и др. Привод каретки плосковязальной машины / Кот А.Н., Яковлев Ю.А., Кокшаров Б.Н., Хомяк О.Н., Березин Д.Н. Положительное решение по заявке № 4910990/12 от 18.02.91.
42. Щербань В.В. Исследование сминаемости комплексных нитей и пряжи при их взаимодействии с направляющей поверхностью большой кривизны. В кн.: Надежность, экономичность и качество текстильных материалов. Том 1. Тез. доклада. - Киев: КТИЛП, 1988. - с. 67-68.
43. Щербань В.В., Козиянчук В.И. Аналитическое определение технологических усилий, возникающих при формировании многослойных тканей. Тез. доклада. - Киев: КТИЛП, 1990. - с.230.
44. Щербань В.В. Критерий оптимизации при выборе размеров нитенаправителей машин легкой промышленности. Тез. доклада. - Киев: КТИЛП, 1990. - с.235.
45. Щербань В.В., Стеценко С.Д., Зайченко А.Г. Влияние жесткости на изгиб при определении угла охвата нитью направляющей поверхности // Изв. вузов. Технол. легкой пром-сти. - 1992. - №1. - с.97-100.
46. Щербань В.В., Стеценко С.Д., Зайченко А.Г. Определение формы направляющей по заданному закону изменения натяжения

- нити//Легка промисловість.-1992.-№3. с.43.
47. Щербань В.В. Исследование взаимодействия нитей в зоне формирования ткани при ее поперечном скольжении и больших углах геодезического отклонения. Тез. доклада. Киев: КТИИП, 1992. - с. 146.
48. Щербань В.В. К вопросу о критериях оптимизации заправочной линии на трикотажных машинах. Тез. доклада. - Киев: ГАПД, 1993. - с. 69.

S U M M E R Y

Shcherban V.Vu. Scientific bases of the interaction of threads and guides in fabric and knif manufacture.

Degree of Doctor of Technology competition dissertation. Speciality 05.19.03 - Technology of textile materials. Kherson Industrial Institute, Kherson 1994.

The theoretical bases of the interaction of threads and guiding plains of great and small curvature, unspecified form with regard for creasing, stiffness in bending under the static and dynamic conditions are states in the dissertation, which is claimed to defence.

The results of the complex theoretical and experimental investigations of the interaction of threads and guides being deformed and non-deformed are the basis for studies of the processes of making the multilayer industrial textile on looms as well as the interaction of threads, thread guides and tension guides of the different knitting machines.

А Н Н О Т А Ц И Я

Щербань В.В. Научные основы взаимодействия нитей с направляющими при изготовлении ткани и трикотажа.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.19.03 - технология текстильных материалов, Херсонский индустриальный институт, Херсон, 1994.

