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

Витебский государственный технологический университет

Замостоцкий Е.Г., Коган А.Г.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ НИТИ

Монография

ВИТЕБСК
2012

УДК 677.022:[677.07:621.3]
ББК 37.230.2
З 26

Рецензенты:
кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительного производства» УО «ВГТУ» В.И. Ольшанский;
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, директор республиканского унитарного предприятия «Центр научных исследований легкой промышленности» П. И. Муха.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 8 от 30.11.2011.

З 26 Замостоцкий, Е. Г. Комбинированные электропроводящие нити / Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган. – Витебск : УО «ВГТУ», 2012. – 169 с.

ISBN 978-985-481-277-9

Монография будет полезна для студентов специальности «Технология пряжи, тканей, трикотажа и нетканых материалов дневного, заочного и сокращенного отделения, аспирантов и научно-технических работников, специалистов текстильных предприятий, занимающихся изучением технологических процессов прядильного, крутильного, ткацкого и трикотажного производства. Основные результаты, полученные при проведении исследований, нашли практическое применение на текстильных предприятиях Республики Беларусь. Эти результаты будут полезны при разработке новых технологических процессов и создании нового ассортимента нитей и изделий специального назначения.

УДК 677.022:[677.07:621.3]
ББК 37.230.2

ISBN 978-985-481-277-9
© Замостоцкий Е.Г., Коган А.Г., 2012
© УО «ВГТУ», 2012

Витебский государственный технологический университет

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 6
1 ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ВОЛОКОН И НИТЕЙ 8
1.1 Классификация электропроводящих волокон 8
1.1.1 Виды гомогенных электропроводящих волокон и нитей 9
1.1.2 Виды гетерогенных электропроводящих волокон и нитей 14
1.2 Способы получения комбинированных и армированных нитей 16
1.3 Анализ способов получения электропроводящих нитей и пряжи 23
1.3.1 Способ получения электропроводящих волокон в постоянном электрическом поле 23
1.3.2 Способ получения комбинированных электропроводящих нитей в десольвере 24
1.3.3 Способ получения армированной металлизированной нити 25
1.3.4 Способ получения металлизированной пряжи 27
1.4 Области применения электропроводящих нитей 31
1.4.1 Применение электропроводящих нитей в тканях специального назначения 31
1.4.2 Применение электропроводящих нитей в трикотажных изделиях 38
1.4.3 Использование электропроводящих волокон и нитей в производстве нетканых материалов 38
2 ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ НИТЕЙ 41
2.1 Характеристика используемого сырья 41
2.1.1 Физико-механические и электрические свойства комплексных полиэфирных и полиамидных химических нитей 42
2.1.2 Физико-механические свойства нитронового волокна 45
2.1.3 Физико-механические свойства капронового волокна 48
2.1.4 Физико-механические свойства шерстяных волокон 50
2.1.5 Физико-механические свойства комплексной арселоновой нити 52
2.1.6 Физико-механические и электрические свойства медной микропроволоки 54
2.2.7 Электрические свойства комплексных 57

Витебский государственный технологический университет

химических нитей
2.2 Технология производства комбинированных электропроводящих нитей на тростильно-крутильных машинах 62
2.3 Технология получения комбинированных электропроводных нитей на машине ПК-100МЗ 66
2.4 Технология получения комбинированной электропроводящей пряжи на пневмомеханической прядильной машине ППМ-120МС 69
2.4.1 Технология получения хлопковой ленты 69
2.4.2 Технологическая линия для выработки комбинированной электропроводящей пряжи 70
2.5 Технология производства комбинированной электропроводящей пряжи большой линейной плотности на крутильной машине К-176-2 78
3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ НИТЕЙ 83
3.1 Комплексный анализ деформационных и прочностных свойств комбинированных электропроводящих нитей, полученных на тростильно-крутильном оборудовании 83
3.2 Оценка показателей качества комбинированных электропроводящих нитей, полученных на тростильно-крутильном оборудовании 87
3.3 Теоретический анализ структуры и свойств комбинированных электропроводящих нитей, полученных на тростильно-крутильном оборудовании 89
3.4 Теоретические исследования процесса кручения с определением геометрического строения и разрывной нагрузки комбинированной электропроводящей нити, полученной на машине ТК-2-160М 94
3.5 Теоретическое исследование интенсивности нагрузки и натяжения при баллонировании комбинированной электропроводящей нити на машине ТК-2-160М 103
3.6 Теоретические исследования геометрических и прочностных параметров комбинированной электропроводящей пряжи, полученной на пневмомеханической прядильной машине 111
3.6.1 Определение линейной плотности комбинированной электропроводящей пряжи 111
3.6.2 Определение процентного содержания компонентов в структуре комбинированной электропроводящей пряжи 111
3.6.3 Расчет диаметра комбинированной электропроводящей пряжи 111

Витебский государственный технологический университет

3.6.4 Расчет относительной разрывной нагрузки комбинированной электропроводящей пряжи линейной плотности 40 текс 112
3.7 Теоретический анализ структуры и свойств комбинированной электропроводящей пряжи большой линейной плотности, получаемой на крутильных машинах К-176-2 116
4 ПЕРЕРАБОТКА КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ НИТЕЙ В ТЕКСТИЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 122
4.1 Переработка опытной партии электропроводящих нитей в ткани специального назначения в производственных условиях 122
4.2 Исследование физико-механических и электрических свойств наработанных тканей 126
4.3 Проработка электропроводящих нитей в ткани с антистатическим эффектом 127
4.4 Экспериментальное определение удельного поверхностного электрического сопротивления полученных тканей специального назначения с использованием комбинированных электропроводящих нитей 35 текс 128
4.5 Определение влияния расположения комбинированной электропроводящей пряжи для получения антистатического коврового покрытия 134
4.6 Определение влияния расположения комбинированных электропроводных нитей на прохождение электромагнитных волн через ткань специального назначения 137
4.7 Определение влияния структуры тканей с комбинированными электропроводящими нитями на прохождение СВЧ-волн 142
4.8 Разработка ассортимента тканей с антистатическими свойствами 145
5 РАЗРАБОТКА АССОРТИМЕНТА ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН С ЭКРАНИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ 146
5.1 Разработка ассортимента трикотажных полотен с антистатическими свойствами 151
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 154
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 155
СПИСИОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРОВ 163

Витебский государственный технологический университет

ВВЕДЕНИЕ

С ростом промышленности природные защитные свойства текстильных материалов стали использовать в спецодежде, предохраняющей людей от производственного травматизма под действием высокой температуры, огня, расплавленных частиц металла. В наше время промышленное развитие и появление новых отраслей производства, необходимость совершенствования армейской экипировки и изменчивая мода предъявляют к текстильным материалам такие требования, удовлетворить которые природные свойства волокон уже не в состоянии. Середина XX в. стала для текстиля периодом триумфального шествия химических волокон с их новыми качествами и эффективностью освоения разнообразных отделок. Последние придают материалу или защитные свойства, необходимые для работы человека в сфере производства (масло-, огне-, кислото-, водостойкость и т. п.), или модные эффекты. Бурный технический прогресс на исходе XX в. (освоение космоса, микроэлектроника и компьютерный бум) предъявил к текстильным материалам новые, казалось бы, фантастические требования. Одно из них – целенаправленное создание и производство волокнистых материалов с заданными свойствами, которые необходимы в конкретной сфере человеческой деятельности. Не менее важным оказалось их умение изменять свои качества в нужном человеку направлении под воздействием внешней среды, т. е. вырабатывать ответную реакцию. Когда появились первые положительные результаты, стали говорить о начале эры «умного» текстиля (Smart Textile, Intelligent Textile), основанного на использовании высоких наукоемких технологий (Hi-Tech). В последнее время в мире большое внимание уделяется исследованиям в области текстильной электроники или электротекстиля. Имеются многочисленные публикации результатов исследований, а также выступления на конференциях и симпозиумах [1].

Интерес к этой области вызван возможностью развития производства изящных и легких тканей, которые могут применяться для изготовления обогреваемых текстильных изделий, жилетов, оснащенных музыкальными приборами в виде плат, гибкой, складывающейся клавиатуры, компьютеров, для производства которых используется электропроводящая пряжа. Вся эта электротехническая продукция в настоящее время уже реально может быть поставлена в торговую сеть.

Развитие космической и авиационной техники, машиностроения, электроники, электротехники, радиотехники и других областей дало мощный импульс для разработки технологии получения таких специфических волокон и волокнистых материалов, как жаропрочные и термостойкие, высокомодульные и высокопрочные, электропроводящие

Витебский государственный технологический университет

и оптические, антифрикционные, сорбционные и другие. Высокофункциональные волокна с тщательно разработанными и специально подобранными химическими и физическими свойствами служат сырьем для «интеллектуальных» текстильных материалов с разработанными внутренними структурами; такие материалы открывают самые широкие перспективы перед техническими текстильными изделиями будущего.

Основными областями применения высокотехнологичных материалов являются производство спецодежды, способной надежно защищать человека от вредного СВЧ- и УВЧ- воздействия; одежды с подогревом (например, для армии или спортсменов), а также всевозможных украшений и отделок готовых изделий. Не менее важными областями применения можно назвать экранирование геопатогенных зон и физиотерапевтических кабин, оборудование "чистых" комнат и "безэховых" камер, снятие статического электричества. В настоящее время металлические нити в сетеполотнах нашли применение при создании космических антенн.

Среди требований, предъявляемых к электропроводящим волокнистым материалам, – малая плотность, высокие удельные физико-механические характеристики, возможность широкого варьирования электрофизических характеристик, стойкость к агрессивным средам, малый термический коэффициент линейного расширения, высокая адгезия к связующим, технологичность в переработке в изделия, возможность придания изделию сложной формы и др. Следует отметить широко применяемые в настоящее время в электротехнике, радиотехнике и смежных отраслях такие металлы, как золото, серебро, никель, хром, вольфрам и их сплавы, являющиеся весьма дефицитными и дорогостоящими материалами [2].

Электропроводящие нити, вплетенные в структуру материала в виде решетки или полосок, придают им антистатические свойства, которые сохраняются в течение всего срока службы. Такие материалы долговечны, отличаются высокой комфортностью, малоусадочные и малорастягивающиеся, удовлетворяют требованиям к технологической одежде для чистых помещений класса 100 в электронной промышленности и классов А и В в химико-фармацевтической промышленности.

Производство электропроводящих волокнистых материалов включает в себя широкую гамму изделий, таких как нагревательные провода, мягкие и жесткие электронагреватели, обогреваемые постельные принадлежности, коврики и одежда. Они обеспечивают обогрев жилых и производственных помещений, сидений автомобилей, трубопроводов, технологического оборудования, насосов и емкостей, сельскохозяйственных объектов.

Витебский государственный технологический университет

1 ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ВОЛОКОН И НИТЕЙ

1.1 Классификация электропроводящих волокон

Понятие электропроводящий означает, что тот или иной материал может проводить, передавать, отводить электрический ток, заряд.

Химические волокна могут быть диэлектриками, полупроводниками и проводниками электрического тока. Резкого разграничения твердых тел на три указанные группы не существует [1–А, с. 78]. Чаще всего к типичным диэлектрикам относят твердые тела с удельной проводимостью менее $\cdot 10^{-8}$ $Ом^{-1}\cdot м^{-1}$, к полупроводникам – $1\cdot10^{-8}$–10^{2} $Ом^{-1}\cdot м^{-1}$, к проводникам – $1\cdot10^{2}$–10^{6} $Ом^{-1}\cdot м^{-1}$ и более [2, с. 9].

Ниже приведена классификация существующих электропроводящих волокон (рисунок 1.1).

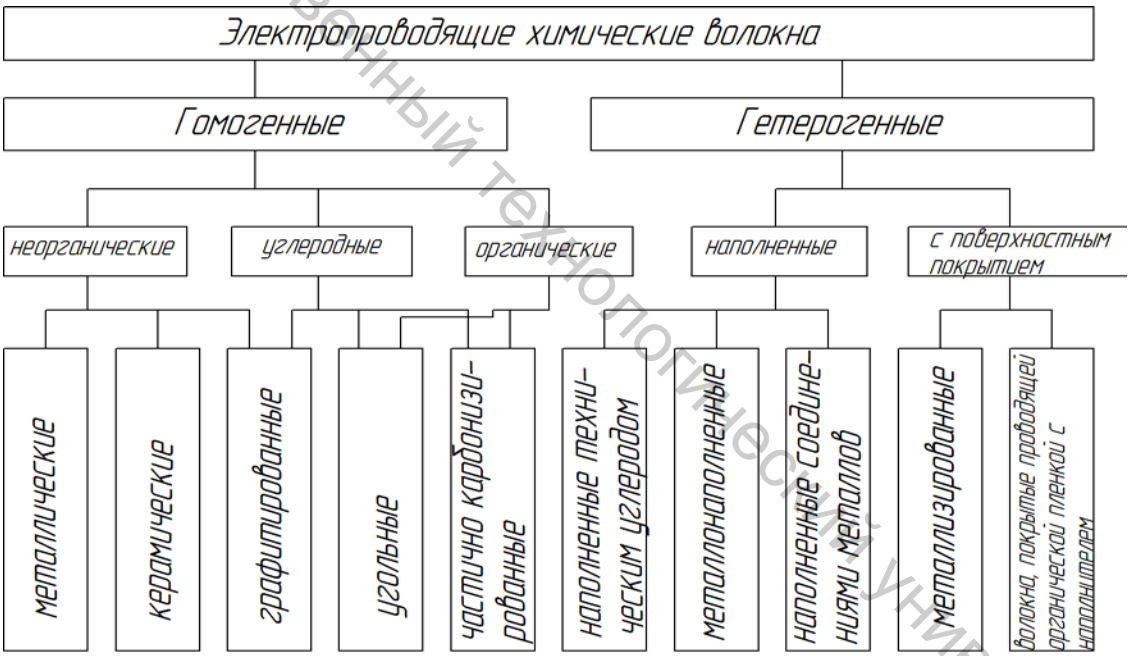


Рисунок 1.1 – Классификация электропроводящих волокон

На основании анализа приведенной схемы из всего многообразия существующих электропроводящих волокон, по мнению некоторых исследователей [2, с. 44; 1–А, с. 78], для производства комбинированных электропроводящих нитей наиболее целесообразно использовать металлические волокна и нити.

Витебский государственный технологический университет

1.1.1 Виды гомогенных электропроводящих волокон и нитей

В работе [2, с. 12] гомогенными электропроводящими называются волокна, проводимость которых определяется химическим строением и структурой однородного материала, из которого они изготовлены. К этой группе материалов относятся волокна из металлических сплавов, а также металлические волокна в изоляционной оболочке.

Металлические волокна и нити известны с давних времен. Так, в Древнем Египте изготавливались тонкие металлические струны для музыкальных инструментов, а по данным многочисленных археологических раскопок, в разных странах в VIII–VII вв. до н. э. изготавливались бронзовая и свинцовая проволоки, золотые нити для украшения одежды и т. п. Более 80 лет тому назад было освоено производство так называемой «металлической шерсти» – тонкой гибкой стружки длинной до 1 м, имеющей сечение в форме треугольника (многоугольника).

Профессор Левит Р.М. один из первых разработал классификацию наиболее распространенных видов металлических волокон [2, с. 9], представленную на рисунке 1.2.

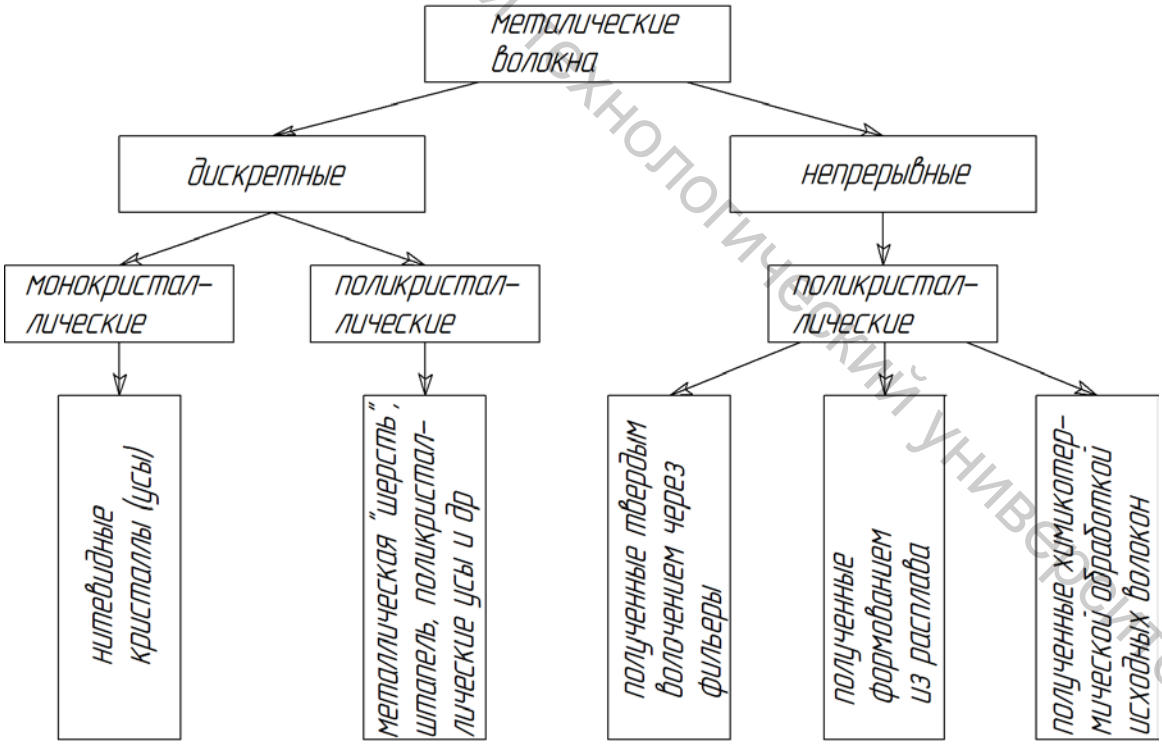


Рисунок 1.2 – Классификация наиболее распространенных видов металлических волокон

В исследованиях, представленных в работе [2, с. 11] считают, что еще 15–20 лет назад тонкие металлические нити обычно называли

Витебский государственный технологический университет

проволокой или микропроволокой. Сейчас, в связи с расширением сфер применения металлических волокон и волокнистых материалов, в особенности как наполнителей композиционных материалов, и значительным прогрессом в области получения и изучения свойств, оказавшихся во многом сходными со свойствами волокон других видов, среди специалистов за тонкой металлической проволокой диаметром 50–100 мкм и менее, независимо от метода ее получения, используется наименование «нить». В работе для характеристики электропроводящего элемента используется понятие микропроволока.

К дискретным монокристаллическим волокнам относятся нитевидные кристаллы металлов («усы»), которые привлекли внимание исследователей своими уникальными свойствами сравнительно недавно. Из известных технических материалов прочность усов ввиду их малой дефектности наиболее близка к теоретической; кроме того, их достоинством являются высокие модуль Юнга и жаростойкость.

Дискретные поликристаллические волокна получают как механическим, так и химическим методами. Механическим методом получают «металлическую шерсть» на машинах-автоматах путем пропускания металлической проволоки через ряд режущих устройств, имеющих до 160 зазубрин на 1 см режущей части. Волокна такого типа неоднородны по сечению, содержат много макродефектов и имеют низкую прочность.

Непрерывные металлические волокна получают методом твердого волочения. Волочение – это обработка металлического прутка давлением путем многократного протягивания его через последовательно уменьшающиеся по диаметру воронкообразные отверстия в специальных фильерах-волоках. Для того, чтобы проволока при волочении легче деформировалась, волоки должны быть изготовлены из твердого материала и иметь гладкие отверстия. Первоначально для этой цели применялись волоки из камня (яшмы), стальные или из твердых сплавов. Для получения металлических нитей диаметром порядка 100 мкм в настоящее время применяют карбидные фильеры, а при меньших диаметрах – алмазные [2 с. 19].

Технология волочильного производства проволоки существует много столетий, но за это время осталась практически неизменной. Широкое производство микропроволоки (металлических нитей) по данному методу началось только в середине XX в.

В группу электропроводящих и полупроводящих керамических волокон включают волокна на основе оксидов, а также карбидные и нитридные волокна. Керамические волокна обоих видов имеют сходство по свойствам и методам получения. Следует отметить, что волокна на основе большого числа оксидов, а также ряда карбидов и нитридов обладают проводимостью электрического тока.

Витебский государственный технологический университет

Наиболее широко распространенным оксидным волокном является стеклянное. Подавляющее количество стеклянных и кварцевых волокон относится к классу диэлектриков. В литературе [2] подробно описано получение полупроводящих стеклянных волокон из стекол с высоким содержанием оксидов с последующим восстановлением в различных газовых средах.

Большинству карбидов присущ металлический блеск, электропроводимость, положительный температурный коэффициент электрического сопротивления.

Нитридные волокна могут быть как проводниками электрического тока, так и диэлектриками. К настоящему времени получены волокна из нитрида бора и нитрида кремния, причем первые выпускаются в качестве жаростойких волокон в опытно-промышленном масштабе.

Широко применяемые органические текстильные волокна являются диэлектриками, и лишь при увлажнении их электропроводность заметно возрастает.

Углеродные волокна, обладающие уникальными физико-механическими и электрофизическими свойствами, высокой жаростойкостью в инертной и восстановительной средах, являются одним из самых важных классов электропроводящих химических волокон.

Углерод – один из наиболее важных и часто встречающихся элементов во Вселенной, и один из элементов, являющихся базовыми для живых организмов на Земле. Соответственно, разновидности и соединения углерода играют огромную роль в экономической деятельности. Не удивительно, что ученые уделяют внимание исследованию различных видов углерода [4 – 8].

Углеродные волокна иногда называют «волокнами, получаемыми из угля», но их на самом деле получают из специально подобранных видов органических волокон (волокон-прекурсоров), способных переходить с большим выходом в углеродные структуры (кокс) и с сохранением формы исходных волокон.

Углеродные волокна и углеволокнистые материалы производятся во многих странах мира, в том числе в России и Республике Беларусь, в виде различных по свойствам волокон и текстильных материалов.

Углеродные волокна получают на основе полимераналогичных превращений исходных волокон (вискозных и полиакрилонитрильных). При высокотемпературных обработках этих волокон происходит полное изменение структуры полимера. Используя исходные волокна с различной структурой и свойствами, проводя термические обработки в различных средах и при различных температурных режимах, получают широкую гамму различных видов углеродных карбонизованных и графитированных волокон: высокопрочных, высокомодульных,

Витебский государственный технологический университет

электропропроводящих, термо- и жаростойких, химически стойких и других.

Углеродные волокна [100], волокна, получаемые термической обработкой исходных химических и характеризующиеся высоким содержанием (до 99,5 % по массе) углерода. Исходными служат волокна на основе гидратцеллюлозы, сополимеров акрилонитрила. Возможно использование и других исходных волокон, например, поливинилхлоридных, поливинилспиртовых, полиоксазольных, феноло-формальдегидных, но они не имеют промышленного значения из-за сложной технологии получения, низкого качества и высокой стоимости углеродных волокон из них.

Получение углеродного волокна включает процессы формования исходных, их подготовит, обработку и три стадии термической обработки. В ходе подготовительной обработки меняют химическую структуру волокон или вводят в них вещества, регулирующие процесс пиролиза и обеспечивающие максимальный выход кокса.

Углеродные волокна характеризуются:

- высокой пористостью;
- площадь внутренней поверхности достигает 50 – 400 $м^2$/г.

Форма поперечного сечения углеродного волокна такая же, как у исходных волокон, а его площадь при пиролизе и карбонизации существенно уменьшается и составляет обычно около 16 – 100 $мкм^2$. Поперечное сечение УВ на основе пеков при обработке меняется мало и достигает 900 $мкм^2$.

Все углеродные волокна можно подразделить на три вида: частично карбонизованные, угольные (карбонизованные), графитированные.

Структурный вид углеродного волокна представлен на рисунке 1.3.

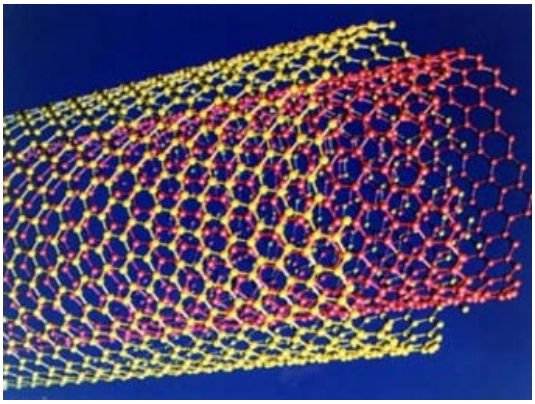


Рисунок 1.3 - Структурный вид углеродного волокна

Витебский государственный технологический университет

В лабораторных условиях учеными были получены углеродные волокна со значениями модуля упругости и прочности, которые соответствуют 600 – 700 и 6 – 8 ГПа, соответственно.

Так как углеродные волокна являются полупроводниками, их электрическая проводимость обусловлена подвижностью р-электронов в системе сопряжения. В зависимости от условий получения углеродного волокна удельного электрического сопротивление может варьировать от 10^5 до 10^{-3} Ом·м, а при использовании легирующих добавок (бор, щелочные металлы) – от 10^5 до 10^{-5} Ом·м.

Углеродные волокна мало гигроскопичны, но благодаря развитой поверхности они сорбируют водяные пары (до влажности порядка 0,2 – 2 %), не меняя при этом своих физико-механических свойств.

Хотим отметить, что углеродные волокна обладают высокой атмосферостойкостью, устойчивостью к действию света и проникающей радиации, химической стойкостью. Углеродные волокна биостойки и биоинертны, жаростойки и трудногорючи. В инертной среде их можно эксплуатировать длительное время при 400 – 600 ^{o}C; они выдерживают кратковременное воздействие температурой от 800 до 2500 ^{o}C. На воздухе температура эксплуатации не превышает 300 – 400 °C. Кислородный индекс УВ в зависимости от условий получения составляет 35 – 60 %.

Мировое производство углеродных волокон постоянно увеличивается. Так, в 2003 году оно возросло почти на 7 %, достигнув 20 тысяч тонн, увеличивая прибыль за счет мероприятий по реструктуризации. Для всех регионов отмечен высокий ежегодный рост потребления, а в Европе он выражается даже двузначной цифрой (таблица 1.1) [8, с. 17].

Таблица 1.1 – Мировое потребление углеродных волокон (в тоннах)

Регион	1993 г.	1997 г.	2002 г.	2007 г.	Среднегодовой прирост	
					1997–2002 гг.	2002–2007 гг.
США	3646	6262	5670	7952	2,0	7,0
Западная Европа	1220	2260	5200	8660	18,1	10,7
Япония	1974	2582	2862	3500	2,1	4,1
Тайвань/Южная Корея, Китай	1450	1800	2700	4200	8,4	9,2
Остальные	1291	1383	2513	3266	12,7	5,4
Всего	9581	14287	18945	27577	5,8	7,8

На применение в высокотехнологичных процессах попадает 15 % рынка углеродных волокон, спорте и восстановительной медицине – 25 %, создании технологических материалов – 60 % [9, 10].

Витебский государственный технологический университет

Новые области применения волокон в промышленном секторе гарантируют их развитие в будущем. Только за период с 2002 до 2003 годы этот сектор увеличился почти в 1,5 раза. В большей степени потребителями являются азиатские страны. Однако стоит отметить, что переработка углеродных волокон и нитей ограничена их высокой ломкостью, низкой разрывной нагрузкой, большими линейными плотностями выпускаемых комплексных нитей и достаточно высокой стоимостью.

1.1.2 Виды гетерогенных электропроводящих волокон и нитей

В гетерогенных электропроводящих волокнах проводимость создается за счет введения электропроводящего наполнителя в массу волокна или путем нанесения (напылением или другим методом) на поверхность. Необходимость такой классификации, по мнению профессора Левита Р.М., обусловлена принципиальными различиями в технологии получения волокон обеих групп и специфическими свойствами.

Металлонаполненные волокна и нити наполняются мельчайшими частицами металла химическим методом.

Стальные волокна и нити в комбинации с текстильными волокнистыми материалами могут найти применение в производстве прокладочных тканей и трикотажных материалов, а также трехмерных изделий для упрочнения различных материалов [11, с. 33].

В работе [12] отмечается, что металлизированные нити, покрытые тонким слоем металла, обладают высокой температуростойкостью, коррозионной стойкостью и высокой разрывной нагрузкой. Они используются для изготовления фильтров коррозионных жидкостей. Вследствие хорошей электропроводности нитей из нержавеющей стали они нашли применение при изготовлении тканей для работы в различных полях, а также в тканях для противорадиолокационной защиты.

Одна из многочисленных японских компаний, которая называется Kuraray Co. Ltd, разработала новое электропроводящее волокно на основе поливинилового спирта под торговым названием «Kuralon EC» [101], содержащее металлические наночастицы. При разработке нового продукта компанией учитывались особенности взаимодействия гидроксильной группы поливинилового спирта с ионами различных металлов. В результате исследований этой компании было получено волокно с высокой электропроводностью, во внутренней структуре которого содержатся наночастицы сульфида меди.

В настоящее время широко распространены электропроводящие волокна, содержащие наночастицы технического углерода. Кроме того,

Витебский государственный технологический университет

волокна, на поверхность которых нанесены частицы металла, также обладают электропроводящими свойствами, однако данная технология считается устаревшей, так как поверхность, покрытая металлом, подвержена износу и коррозии; кроме того, электропроводность полученного материала относительно невысока.

При получении волокна «Kuralon EC» специалисты компании «Kuraray» использовали новую технологию получения компаундов, содержащих металлические наночастицы.

Можно выделить следующие специфические характеристики волокон «Kuralon EC»:

- высокая электропроводность (за счёт небольших размеров проводящих частиц);
- прочность поверхности, обусловленная стабильностью внутренней структуры волокна;
- гибкость материала и возможность контроля его электропроводности.

Известно покрытие из многослойных углеродных нанотрубок [102] на полимерных нановолокнах, которое позволяет получать электропроводящую ткань или прозрачную пленку на практически любой поверхности.

Электростатическая сборка трубок диаметром 10 – 20 нм на волокнах толщиной 200 нм приводит к высокой электропроводимости при малом расходе трубок. На рисунке 1.4 представлен внешний вид электропроводящих нитей из многослойных углеродных нанотрубок.

Рисунок 1.4 - Электропроводящие нити из многослойных углеродных нанотрубок

Витебский государственный технологический университет

Электропроводящая нить из многослойных углеродных нанотрубок под электронным микроскопом представлена на рисунке 1.5.

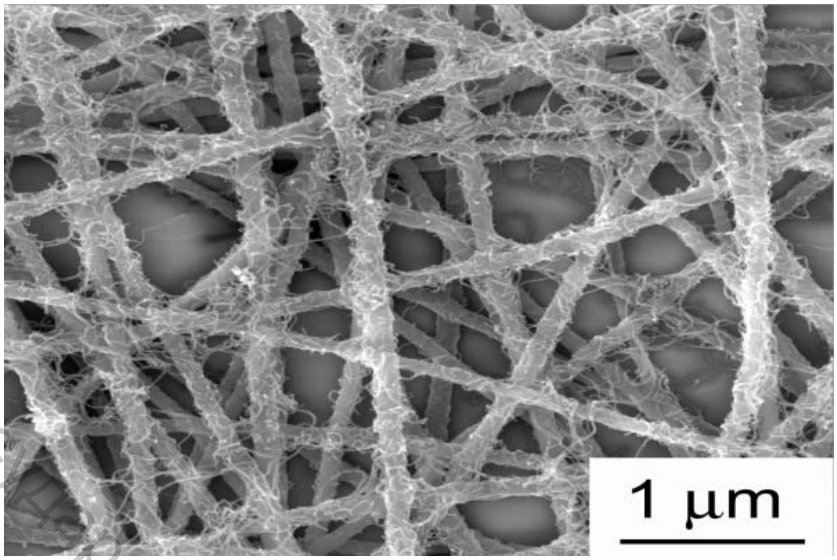


Рисунок 1.5 - Электропроводящая нить из многослойных углеродных нанотрубок под электронным микроскопом

Данные нити могут быть использованы как прозрачные электропроводящие структуры на поверхности ковровых изделий, что избавит, например, от металлизированного блеска.

При анализе материала исследователями в области электропроводящих волокон сделан вывод о том, что металлические нити могут найти применение при изготовлении текстильных изделий специального назначения.

1.2 Способы получения комбинированных и армированных нитей

Согласно ГОСТ 13784 [13], комбинированная нить – это текстильная нить, состоящая из комплексных нитей и/или пряжи, или из мононитей и пряжи или из комплексных нитей, различающихся по химическому составу или структуре, или из различной по волокнистому составу и структуре пряжи. Разновидностью комбинированных нитей являются армированные нити. Армированная нить – это текстильная нить, имеющая сложную структуру, в которой осевая нить обкручена или плотно оплетена волокнами или другими нитями.

По данным литературного источника [14], наиболее распространенным способом получения комбинированных нитей как в нашей стране, так и за рубежом, является способ с использованием модернизированных кольцевых прядильных машин. На кольцепрядильных машинах вырабатывают армированные нити,

Витебский государственный технологический университет

состоящие из стержневой синтетической, обычно комплексной полиэфирной нити и покрывающих ее хлопковых или полиэфирных волокон. Машина оборудована дополнительной рамкой для установки входных паковок с комплексными химическими нитями, натяжными устройствами и нитенаправителями для комплексных нитей. В вытяжной прибор через водилку 6 (рисунок 1.6) поступает ровница 5. Под переднюю пару 7 вытяжного прибора заправляется комплексная химическая нить, сматываемая с бобины 2, огибающая два направляющих прутка 1 и проходящая через натяжное устройство 3 и нитепроводник 4. По выходе из вытяжного прибора мычка из хлопкового или лавсанового волокна обвивает комплексную химическую нить, при этом кончики волокон проникают между элементарными нитями и прочно закрепляются на ней круткой. Скрученные комплексная нить и мычка образуют армированную нить 8, которая наматывается на паковку 9. На кольцевой прядильной машине на кафедре «Прядения натуральных и химических волокон» УО «ВГТУ» разработан способ получения армированных швейных ниток новой структуры [15]. Через вытяжной прибор пропускают два раздельных потока ровницы, в каждый из которых подают комплексные нити. По выходе из вытяжного прибора формируемые компоненты соединяют вместе, при этом придаваемая полученной нити крутка распространяется на армированные компоненты, придавая им крутку тех же направлений и величины.

Витебский государственный технологический университет

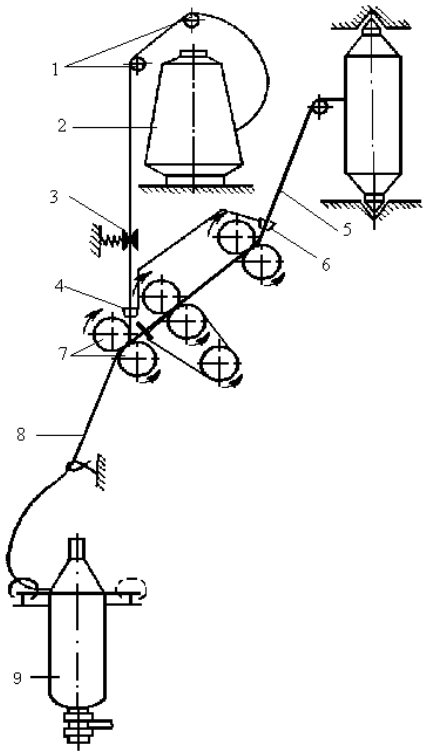


Рисунок 1.6 – Технологическая схема модернизированной кольцевой прядильной машины для получения комбинированных нитей

В работе [16, с. 307] отмечается, что кольцевой способ прядения является малопроизводительным, так как скорость выпуска пряжи невысокая и составляет 10 – 20 м/мин. Это объясняется тем, что крутильно-наматывающее устройство, включающее бегунок, кольцо и веретено, ограничивает возможность дальнейшего повышения скорости прядения, так как имеет ряд недостатков:

- ограниченная скорость бегунка по кольцу снижает производительность машины;
- совмещение процессов кручения и наматывания не позволяет значительно увеличить размеры паковки, так как это приведет к увеличению размеров машины и к резкому повышению расхода электроэнергии;
- недостаточная масса пряжи на початке приводит к частому съему паковки и потере рабочего времени.

В исследованиях, проведенных в работе [17], отмечается, что комбинированные нити большой линейной плотности можно получать из бескруточных пневматических нитей.

Технологическая схема прядильной машины для получения бескруточной пневматической комбинированной нити представлена на рисунке 1.7.

Витебский государственный технологический университет

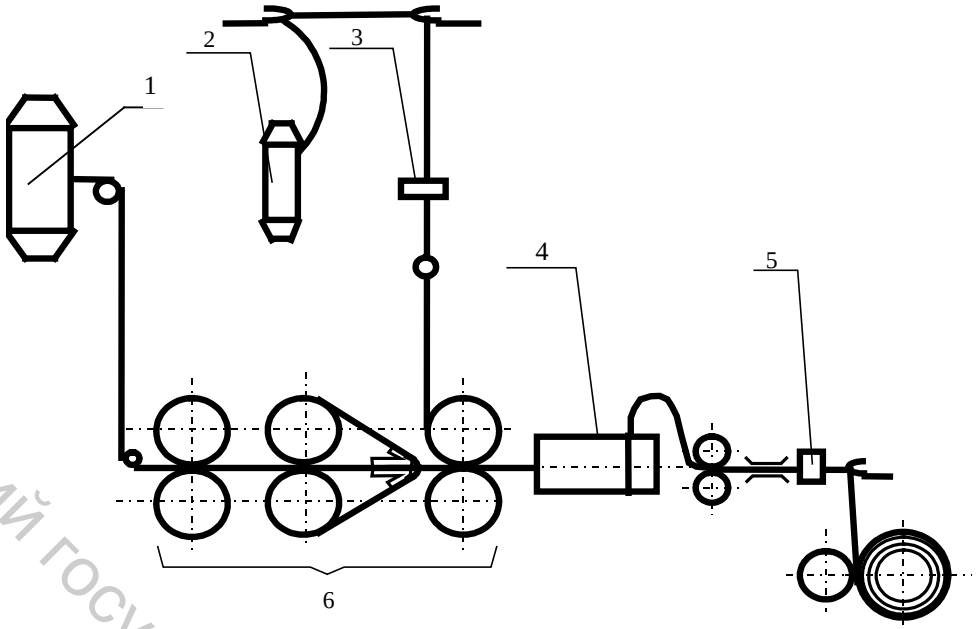


Рисунок 1.7 – Технологическая схема прядильной машины ПБК

В качестве пряжеформирующего органа используется пневматическое устройство 4. Устройство содержит камеры ложного кручения и пневмоперепутывания, где осуществляется соединение волокнистой мычки, получаемой в результате утонения ровницы 1 в вытяжном приборе 6 и комплексной нити 2. Машина снабжена датчиками контроля обрыва нити 5 и нитенатяжителем для комплексной нити 3. Данный способ имеет некоторые недостатки: комбинированные нити можно получать только большой линейной плотности, необходимость подачи сжатого воздуха приводит к увеличению энергоемкости процесса формирования комбинированной нити.

Среди новых известных способов получения нитей наибольшее промышленное применение получили пневмомеханические способы прядения, такие как камерный, роторный и конденсорный. Фирма «Sortel» разработала и запатентовала технологию получения армированных нитей с использованием камерных пневмомеханических прядильных машин [16, с. 323]. Технологическая схема получения комбинированной нити на пневмомеханической прядильной машине представлена на рисунке 1.8.

Лента 20 выбирается из таза 21 под действием вращения питающего цилиндра 2. Проходя воронку 1 между питающим столиком 19 и питающим цилиндром, лента подается к дискретизирующему барабанчику 3 с игольчатой гарнитурой, где она утоняется и разъединяется на отдельные неконтролируемые волокна. В конфузоре 4 создается разряженная зона (вакуум), и дискретный поток волокон засасывается и подается в камеру 6, затем по разъединительному диску

Витебский государственный технологический университет

скользит к желобу 5 камеры, где происходит циклическое сложение дискретного потока волокон и формирование волокнистой ленточки.

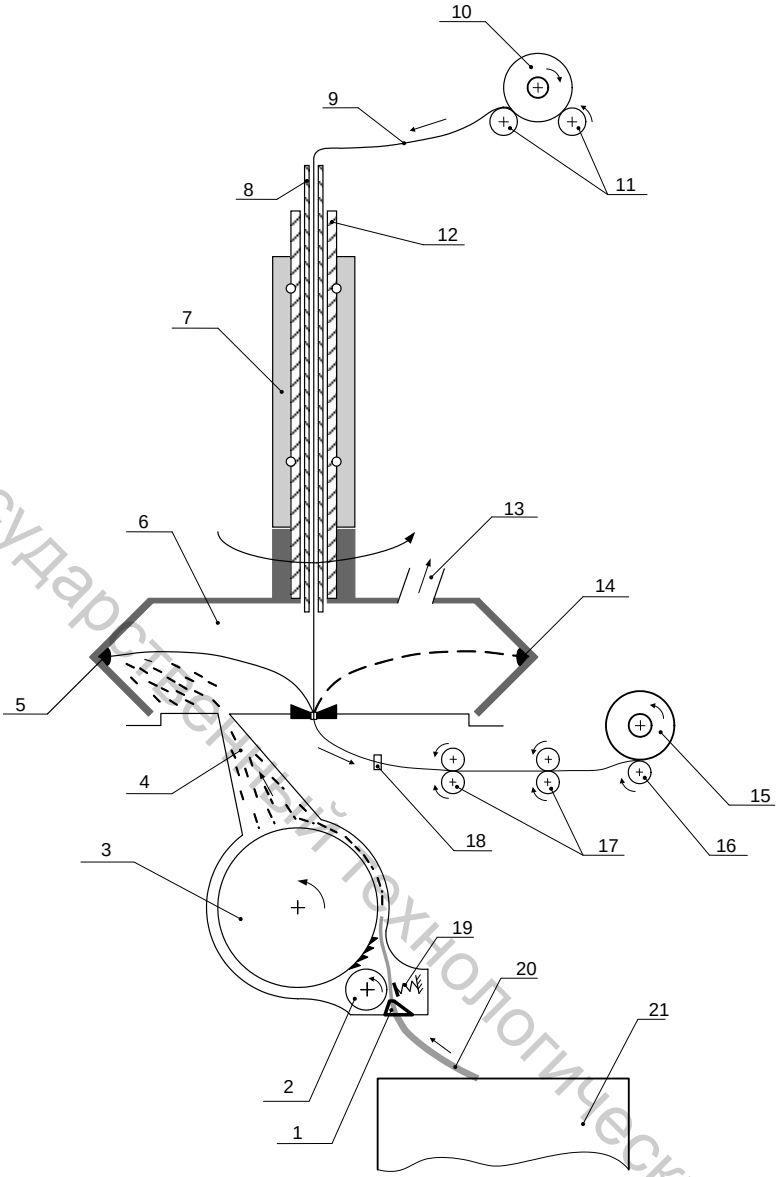


Рисунок 1.8 – Технологическая схема пневмомеханической прядильной машины для получения комбинированной нити

Для получения комбинированной нити в рабочую зону прядильной камеры с катушки 10, установленной на раскатывающих валах 11 с постоянным натяжением через трубку 12 подается комплексная химическая нить 9.

Свободный конец комплексной нити вводится через стеклянную трубку 8 и отбрасывается к стенкам камеры. Комплексная нить начинает вращаться и прикручивает волокнистую мычку, находящуюся в желобе камеры. Комплексная нить соединяется с формируемой пряжей внутри прядильной камеры, и полученная комбинированная нить проходит через механизм отключения питания при обрыве 18,

Витебский государственный технологический университет

выводится из камеры выпускной парой 17 и с помощью мотального барабана 16 наматывается на цилиндрическую паковку 15.

Следовательно, сущность предложенного способа формирования пряжи состоит в том, что в рабочую зону прядильной камеры вместе с дискретным потоком волокон подается с определенным постоянным натяжением комплексная нить, которая скручивается с формируемой в камере пряжей. Полученная комбинированная нить выводится из камеры и наматывается на бобину.

Структура комбинированной нити зависит от линейной плотности стержневого компонента и его натяжения. По мнению исследователей [17, 18], возможны три варианта:

- комплексная нить расположена вдоль оси комбинированной нити, а волокнистая мычка обвивается вокруг нее (штопорная структура);
- комплексная нить и мычка скручены между собой;
- волокнистая мычка занимает место вдоль оси комбинированной пряжи, комплексная нить обвивается вокруг нее.

Промышленное применение получил только первый вариант нитей.

В литературном источнике [19] сообщается, что армированные нити вырабатывают по способу, разработанному П. П. Трыковым. Этот способ основан на использовании армирующего устройства (конфузора), в которое волокно подается пневматикой при одновременном скручивании непрерывной нити и покрывающих ее волокон. Для получения армированных нитей используют и так называемые оплеточные (или обкруточные) машины. Для производства мишурных нитей путем оплетки стержневых нитей синтетическими нитями, натуральным шелком или расплющенной тонкой металлической проволокой применяют оплеточные машины 0-145М. Для обкрутки резиновой жилки хлопчатобумажной пряжей, химическими нитями или натуральным шелком используют резинообкруточные машины ОРН-1 (рисунок 1.9). Технологические схемы этих машин одинаковы. Катушку 2 со стержневой резиновой жилкой устанавливают в пазы прижима 1.

Катушка приводится во вращение фрикционным барабанчиком 3. Проходя через шпиндели веретен 5 и нитенаправляющие глазки 6 нижнего и верхнего ярусов, стержневая нить обкручивается пряжей с катушек 4.

Для создания равновесной нити веретена имеют разное направление вращения. Обкрученная нить подается в зону наматывания питающей парой 7. Нить наматывается на бумажный патрон 9 с помощью фрикционного барабанчика 10 и нитеводителя 8. Линейная плотность перерабатываемой резиновой жилки от 70 до 140 текс, а пряжи – от 5 до 10 текс.

Витебский государственный технологический университет

Проанализировав этот способ получения, были выявлены следующие недостатки: отсутствие механизма самоостановов, несовершенство механизмов передачи и низкая производительность.

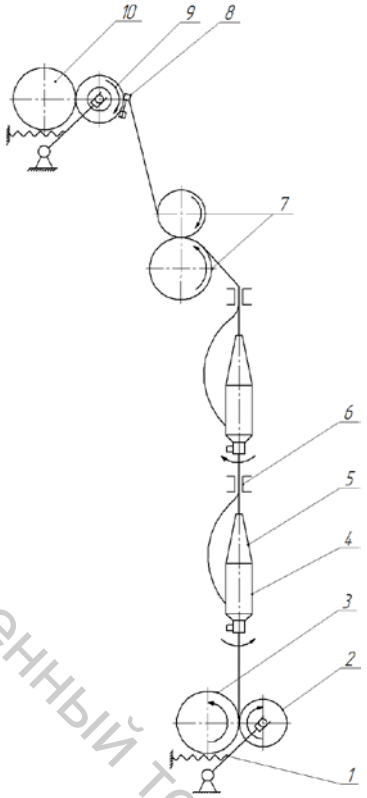


Рисунок 1.9 – Технологическая схема резинообкруточной машины ОРН-1

Наблюдается рост числа новых способов прядения, имеющих цель отказаться от использования пары «кольцо-бегунок», сдерживающей дальнейшее повышение производительности. В работах [2–А, с. 18; 3–А, с. 63] установлено, что в качестве крутильного органа машин в настоящее время все чаще стали применяться полые веретена. Комбинированные нити различного назначения получают на модернизированной прядильно-крутильной машине ПК-100МЗ (рисунок 1.10) [20].

В настоящее время принцип кручения в полом веретене все шире используется в оборудовании, выпускаемом различными фирмами стран СНГ, в США, Германии, Великобритании. В качестве выпрядаемого компонента используется ровница 1, состоящая как из полиэфирных микроволокон, так и из хлопковых волокон. Комплексная полиэфирная нить 4, которая обкручивает выпрядаемый компонент 5, сматывается с установленной на полое веретено 2 двухфланцевой катушки 3.

Витебский государственный технологический университет

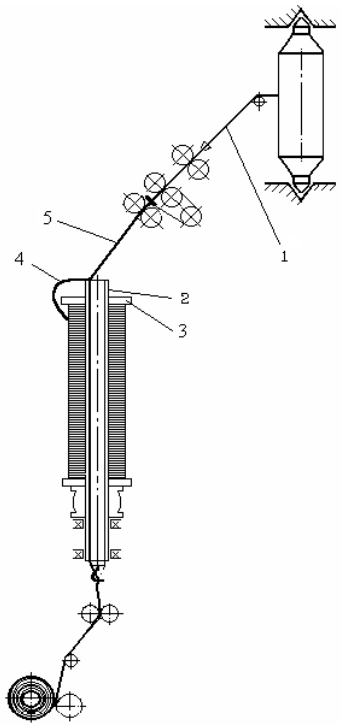


Рисунок 1.10 – Технологическая схема модернизированной прядильно-крутильной машины ПК-100М3

Разработанная технология крученой комбинированной нити однопроцессным способом формирования на машине с полыми веретенами позволяет получать армированную нить с сердечником из лавсановой комплексной нити и оплеткой из полиэфирных или хлопковых волокон, которые формируются в результате утонения в вытяжном приборе ровницы [21, 22].

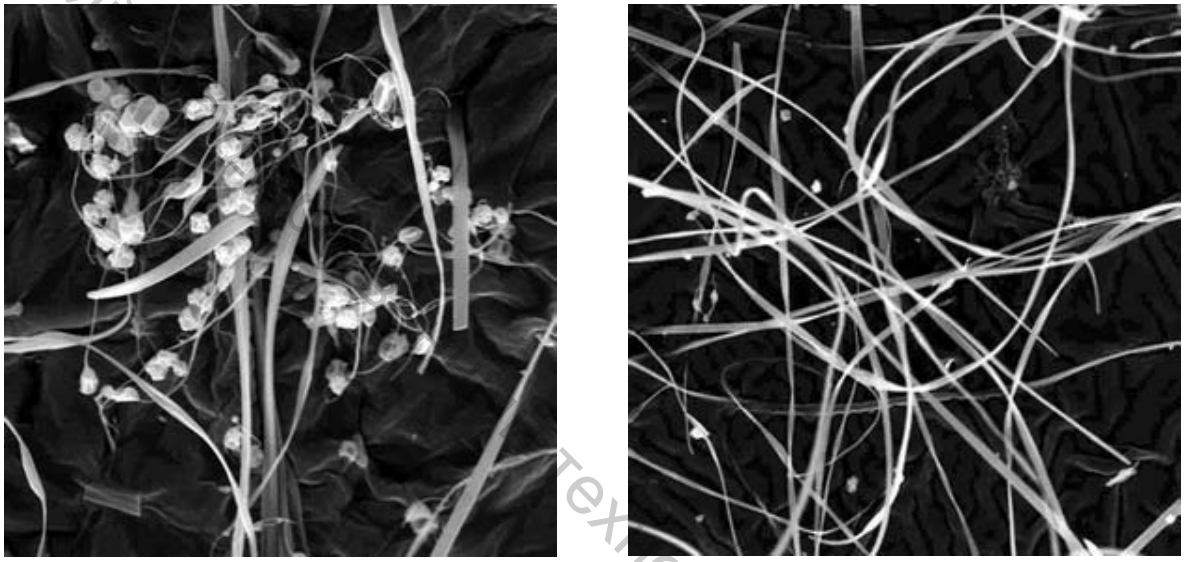
1.3 Анализ способов получения электропроводящих нитей и пряжи

1.3.1 Способ получения электропроводящих волокон в постоянном электрическом поле

Ультратонкие электропроводящие волокна получали вытяжкой в постоянном электрическом поле с напряженностью до 30 кВ/м. Одним из электродов служил металлический капилляр, из которого со скоростью 5 – 10 м/с подавалась струя раствора поли-м-толуидина в сильно полярном растворителе – дихлорэтане. Известно, что, полученный в наших условиях поли-м-толуидин имеет молекулярную массу ~ 5 – 20 тыс. Поэтому для формирования устойчивой струи использовали раствор с концентрацией до 30 масс. %. В противном случае может происходить срыв струи и образование не нитей, а капель, как показано на рисунке 1.11 а. Полное отверждение струи происходило на расстоянии 10 см от устья капилляра, так что характерное время

Витебский государственный технологический университет

волокнообразования составляло $\Delta t \cong 0{,}01$ с. Получающиеся волокна укладывали на разные подложки и исследовали их форму и размеры на электронном сканирующем микроскопе TESLA BS-340. На рисунке 1.11 представлены электронно-микроскопические снимки волокон, полученных в разных условиях. Видно, что условия формирования оказывают существенное влияние на размеры и форму волокон. В зависимости от концентрации раствора, скорости истечения и приложенного напряжения получаются волокна диаметром от 0,1 до 10 мкм. Возможно формирование волокон разной кофигурации – в виде цилиндрических нитей диаметром от 500 нм и ленты толщиной ~ 500 нм с отношением ширины к толщине, равным 5 – 10 [53].



а) б)

Рисунок 1.11 – Электронно-микроскопические снимки волокон поли-м-толуидина (М 1:10000): а) концентрация более 30 масс. %, б) концентрация до 30 масс %

Полученные путем прядения в электростатическом поле волокна подвергались допированию путем обработки соляной кислотой. Переход поли-м-толуидина из одной формы в другую сопровождается изменением окраски, связанным с уменьшением поглощения в зеленой и красной области спектра. Полученные в работе результаты показывают принципиальную возможность формирования ультратонких субмикронных волокон электропроводящих полимеров.

1.3.2 Способ получения комбинированных электропроводящих нитей в десольвере

В литературном источнике [103] сообщается о том, что комплексная электропроводящая нить образована двумя фиброгенными полимерами, расположенными друг относительно друга в виде

Витебский государственный технологический университет

"оболочки" и "ядра", причем "ядро" выполнено из волокон поликапроамида, а "оболочка" содержит волокнообразующий фторсодержащий полиолефин, предпочтительно сополимер тетрафторэтилена с винилиденфторидом, наполненный печной сажей, в массовом соотношении от 1:0,6 до 1:0,8, причем на наружной и внутренней поверхностях "оболочки" образован непрерывный каркас из частиц печной сажи, диспергированной до фракций 0,5 – 1,0 мкм, при этом "ядро" и "оболочка" взяты в массовом соотношении от 1:0,7 до 1:0,8, а линейная плотность комплексной электропроводящей нити составляет 52 – 58 текс. Способ изготовления комплексной электропроводящей нити включает в себя приготовление в дессольвере прядильного ацетонового раствора волокнообразующего фторсодержащего полиолефина, фильтрацию его на рамном фильтр-прессе, введение заданного количества печной сажи и подачу полученного многокомпонентного раствора на диспергацию частиц до фракций 0,5 – 1,0 мкм в роторно-пульсационном смесителе методом высокочастотной пульсации интенсивного гидродинамического потока при температуре 20 – 25 ^{o}C, скорости вращения ротора 700 - 1400 мин$^{-1}$ и давлении 0,8 – 1,0 кгс/см^{2} с последующим вакуумированием, формованием комплексной нити "ядро - оболочка" в фильерном комплекте с диаметром фильеры 0,9 – 1,1 мм, удалением растворителя в сушильной шахте при температуре 125 – 128 ^{o}C и скорости протяжки нити 35 – 40 м/мин. Техническим результатом, который может быть получен от использования изобретения, является повышение надежности и работоспособности комплексной электропроводящей нити в составе резистивного слоя жестких или мягких нагревательных элементов.

1.3.3 Способ получения армированной металлизированной нити

В исследованиях, представленных в работе [19], для изготовления армированных нитей разнообразной структуры применяют специальную крутильную машину рогульчатого типа с полыми веретенами.

Нагонная и закрепительная нити обвивают стержневую с перекрещивающимся направлением витков. Если у нагонной нити направление витков Z, то закрепительная обвивает стержневую в направлении S. В качестве обвивающихся нагонных и закрепительных нитей можно использовать нити, различные по линейной плотности, крутке и происхождению. Армированная нить наиболее простой структуры приведена на рисунке 1.12.

Основными недостатками рассмотренного способа являются: низкая производительность, отсутствие самоостановов, несовершенство

Витебский государственный технологический университет

механизмов передачи. Последние два фактора оказывают отрицательное влияние на качество металлизированной нити.

Для получения электропроводящих нитей методом армирования медную проволоку диаметром 2–2,6 мм вытягивают до диаметра 0,01 мм и покрывают лаком.

Медную нить используют в качестве сердечника армированной пряжи, которую получают на армирующей машине. Из полученной армированной пряжи и текстурированной полиэфирной нити вырабатывают ленту, используемую в одежде, устройстве для передатчика измерителя пульса, проверки сердечной деятельности и подачи сигнала о помощи [29].

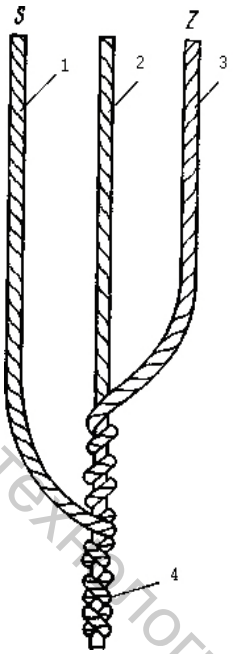


Рисунок 1.12 - Структура армированной металлизированной нити:

1 – закрепительная нить; 2 – алюнит; 3 – нагонная нить; 4 – армированная нить

Для изготовления электропроводной нити используется графитовая лента заданной ширины. В процессе производства нити ленту складывают в продольном направлении в виде желоба. При этом края ленты оказываются внутри желоба. По внешней поверхности полученная заготовка армируется нитями из нержавеющей стали. Армирующие нити могут располагаться внутри ленты. Заготовка подвергается кручению, в результате чего формируется нить. Часть частиц углерода, расположенных на поверхности нити, может удаляться. Армирование нити предупреждает выпадение частиц углерода и способствует повышению стойкости ее к давлению [30].

Электропроводная армированная нить фирмы W. Zimmerman GmbH & Co. KG содержит текстильную стержневую нить, обвитую электропроводящим внутренним слоем и текстильным наружным

Витебский государственный технологический университет

слоем. Изготовленная из нити ткань обеспечивает 99,9 %-ную защиту от электромагнитного излучения при оптимальной прочности.

Изготовленная из ткани защитная одежда комфортабельна в носке. Нить с эластичным стержнем используется для изготовления эластичных электрических кабелей [28, 31].

1.3.4 Способ получения металлизированной пряжи

Для придания пряже некоторых «металлических» свойств ее подвергают металлизации методом распыления. Пряжу наматывают на катушки 1 (рисунок 1.13) наподобие основы на ткацком навое.

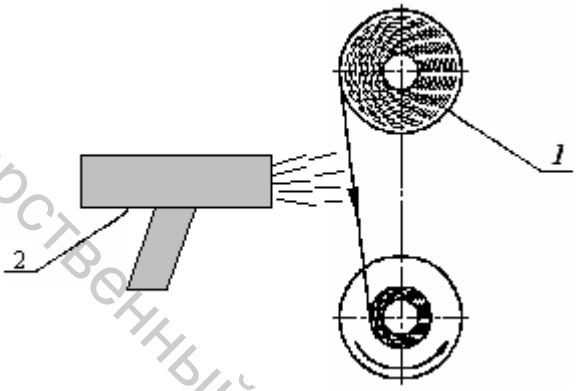


Рисунок 1.13 – Схема машины для металлизации пряжи

Напыление слоя металла производится специальным металлизационным автоматом 2 при перемотке пряжи с одной катушки на другую.

Для получения максимальной однородности покрытия необходимо устанавливать на каждые 100 мм ширины катушки по одному электродуговому аппарату-металлизатору. Аппараты должны иметь колебательное движение вдоль образующей катушки. При непрерывном движении металлизируемых нитей и при условии, что частота колебаний аппаратов будет равна 60 – 80 колебаний в минуту, можно обеспечить достаточную равномерность покрытия.

В работе Катца Н.В. [23, с. 54] отмечается, что можно производить металлизацию и при неподвижных нитях. В этом случае аппарат-металлизатор должен передвигаться поперек нитей. Нанесение покрытия на пряжу со всех сторон по этому способу невозможно. Однако и односторонне металлизированные нити могут найти себе применение при производстве различных технических тканей (например, экранных). Поскольку нити не являются монолитными, они деформируются вследствие удара металлических частиц. Чем тоньше нити, тем больше оснований для облегания

Витебский государственный технологический университет

(охвата) их деформированными металлическими частицами (при постоянных размерах частиц).

Из схемы, представленной на рисунке 1.14, видно, что (при прочих равных условиях) нити меньшего диаметра благодаря более полному «облеганию» должны более прочно удерживать частицы металла, чем нити более толстые.

Для обеспечения наилучшего сцепления металлического слоя с нитью, по мнению автора, целесообразно стремиться к получению наименьших частиц распыленного металла. Чем больше размеры частиц, образующих покрытие, тем более рыхлым, пористым и непрочным получается слой.

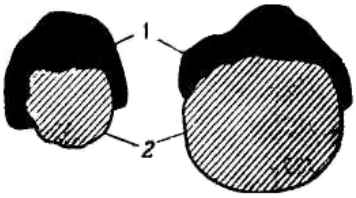


Рисунок 1.14 – Схема облегания металлом нитей:

1 – частицы металла; 2 – нить или пряжа

В Германии разработана технология металлизированного волокна. Данная технология, основанная на использовании высокой сорбционной способности свежесформованного волокна нитрон, позволяет получить никелированные волокна с удельным электрическим сопротивлением 10^{-4}–10^{-6} Ом [24]. На основе металлизированного волокна получена электропроводящая пряжа со следующими характеристиками:

- линейная плотность – 50 текс;
- удельная разрывная нагрузка – 17 – 18 сН/текс;
- разрывное удлинение – 30 – 31 %;
- удельное электрическое сопротивление – $2 \cdot 10^{-5}$ Ом·м;
- содержание металла на волокне – 16,8 %.

В качестве второго компонента пряжи использовано средневолокнистое хлопковое волокно со следующими показателями:

- линейная плотность – 0,16 – 0,17 текс;
- удельная разрывная нагрузка – 25-29 сН/текс;
- разрывное удлинение – 5 – 7 %.

Из вышеуказанных волокон готовились смески определенных составов, которые перерабатывались по известной технологии в пряжу с необходимыми параметрами. Исследовалась пряжа линейной плотности 50 текс, состоящая из 40 % ЭПВН (электропроводящее волокно нитрон) и 60 % хлопка.

Витебский государственный технологический университет

В работе [25] авторы считают, что способ получения электропроводящих нитей с помощью гальванотехники заключается в том, что сердечник из полиамидных нитей (комплексных, мононитей) покрывают металлической оболочкой, поверх которой нить оплетается неметаллическими нитями. Для нанесения металлической оболочки на сердечник нити используются методы гальванотехники. Нить с ядром и оболочкой может применяться в процессе изготовления изделий, используемых для защиты от электромагнитного излучения. Однако недостатком этого способа является его большая трудоемкость и дороговизна.

В Японии было разработано устройство для получения электропроводящих нитей. Оно позволяет получать нити, обладающие высокой белизной и высокой электропроводностью. Их электрическое поверхностное сопротивление не превышает 100 Ом, а в предпочтительном варианте – 0,1 Ом. В качестве исходных могут использоваться полиэфирные, полиамидные, акрило-нитрильные и другие нити. Их электропроводность достигается за счет нанесения на их поверхность металлического покрытия толщиной 0,2–1,0 мкм. Покрытие может формироваться из разных металлов, но предпочтение отдается серебру. Устройство для нанесения покрытия содержит камеру 6 (рисунок 1.15), соединенную с резервуаром 8 для обрабатывающего раствора, подающим 1 и отводящим 7 патрубками.

По оси камеры 6 установлен перфорированный сердечник 3, на который устанавливаются паковки 4 с исходными нитями. Сверху камера 6 закрывается крышкой 5, а сердечник имеет в верхней части заглушку. Обрабатывающий раствор подается через патрубок 1 из резервуара 8 в камеру 6 насосом 2. Раствор поступает в сердечник и через его перфорацию пронизывает паковки 4 с нитями, в результате чего на нитях формируется металлическое покрытие. Через патрубок 7 из нижней и верхней частей камеры 6 раствор отводится в резервуар 8. Благодаря этому обеспечивается циркуляция раствора [26].

Витебский государственный технологический университет

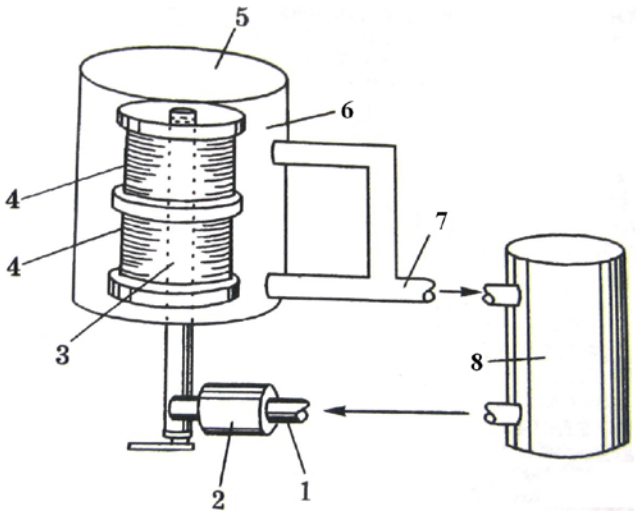


Рисунок 1.15 – Устройство для получения электропроводных нитей

В результате анализа данного способа получения электропроводящих нитей и пряжи сделан вывод, что для внедрения в производство такого оборудования требуются большие материальные затраты, высокие энергозатраты при небольшой производительности и сравнительно малой выходной паковке готовых нитей.

В компании Syscom Technology по заказу NASA разработана электропроводящая нить, которая формируется путем переплетения множества полимерных волокон, имеющих металлическое покрытие. Таким способом можно получить прочные нити, обладающие электропроводностью меньшей, чем у меди, но достаточной, чтобы передать ток практически любой силы. Кроме того, электропроводная нить обходится дешевле в изготовлении, чем металлические проводники. Легкость и гибкость такой нити делают ее пригодной для применения в материалах скафандров для космонавтов, а на Земле ее использование возможно в одежде со встроенной электроникой и в электроодеялах [27].

Для получения электропроводной нити предлагается эластичный сердечник оплетать металлической нитью диаметром 0,01 – 0,1 мм. Для предотвращения потери электропроводности растяжение электропроводящей нити ограничивается оплетающей металлической нитью. Вместо металлической нити могут быть использованы покрытые металлом синтетические нити. Возможно оплетение эластичного сердечника двумя нитями в двух противоположных направлениях. По мнению авторов [28], данный способ является низкопроизводительным из-за низких скоростей рабочих органов.

Фирма Nihon Sanmo (Япония) разработала нить Thuderon, использование которой позволит решить проблемы, связанные со статистическим электричеством [32]. Эту органическую

Витебский государственный технологический университет

электропроводящую нить изготавливают из сульфида меди, а затем химически соединяют с акриловой или нейлоновой нитью. Нить обладает стойкостью к истиранию, имеет тонкую структуру и высокую электропроводность, а также антимикробный эффект ионов меди.

В данном способе требуется дорогостоящий процесс – химическое соединение, что значительно увеличивает цену получаемой нити.

Для получения электропроводящих нитей с хорошей проводимостью проведено исследование условий формования нитей из нейлона-12 с наполнителем из углеродной сажи. Отмечается, что эти нити имели высокую электропроводность, которая слабо зависела от условий, в которых они использовались. Формование нитей проводилось с использованием фильеры, оснащенной охлаждающей или нагревательной камерой. При этом использовалась ацетиленовая сажа. Отмечается, что полученные нити сохраняют удельное сопротивление практически неизменным независимо от изменений относительной влажности окружающей среды. Это позволяет считать, что они обладают стабильной электропроводностью [33].

В данном способе требуется дорогостоящий процесс – формование с добавлением электропроводного наполнителя, что значительно увеличивает цену получаемой нити.

1.4 Области применения электропроводящих нитей

1.4.1 Применение электропроводящих нитей в тканях специального назначения

Значительную часть жизни человек проводит на работе. Независимо от того, каким видом деятельности он занят и насколько опасно производство, на работника в той или иной степени влияют множество неблагоприятных внешних факторов: метеорологических, механических, химических, физических, биологических. Поэтому одежда специального назначения играет первостепенную роль. Спецодежда должна обеспечивать безопасность труда, предохранять от воздействия вредных факторов, сохранять нормальное функциональное состояние человека, его работоспособность в течение всего рабочего времени. Другими словами, от того, насколько успешно решается вопрос снабжения персонала необходимой спецодеждой и другими средствами индивидуальной защиты, зависит многое, в том числе и самое ценное – жизнь и здоровье людей. В последнее время интенсивно развивается отрасль, связанная с созданием средств индивидуальной и коллективной защиты. В частности, появилось множество мелких и крупных компаний, предлагающих услуги по изготовлению разного рода одежды специального назначения. Однако их продукция не всегда отвечает принятым стандартам безопасности и качества. Прежде всего

Витебский государственный технологический университет

отметим, что основным отличием современной специальной одежды является обеспечение не 3 – 5, а более 10 защитных свойств. Это сложные комплектные изделия, предназначенные для эксплуатации во всех климатических зонах стран СНГ и ближнего зарубежья, в сезонных условиях с температурными режимами от 60 градусов мороза до 50 градусов тепла, защищающие от воздействия солнечных лучей и морской воды, различных агрессивных факторов в условиях промышленных производств и ликвидации последствий техногенных катастроф. Для каждого рода деятельности существует особая форма спецодежды. Степень сложности ее исполнения, наличие тех или иных составляющих зависят от многого: уровня риска, связанного с производством (основной негативный фактор), климатической зоны, времени года и т. д. А ведь качественная, подобранная с учетом производственных особенностей ткань не только увеличивает срок эксплуатации одежды и сохраняет на долгое время ее внешний вид, но в некоторых случаях просто необходима для обеспечения безопасности в условиях особо опасных технологических процессов. В настоящее время все большую популярность приобретает спецодежда, изготовленная из смесовых тканей [34, 35].

Склонность химических волокон к электростатическому заряжению существенно ухудшает эксплуатационные свойства одежды: при носке наблюдается «прилипание», потеря формы, повышенное всасывание пыли из окружающей среды и, что особенно неприятно, чувствительные электрические удары, треск, искрение.

Все химические волокна являются диэлектриками, которые в процессе переработки и носки, соприкасаясь с различными материалами, в нашем случае с телом человека, электризуются.

Длительное действие статического электричества отрицательно влияет на организм человека, вызывая ряд биологических изменений: чувство подавленности, страха, аллергию, бронхиальную астму и бронхит, отек ног, боли в сердце, варикозное расширение вен и т. д.

Данная проблема решается путем введения в ткани или трикотажные полотна электропроводящих нитей, нейтрализующих статическое электричество.

В литературном источнике [36] сообщается, что ОАО «Моготекс» использует преимущества хлопкового и полиэфирного сырья в сочетании с конструктивными особенностями ткани. Нити в основе придают ткани высокие физико-механические свойства, а хлопок – комфорт.

Высокотехнологичные ткани для специальной и форменной одежды входят в систему приоритетов компании «Моготекс». Последними разработками компании являются ткани антистатические «Грета-М», «Диорит-М» и «Полет-М», разработанные по заказу российских нефтяных и газовых компаний. Это смесовые ткани,

Витебский государственный технологический университет

содержащие электропроводящие нити, предохраняющие от накопления статического электричества и способствующие снижению риска возникновения искры и возгорания. Ткани с антистатическими свойствами используются для изготовления специальной одежды работников буровых, нефте- и газодобывающих и перерабатывающих компаний, а также других производств. Ткани этой группы, разработанные по нормативным документам, прошли экспертизу и сертификацию на основании требований компаний топливно-энергетического комплекса и рекомендованы для изготовления спецодежды, работающих во взрывопожароопасных условиях. Однако были выяснены некоторые недостатки данных тканей. Во-первых, электропроводящие нити в этих тканях имеют низкое разрывное удлинение (3 – 4%), при разрыве стального компонента в структуре нити ткань начинает колоться. Во-вторых, уровень удельного поверхностного электрического сопротивления (10^7 Ом) тканей с трудом попадает в рамки допустимых пределов, установленных нефте- и газодобывающими и перерабатывающими компаниями.

Ткань, обладающая электропроводностью и антистатическими свойствами, предназначена для изготовления пыленепроницаемой одежды. Основа и уток такой ткани содержат электропроводящие нити, расположенные с интервалами одна от другой, в качестве этих нитей используются синтетические нити, содержащие бикомпонентные электропроводящие элементарные нити, доля которых составляет 20 – 70 %. Электропроводящие нити содержат углерод. Их электрическое сопротивление составляет 10^6 Ом·см [37].

В литературе [38] описывается ткань, которая содержит большое количество электропроводящих (металлических) нитей, что увеличивает функциональные возможности использования ее для изготовления предметов одежды и других изделий. Электропроводящие нити в ткани не пересекаются и не имеют точек контактов, в результате чего формируется сетчатая система. Находящиеся в ткани электропроводящие нити могут соединяться с портативными электронными устройствами или с отдельными компонентами таких устройств. При этом появляется возможность внедрения в ткань таких электронных компонентов, как полупроводниковые интегральные схемы, источники питания, микрофоны и другие устройства.

Кроме того, использование токопроводящих нитей способствовало созданию так называемой «электронной куртки». Гигант полупроводниковой индустрии Infineon создал электронную куртку Rehnre, в которую встроен MP3-плеер с Bluetooth и клавиатурой на левом рукаве. Специальная электропроводящая ткань соединяет текстильную клавиатуру на рукаве с наушниками и микрофоном,

Витебский государственный технологический университет

встроенным в воротник. Внутри куртки спрятан модуль памяти объемом 128 МБ, модуль Bluetooth для подключения к мобильному телефону и аккумулятор на 8 часов работы. Когда владелец хочет позвонить, стереосистема выключает музыку. А когда умная куртка загрязнится, ее можно постирать, только не забыть при этом вытащить все ее содержимое.

В Индии рассмотрены различные способы получения электропроводных тканей, служащих для защиты от электромагнитного излучения, в частности, для защиты снарядов и ракет. Для получения электропроводных тканей используют в качестве компонента пряжи электропроводное волокно, полученное из электропроводных полимеров (полианилины, полипирролы) или полученные осаждением металлических частиц на волокно, обработкой волокна $FeCI_3$ или окислением. Приведено описание рабочих процессов получения электропроводных тканей [39].

В НИИ текстильной промышленности в г. Лодзь (Польша) разработана технология электропроводящих волокон. Выработанные из этих волокон тканые материалы различаются не только технологией, но и электрическими свойствами. Измерение эффективности электрозащитных свойств этих материалов показало возможность их использования в качестве электромагнитных экранов. Сообщается об их применении в физиотерапии, где используется коротковолновая и микроволновая диатермия [40].

Итальянскими учеными разработана специальная ткань, изготовленная из пряжи, например хлопчатобумажной, соединенной со специально электролитически обработанной медной проволокой. Эта ткань имеет приятный внешний вид и генерирует эффекты при использовании в различных изделиях (обувные стельки, прокладки в одежде и т. д.); что чрезвычайно полезно для здоровья, так как эта ткань обладает антистатичностью, способностью регулирования температуры, антистрессовыми и другими свойствами. Использование медной проволоки позволяет отводить заряды статического электричества, возникающие при трении, а также предупреждает или ограничивает рост грибков и микроорганизмов в обуви, что уменьшает выделение запаха [41].

По данным литературного источника [42], для изготовления электропроводного текстильного материала сформированная из натуральных волокон пряжа обматывается металлической проволокой диаметром 0,035–0,08 мм с размещением на 1 см пряжи 3 – 64 витков проволоки. Из такой пряжи на ткацком станке вырабатывают ткань, которую покрывают шерстяными волокнами. Полученный текстильный материал используют в низкочастотной терапии и в теплозащитной одежде. Регулирование температуры нагревания текстильного

Витебский государственный технологический университет

материала в изделии осуществляют с помощью подключённого к материалу прибора с пультом управления.

Фирма Payen SA предлагает упругую нить, из которой изготовляется упругая ткань, предназначенная, главным образом, для изготовления одежды и обмундирования. Нить состоит из упругого сердечника на основе эластана, на который намотана нить из синтетического полимера, имеющая металлическое покрытие. Такая нить может прорабатываться в ткань, которая приобретает при этом электрические свойства в функции растяжения. Ткань с такой нитью может также использоваться в качестве датчика деформации [43].

По данным литературных источников [44 – 48] в Китае ведутся работы по изучению и созданию новых способов формирования электропроводящих нитей, пряжи и текстильных материалов специального назначения на их основе.

Немецкая фирма "Kufner" создала экранирующий материал, способный отражать электромагнитные излучения некоторых диапазонов [49]. Одним из недостатков данного материала является его стоимость, (1 м. п. материала "Kufner" стоит около 60 у. е.).

Российская фирма "Метакрон®" занимается разработкой и внедрением изделий на основе металлизированных тканей, которые подвергались испытаниям на экранирование. Измерения в диапазоне частот 1÷1250 МГц провод ились на лабораторном стенде на базе измерителя комплексных коэффициентов передачи Р4-37/1, сопряженного с системой регистрации и обработки сигнала [50]. Измерения проведены в измерительной коаксиальной ячейке с образцом сечением 16/7 мм.

Удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей "МЕТАКРОН" составляет от 10^{-2} до 10^{-6} Ом.

Коэффициент пропускания наиболее низок (соответственно, коэффициент экранирования наиболее высок) для ткани с Ni-покрытием 10 мкм, а также для образцов ткани с более высокой плотностью. Все образцы показали низкие коэффициенты пропускания ЭМИ в метровом, дециметровом диапазонах длин волн (в частотном диапазоне 1 МГц – 1,25 ГГц) и могут быть использованы в качестве эффективных средств экранирования ЭМИ в данных диапазонах.

Костюм «Экран-2Б», изготовленный из этих тканей, предназначен для защиты от электромагнитного излучения в широком интервале частот (от 10 кГц до 10 ГГц).

Костюм состоит из комбинезона, капюшона с пелериной, щитка с головным креплением, перчаток с крагами и носков. Передняя часть комбинезона имеет усиленную защиту.

Изготавливается из хлопкополиэфирной ткани с включением армированных токопроводящих нитей, обладающих также

Витебский государственный технологический университет

антистатическими свойствами. Ткань подкладки – 100 % хлопчатобумажная.

По мнению исследователей [51], области применения таких тканей – авиационная промышленность, машиностроение, радиолокационные станции, а также медицинские учреждения. Недостатками данной ткани являются её большая стоимость по сравнению с существующими аналогами и ее большая масса при относительно небольшой плотности переплетения.

В литературном источнике [52] сообщается о нити, которая содержит сердечник и оболочку с положительным температурным коэффициентом сопротивления. Поверх оболочки располагается изоляционный слой. Сердечник нити формируется из синтетических нитей (полиэфирных, нейлоновых, акриловых, вискозных и т. д.), обладающих достаточными разрывными характеристиками и эластичностью. Оболочка нити сформирована из материала, электрическое сопротивление которого увеличивается с повышением температуры. В оболочке используются отдельные электропроводящие элементы, распределенные в матрице из слабопроводящего материла, обладающего способностью расширяться при нагревании. Электропроводящие элементы могут иметь форму сфер, хлопьев или волокон из углерода, графита, золота, серебра, меди. Диаметр сфер может составлять 10-100 мкм. Матрица имеет более высокий коэффициент расширения, чем электропроводящие элементы. Разъединение электропроводящих элементов повышает электрическое сопротивление оболочки. Материалом матрицы может служить полиэтилен, полиолефины и полимерные материалы. Изолирующий слой нити формируется из термопластичного или термореактивного полимера.

Предлагается нить, которая состоит из сердечника, содержащего одну комплексную нить из синтетического органического материала и одну электропроводную элементарную нить из термопластичного материала. При этом одна комплексная нить и одна электропроводная элементарная нить скручены с сердечником. К сердечнику клеящим веществом присоединена оболочка из термопластичного материала [53].

В лаборатории «Композиционные материалы» Костромского государственного технологического университета ведутся работы по созданию трикотажной армирующей основы для композиционных материалов специального назначения. Предложено получать материал такой структуры из ранее сформированной многокомпонентной комбинированной нити. Особенностью технологии является то, что совместной переработке подлежат взаимоисключающие материалы: хрупкая термостойкая нить и жесткая вольфрамовая проволока. Вследствие этого одной из основных задач является оптимизация структуры нити с целью повышения ее технологических и физико-

Витебский государственный технологический университет

механических показателей. Комбинированная нить состоит из комплексной углеродной нити и нескольких металлических мононитей. Стренги между собой не скручены и оплетаются хлопчатобумажной пряжей или комплексной углеродной нитью. Основной целью оплетки является обеспечение взаимодействия углеродной и металлической стренг вдоль оси комбинированной нити [54].

Для защиты от статического электричества компания «Чайковский текстиль» производит ткани со встроенными антиэлектростатическими нитями, образующими замкнутый контур, по которому возможно стекание заряда.

Компания «Чайковский текстиль» обладает эксклюзивным правом на использование волокон Bekitex в России. В ткани, содержащей эту пряжу, нет остаточного заряда: она гарантирует немедленный разряд в условиях заземления (рисунок 1.16).

Рисунок 1.16 – Ткань с антиэлектростатическими нитями

Благодаря особой технологии встраивания антистатической пряжи ткань обладает рядом важнейших преимуществ:

-способность выдерживать удельное электрическое сопротивление $10^4 – 10^5$ Ом;

-сохранение антиэлектростатических свойств в течение 200 стирок;

-привлекательный внешний вид: антистатические нити практически незаметны;

-наличие антиэлектростатических свойств без увеличения массы ткани;

-повышенные прочностные характеристики;

-возможность нанесения дополнительных защитных отделок в зависимости от потребностей каждой отрасли

Витебский государственный технологический университет

1.4.2 Применение электропроводящих нитей в трикотажных изделиях

В лаборатории композиционных материалов КГТУ совместно с ОКБ «Союз» (г. Казань) и ГНТЦ «ВИАМ» (г. Москва) ведутся работы по созданию термостойких и эрозионностойких композиционных материалов. КГТУ занимается разработкой структуры и технологии текстильного армирующего элемента для указанных материалов. В частности, в университете разработана технология трикотажной армирующей основы из предварительно сформированной многокомпонентной комбинированной нити. Комбинированная нить состоит из трощеных термостойких нитей (углерод) и тугоплавкой проволоки (вольфрам), обкрученных хлопчатобумажной пряжей. Хлопковое волокно в структуре трикотажа увеличивает адгезию к связующему при пропитке. Превышение доли его содержания в армирующей основе влияет на её термостойкость и может привести к образованию пустот при выгорании хлопкового волокна в процессе формирования композита. Доказана возможность использования в качестве обкруточного компонента термостойких углеродных нитей [55].

В Московском государственном текстильном университете им. А.Н. Косыгина разрабатываются и изготавливаются металлические трикотажные сетеполотна из металлических комплексных нитей и мононитей различного состава и диаметров в диапазоне от 11 до 70 мкм [56]. В качестве материала для них используются сталь, вольфрам, молибден и др. Размеры ячеек в таком трикотаже можно менять от 0,2 до 40 мм и более. Форма ячеек может быть в виде различных геометрических фигур: квадрата, ромба, многоугольника. Разработанный металлический трикотаж используется в качестве отражающих поверхностей космических самораскрывающихся антенн. Разработанные для этих целей металлические сетеполотна имеют высокую степень изотропности радиоотражающих свойств, малую поверхностную плотность (30–180 г/м^2), обладают высокой эластичностью при растяжении и изгибе.

1.4.3 Использование электропроводящих волокон и нитей в производстве нетканых материалов

Электропроводящие полистиролонитрильные и полиэфирные волокна, применяемые в нетканых материалах для фильтрации, разработаны в Польском текстильном институте (г. Лодзь) [57]. Установлено, что содержание 1 % полистиролонитрильных волокон линейной плотности 0,33 текс длинной 60 мм с удельным сопротивлением 1,8 Ом см является минимальным, обеспечивающим

Витебский государственный технологический университет

безопасный уровень сопротивления материла. Процессы смешивания и чесания влияют на разброс значений удельного сопротивления материалов. При введении электропроводящих полиэфирных волокон в количестве до 20 % от массы материала достигается снижение удельного сопротивления до взрывобезопасного уровня как в объемных, так и в плотных (иглопробивных) материалах при значительно меньших затратах, чем при использовании электропроводящих волокон.

В США предлагают материал, который получают путем смешивания металлических и неметаллических (например, синтетических волокон), переработки смеси в холст с применением чесания и, возможно, аэродинамического холстоформирования и иглопробивной обработки холста для перепутывания волокон и получения комбинированного материала. Металлические волокна имеют средний диаметр от 40 до 80 мкм, шероховатую поверхность и поперечное сечение неправильной формы, меняющееся по длине волокна. Содержание металлических волокон в материале составляет от 75 до 95 %. Получаемый материал может использоваться в качестве напольных покрытий [57].

В Энгельсском технологическом институте Саратовского государственного технологического университета разработана конструкция электронагревательных устройств на основе углеродных волокон.

Так как углеродные волокна обладают полупроводниковыми свойствами с широким диапазоном электрофизических характеристик, то на их основе можно получать электропроводящие композиционные нагревательные элементы различного функционального назначения (обогреваемая одежда; бытовые нагревательные приборы: грелки, электропледы, электроодеяла; в технике – для предотвращения обледенения морских судов, обогрева аккумуляторов, в авиастроении и космической технике). Разработаны различные конструкции нагревателей «нового времени», удовлетворяющие основным техническим требованиям.

Обобщая опыт разработки и производства новых видов нагревателей, институт предлагает электронагревательное устройство (рисунок 1.17) широкого диапазона применения, которое позволит повысить рабочую поверхность обогрева и тепловую мощность, снизить электрические потери в зоне контакта углеродного волокна и токоподводящей цепи. Устройство содержит два слоя электроизоляционного основания 1, между которыми располагается электропроводящий резистивный слой на основе непрерывных однонаправленных УВ, и электрически связанные с ним токоподводы, расположенные с двух сторон по краям резистивного слоя. На входные токоподводы 4 устройства подается напряжение питания, которое через гибкие токоподводящие цепи 2, выполненные из мягкой меди,

Витебский государственный технологический университет

распределяется на секции резистивной цепи 3. Возникающий электрический ток приводит к разогреву резистивных секций.

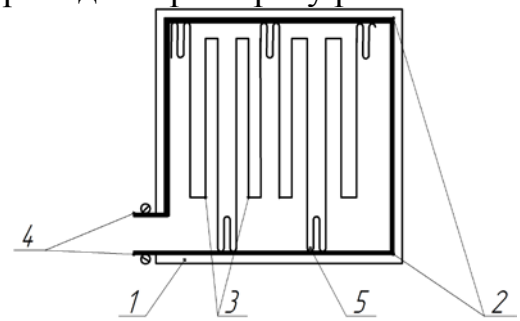


Рисунок 1.17 – Схема электронагревательного устройства:

1 – электроизоляционное основание; 2 – гибкая токоподводящая цепь; 3 – секция резистивной цепи; 4 – входные токоподводы; 5 – металлизированные участки резистивной цепи

Для уменьшения переходного сопротивления в зоне контакта УВ и гибкой токоподводяшей цепи концы секций 5 резистивной цепи металлизированы медью. Электропроводящий резистивный слой выполнен в виде зигзагообразных секций резистивной цепи 3 из УВ линейной плотностью 360 текс, длиной 7 – 8 м. Мощность электронагревательного устройства регулируется изменением числа секций резистивной цепи на основе углеродных волокон, т. е. пропорциональна числу этих секций.

Так как углеродные волокна обладают низкой изгибоустойчивостью, то применение их для гибких электронагревательных устройств возможно при пропитке специальными составами, повышающими эксплуатационные характеристики таких устройств. Поэтому углеродные волокна, используемые в качестве нагревательных элементов, пропитывали композициями, содержащими силиконовый герметик и клей на основе метилметакрилата. Компоненты смешивали в различном соотношении: 25 % силиконового герметика и 75% клея на основе метилметакрилата (1/3); 50 % герметика и 50 % клея (1/1); 75 % герметика и 25 % клея (3/1). В зависимости от соотношений компонентов в пропиточной смеси свойства электронагревательных устройств различны [58, 59].

По данным литературных источников [60, 61] применяемые сегодня пассивные способы защиты от холода действуют ограниченное время, так как с их помощью не греют, а лишь помогают сохранять собственное тепло человеческого тела. Поэтому во всем мире ученые уделяют особое внимание разработке активных способов термозащиты и, в частности, химических и электрических. По мнению специалистов ИМАШа, будущее принадлежит именно электрическим способам: химический обогрев практически неуправляем, а при электрическом – можно с легкостью регулировать как его продолжительность, так и

Витебский государственный технологический университет

температуру. Разработанные в институте электрорукавицы отличаются от обыкновенных слоем специальной ткани, прошитой нагревающимися электропроводящими нитями.

Перчатки сделаны таким образом, чтобы при разрыве нескольких нитей остальные могли обеспечить их бесперебойную работу. С помощью проводков рукавицы соединяются с небольшим аккумулятором, а тот, в свою очередь, — с пультом управления. Помимо основной функции (включение/выключение) пульт позволяет следить за заряженностью источника питания. Аккумулятор и пульт управления миниатюрны и легко умещаются в кармане.

Анализ работ по изучению различных технологий как комбинированных, так и электропроводящих нитей с различными свойствами и различного назначения показал, что данный вопрос освещен недостаточно. Предприятия текстильной промышленности Республики Беларусь оснащены разнообразным прядильно-крутильным оборудованием, которое можно использовать для получения новых видов комбинированных нитей и пряжи, в том числе и электропроводящих нитей разнообразных составов. Поэтому вопрос разработки технологий многокомпонентных комбинированных электропроводящих нитей подлежит дальнейшему изучению.

2 ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ НИТЕЙ

2.1 Характеристика используемого сырья

Развитие современных технологий, способов и оборудования для текстильного производства ставит перед отечественными производителями задачу обеспечения рынка сбыта продукции при сильной конкуренции зарубежных товаров. Для этого необходимо постоянно поддерживать высокий уровень качества изделий, проводить работу по снижению себестоимости продукции, разработки нового ассортимента текстильных изделий и использование имеющегося на предприятиях оборудования.

Сырье для производства комбинированных электропроводящих нитей выбирается с учетом их назначения и свойств изделий, вырабатываемых из них. Свойства исходного сырья определяют устойчивость технологического процесса, который характеризуется уровнем обрывности на крутильном оборудовании. Правильный выбор сырья имеет не только технологическое, но и экономическое значение, так как в себестоимости нитей стоимость сырья составляет более 70 %.

По требованию текстильных предприятий, выпускающих ткани специального назначения, для производства были выбраны средние линейные плотности комбинированных электропроводящих нитей

Витебский государственный технологический университет

ввиду того, что именно с такими характеристиками возможно достичь необходимых физико-механических и эксплуатационных свойств текстильных изделий. Установлено, что для того, чтобы комбинированные нити имели постоянную линейную плотность 55 текс, в качестве компонентов необходимо выбрать комплексные полиэфирные химические нити линейных плотностей 5,2 и 29,4 текс, полиамидные – 5,0 и 29,5 текс и медную микропроволоку с диаметром поперечного сечения 0,05 мм [1–А, с. 79].

2.1.1 Физико-механические и электрические свойства комплексных полиэфирных и полиамидных химических нитей

Полиэфирные комплексные нити обладают совокупностью ценных свойств: высоким начальным модулем упругости; хорошими эластическими свойствами, в том числе и в мокром состоянии, что определяет высокую несминаемость изделий.

Полиэфирную нить получают на основе терефталевой кислоты и этиленгликоля по непрерывному способу. Она обладает высокой стойкостью к свету, к действию некоторых кислот и окислителей, бактерий и микроорганизмов; высокой прочностью; высокой устойчивостью к пониженной и повышенной температуре (допустимые пределы рабочих температур от – 70 до + 175 °С).

К недостаткам полиэфирной комплексной нити относятся: высокая гидрофобность, повышенная загрязняемость изделий; склонность к образованию пиллинга; увеличение степени кристаллизации волокна, что вызывает его старение, сопровождающееся уменьшением устойчивости волокна к многократным деформациям [62].

Физико-химические свойства комплексных полиэфирных нитей представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1– Физико-химические свойства комплексных полиэфирных нитей линейных плотностей 5 – 50 текс

Показатель	Значение
Плотность, г/см^3	1,38
Потеря прочности в мокром состоянии, %	0
Сохранение разрывной нагрузки при разрыве, % петлей узлом	80 – 89 97 – 100
Стойкость к истиранию,	97
- к многократному изгибу, тыс. циклов	110 и более

Витебский государственный технологический университет

Продолжение таблицы 2.1

Усадка при кипячении, %	1 – 2
Белизна, %	76 – 81
Влажность, %	0,4 – 0,6
Температура размягчения, °С	235
Температура плавления или разрушения, °С	255
Стойкость к химическим растворам	Стойкие к кислотам и щелочам

Физико-механические свойства комплексных полиэфирных нитей, используемых в разработанной технологии, представлены в таблице 2.2.

Полиэфирные нити необходимых линейных плотностей поставляются отечественными производителями (ОАО «Могилевское химволокно» и РУП «Светлогорское ПО «Химволокно») на бобинах различных структур.

Таблица 2.2 – Физико-механические показатели комплексных полиэфирных нитей (ТУ РБ 00204079104–98)

Наименование показателей	Значение	
Линейная плотность, текс	29,4	5,2
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	53,0	28,0
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	3,3	2,1
Удлинение при разрыве, %	14,0	21,0
Коэффициент вариации по удлинению, %	6,8	7,0

Исходным сырьем для получения полиамидной нити служит лактам аминокапроновой кислоты – капролактам. Полиамидная нить характеризуется регулярным строением макромолекул с закономерным чередованием в них различных атомных групп. Поверхность нити гладкая. Существенные недостатки полиамидной нити: низкий модуль упругости, высокая электризуемость, плохая теплопроводность, недостаточная термостойкость.

Свойства элементарной полиамидной нити представлены в таблице 2.3 [62].

Витебский государственный технологический университет

Таблица 2.3 – Физико-химические свойства комплексных полиамидных нитей

Показатель	Значение
Плотность, г/см^3	1,14
Потеря прочности в мокром состоянии, %	10 – 12
Сохранение разрывной нагрузки при разрыве, % петлей	70 – 90
узлом	93 – 100
Стойкость к истиранию, тыс. циклов	1000
к многократному изгибу	До 100
Усадка при кипячении, %	4
Белизна, %	70
Растворимость в 10%-м растворе щелочи, %	–
Влажность, %	2,5 – 4,8
Температура размягчения, °С	170
Температура плавления или разрушения, °С	215
Стойкость к химическим растворам	Стойкие к щелочам и слабым кислотам

Легкость, упругость, исключительно высокая прочность и износостойкость полиамидных нитей способствуют их широкому применению. Полиамидные нити не разрушаются микроорганизмами и плесенью, не растворяются органическими растворителями, применяемыми для химической чистки, стойки к действию щелочей любой концентрации. Полиамидные нити растворяются только в концентрированных минеральных кислотах, в муравьиной (50 %) и концентрированной уксусной кислоте, а также в феноле. При температуре 170 °С полиамид размягчается, а при 210 °С плавится. При внесении в пламя капрон плавится, загорается с трудом, горит голубоватым пламенем. Если расправленная масса начинает капать, горение прекращается, на конце образуется оплавленный бурый шарик.

Полиамидные нити обладают способностью удерживать мельчайшие частицы грязи, по стойкости к изгибу и истиранию превосходят натуральные и химические волокна всех видов [63]. Физико-механические свойства комплексных полиамидных нитей, используемые в разработанной технологии, представлены в таблице 2.4.

Витебский государственный технологический университет

Таблица 2.4 – Физико-механические свойства комплексных полиамидных нитей (ГОСТ 15897–97)

Наименование показателей	Значение	
Линейная плотность, текс	29,5	5
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	58,0	24,0
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	5,0	2,0
Удлинение при разрыве, %	15,0	16,0
Коэффициент вариации по удлинению, %	6,4	7,0
Усадка нити, %	1,7	1,4

Полиамидные нити необходимых линейных плотностей поставляются отечественным производителем ОАО «Гроднохимволокно».

При производстве комбинированных электропроводящих нитей необходимо создать прочную компактную структуру нити, у котрой будут сохранены электрические и физико-механические свойства. С этой целью в качестве стержневого компонента используется комплексная химическая нить большой линейной плотности, закрепительный компонент – комплексная химическая нить малой линейной плотности, а медная микропроволока, совмесно скрученная с двумя указанными комплексными нитями, обеспечивает электрические свойства текстильных материалов.

2.1.2 Физико-механические свойства нитронового волокна

Нитроновое волокно используется как составной компонент ворсовой пряжи, волокно производится на предприятии ПО «Полимир» (г. Новополоцк) линейной плотности 0,33 и 0,56 текс, длиной штапеля волокна 64, 65 мм, выпускаемое по техническим условиям республики Беларусь ТУ РБ 300041455.027–2002 «Волокно и жгут полиакрилонитрильные. Нитрон-С» и по ТУ РБ 6-06-С230–87 «Волокно и жгут полиакрилонитрильные. Нитрон-Д».

Нитроновое волокно вырабатывают из полиакрилонитрила. Полиакрилонитрил получают на предприятиях химической промышленности полимеризацией акрилонитрила CH_2=CHCN в присутствии ускорителей реакции (катализаторов). Акрилонитрил получают синтезом из очень доступного и дешевого сырья этилена или ацетилена и синильной кислоты. До последнего времени полиакрилонитрильное волокно (нитрон, орлон и др.) формовали из одного полиакрилонитрила.

Витебский государственный технологический университет

Для формования полиакрилонитрильного волокна не так давно стали использовать не однородный полимерный материал, а материал, состоящий из двух полимеров, разнородных по свойствам. Два разных по свойствам полимера (один – с высокой упругостью, а другой – с малой) в виде прядильных растворов одновременно подаются при формовании волокна на фильеры. В результате такого формования получается волокно, поперечник которого состоит как бы из двух соединенных друг с другом половинок, обладающих разными свойствами. К волокнам такого типа относится волокно экслан, обладающее высокой упругостью и эластичностью, способностью быстро восстанавливать форму, по внешнему виду и по многим свойствам напоминающее шерсть.

Формование полиакрилонитрильного волокна производится из раствора. В качестве растворителя применяют диметилформамид. Раствор полиакрилонитрила в диметилформамиде продавливают через фильеры. В дальнейшем свежесформированное волокно проходит отделочные операции, подготавливающие его к текстильной переработке. В производстве нитронового штапельного волокна или нитей такими операциями являются промывка для удаления растворителя, отбелка для удаления желтого оттенка волокна, вытягивание волокна, придание ему извитости, сушка и термофиксация, а также крутка и перемотка на бобины. В основном нитрон выпускается в виде штапельного волокна. Для штапельного нитронового волокна формование (прядение), вытяжка, отделка, сушка, термофиксация, гофрирование и резка ведутся в одном прядильно-отделочном агрегате. Наиболее важными отделочными операциями для нитронового волокна, в процессе которых оно приобретает свои характерные свойства, являются также вытяжка и термофиксация.

В процессе вытяжки макромолекулы термопластичных волокон скользят вдоль оси волокна в продольном направлении и одновременно укладываются равномерно по длине и по сечению волокна. Благодаря этому улучшаются эластические свойства волокна, увеличиваются разрывная прочность, прочность на истирание и другие физико-механические свойства. Однако для любого волокна существует оптимальная степень вытягивания, выше которой его физико-механические свойства ухудшаются. Так, для капронового волокна оптимальное вытягивание при комнатной температуре равно четырехкратной первоначальной длине, при повышенной температуре – пятикратной, а для нитрона-соответственно 7-12–кратной. Вытянутое нитроновое волокно, как и все термопластичные волокна, изменяет свои свойства (происходит усадка) при повышении температуры (при крашении, обработке в горячей воде). Для ликвидации этого недостатка (усадки) нитрон и другие синтетические волокна после вытяжки подвергают термофиксации. При термофиксации волокно нагревают до

Витебский государственный технологический университет

определенной температуры и выдерживают некоторое время, при этом для каждого синтетического волокна существуют свой верхний температурный предел и время обработки. В результате тепловой обработки отдельные звенья молекул сближаются, между ними образуются новые связи, волокно упрочняется и при дальнейшей переработке не изменяет своих свойств.

Нитроновое волокно обладает высокой прочностью, но она несколько ниже, чем у полиамидного и полиэфирного волокна. Достоинством нитрона является его малая плотность (1,17 г/см^3).

Разрывное удлинение нитрона 16–20 %. Волокно нитрон и его сополимеры обладают высоким начальным модулем упругости, т. е. хорошо сопротивляются при растяжении многократным нагрузкам, благодаря чему внешний вид изделий из этих волокон после смятия восстанавливается. При нормальной относительной влажности (65 %) волокно сорбирует из воздуха не более 1 % влаги. Волокно нитрон в мокром состоянии незначительно теряет свою прочность.

Следует отметить, что механические показатели волокна нитрон, а также его упругие свойства могут изменяться в широких пределах в зависимости от условий формования (вытяжки и термофиксации), поэтому из одного и того же прядильного раствора можно получить волокно с различными разрывными нагрузками (разрывной длиной от 20 до 45 км) и удлинением. Формование полиакрилонитрильных и других синтетических волокон с разной прочностью и удлинением зависит от их назначения. Так, для трикотажного производства получают волокно с меньшей прочностью, но с большим удлинением, для выработки тканей, наоборот, с большей прочностью, но меньшим удлинением и т. д.

Устойчивость полиакрилонитрильного волокна к истиранию значительно ниже (в 5–10 раз), чем полиэфирного и полиамидного, вследствие этого волокно нитрон не рекомендуется использовать для производства чулочно-носочных и других изделий.

Под воздействием света и атмосферных условий в течение года природные и химические волокна почти полностью теряют свою прочность, прочность же нитрона снижается только на 20 %.

Нитрон обладает хорошей устойчивостью к действию минеральных кислот, обычных органических растворителей, масел и растворов минеральных солей. Он устойчив к действию разбавленных щелочей, однако концентрированные растворы щелочи, особенно при нагревании, сравнительно легко его разрушают. Нитрон устойчив к длительному прогреву при температурах до 150 °С. Двухдневный прогрев волокна при этой температуре не снижает его прочности, однако при более высоких температурах ткани из волокна нитрон могут усаживаться. Требуемая температура глаженья таких тканей не выше 100 °С. При более высоких температурах может произойти пожелтение

Витебский государственный технологический университет

волокна. При не очень высокой температуре ткани из нитрона можно подвергать многократному глаженью, не опасаясь пожелтения. Изделия из нитрона обладают хорошей стабильностью формы и размеров при сухих и мокрых обработках. При сжигании волокно сначала плавится, затем вспыхивает и горит желтым пламенем с копотью. Полиакрилонитрильное волокно обладает довольно высокой морозостойкостью, хотя при температурах ниже минус 25–30 оно становится жестким и хрупким. Нитрон устойчив к действию плесени и гнилостных бактерий и не поедается насекомыми.

Волокна из полиакрилонитрила мягки и не раздражают кожу, мало сминаются, но полностью сохраняют складки и плиссе, полученные путем термообработки. Волокно имеет устойчивый завиток, не свойлачивается в смесках с шерстью и образует пиллинг в меньшей степени, что в смесях с другими синтетическими волокнами. Оно хорошо промывается водой и быстро сохнет, хорошо сохраняет тепло. Стирку изделий из этих тканей можно проводить многократно, при этом они не теряют первоначального вида. Ткани из нитрона не дают усадки.

Благодаря наличию указанных свойств нитрон можно использовать в рассматриваемой комбинированной электропроводящей ворсовой пряже.

2.1.3 Физико–механические свойства капронового волокна

Капроновое волокно линейной плотности 1 текс, длиной штапеля волокна 70 мм производства Щекинского ОАО «Химволокно» (г. Щекино, Тульской области) по ТУ 6–13–91–94 «Волокно полиамидное термостабилизированное для ковровой промышленности» и производства Гродненского ПО «Химволокно» по ТУ 6–13–5–99 «Волокно полиамидное штапельное для текстильной промышленности».

Исходными материалами для получения капронового волокна служат продукты перегонки каменноугольной смолы-фенол и бензол. Из указанных продуктов в результате химических реакций при определенных условиях получают аминокапроновую кислоту $NH_2(CH_2)_5COOH$, из которой образуется капролактам.

Капролактам в специальных расплавителях переходит в расплав при 95 °С. Прозрачный расплав под давлением чистого азота подают через фильтр в аппарат для полимеризации капролактама. Молекулы лактама при температуре 250 – 260 °С соединяются в длинные цепочки, образуя линейные полимеры из 100 – 150 звеньев лактама. Реакция полимеризации протекает в среде азота в течение 10 – 11 часов.

Получающийся в результате реакции полимеризации промежуточный продукт в виде ленты нарезают на кусочки длиной 7 –

Витебский государственный технологический университет

8 мм (крошку). Для удаления низкомолекулярных функций крошку промывают и затем высушивают. В таком виде крошка может быть использована для получения волокна, щетины и других изделий. Формуют волокна из крошки на прядильных машинах.

Прядильная машина для формования данного волокна состоит из двух частей: верхней и нижней. В верхней части находится бункер для полиамидной крошки и прядильная головка, включающая плавильную решетку, насосик и фильеру. В нижней части расположено приспособление для приема и намотки волокна. Полиамидная крошка, попадая из бункера на стиральную плавильную решетку, превращается при температуре 270 – 280° в жидкий расплав. Расплав самотеком попадает в насосик и далее в стальную фильеру, в которой имеются (в зависимости от числа элементарных) от 6 до 40 круглых отверстий диаметром 0,2 – 0,3 мм. Отверстия обычно располагаются по кругу. Струйки расплава, вытекая из отверстии, сразу же под фильерой охлаждаются и превращаются в нити. В отличие от искусственных волокон свежесформированное капроновое волокно не может быть непосредственно использовано как текстильное, так как при приложении сравнительно незначительной нагрузки оно вытягивается в несколько раз (4 – 5 раз). Поэтому после предварительной подкрутки капроновое волокно подвергается холодному вытягиванию на крутильно-вытяжных машинах. При холодном вытягивании волокна прочность его повышается, а разрывное удлинение уменьшается с 400 до 15 – 25 %. На крутильных машинах капроновые волокна проходят крутку, которая составляет от 100 до 1200 витков на метр (в зависимости от их назначения).

Капроновое волокно обладает комплексом важных свойств, что позволяет широко использовать их для изготовления разнообразных изделий. Волокно очень ценно своей высокой устойчивостью к истиранию и изгибу, прочностью на разрыв эластичностью и устойчивостью к многократным деформациям. Так, прочность на разрыв капронового волокна в 2-3 раза выше, чем у хлопка.

Гигроскопичность капроновых волокон невысокая. При относительной влажности воздуха 65 % эти волокна поглощают 3,5 – 4 % влаги.

Плотность (удельная масса) капроновых волокон значительно ниже, чем природных и искусственных, и составляет 1,14 г/см^3, поэтому изделия из капрона, имеющие определенную плотность и толщину нитей, будут по массе легче таких же изделий по плотности и толщине, но изготовленных из искусственных волокон.

Термостойкость капроновых волокон недостаточно высока. При температуре 140 °С прочность капронового волокна снижается на 60 – 70 %. При сжигании эти волокна не горят, а плавятся. Капроновые волокна имеют недостаточно высокую устойчивость к действию

Витебский ГОУ Государственный технологический университет

солнечного света и атмосферных влияний. Эти волокна характеризуются устойчивостью к большинству химических реагентов, в частности к щелочам. К концентрированным минеральным кислотам капроновые волокна неустойчивы, а в ледяной уксусной, муравьиной кислотах и водофенольных растворах растворяются.

Капроновые волокна округлые, гладкие, что обусловливает пониженную сцепляемость их с другими волокнами. Капроновое волокно может широко использоваться для выработки тканей различного назначения как в чистом виде, так и в сочетании с другими волокнами.

Также капрон используются для изготовления ковровых изделий, а также ворсовых тканей, имитирующих мех, в нашем случае в ворсовой пряже. Благодаря наличию указанных свойств капроновые волокна можно использовать в рассматриваемой комбинированной токопроводящей ворсовой пряже.

2.1.4 Физико-механические свойства шерстяных волокон

Шерстяное волокно, входящее в состав рассматриваемой комплексной токопроводящей ворсовой пряжи производится по государственным стандартам ГОСТ 26588–85 «Шерсть полугрубая и грубая неоднородная мытая сортированная», а также ГОСТ 30702–2000 «Шерсть. Торговая сельскохозяйственно-промышленная классификация», ГОСТ 15778–2000 «Шерсть сортированная мытая. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение». Плотность наиболее распространенных шерстяных волокон – 1,28...1,33 г/см^3.

Бывает несколько видов шерсти: тонкая шерсть состоит из пуховых волокон, имеющих тонину не более 25 мкм (не грубее 60-го качества). Ее получают от овец тонкорунных пород. Длина шерсти в штапеле 7 – 9 см. Выход чистого (мытого) волокна 45-50 % и более. Это ценное сырье для получения высококачественных шерстяных или смешанных изделий. Из 1 кг тонкой шерсти вырабатывают примерно в 3 раза больше ткани, чем из грубой. Тонкая шерсть по качественным показателям подразделяется на мериносовую и немериносовую. Мериносовая шерсть — белого цвета, мягкая, эластичная, хорошо уравненная по тонине и длине, содержит достаточное количество жиропота белого или кремового цвета.

Немериносовая шерсть от мериносовой отличается меньшим содержанием жиропота, недостаточной уравненностью шерстных волокон по тонине и длине, меньшей извитостью. Шерсть может быть белого, светло-серого цвета и цветная (серая, темно-серая, коричневая, черная).

Полутонкая шерсть состоит из волокон более грубых, чем тонкая шерсть, преимущественно из переходных или смеси переходных

Витебский государственный технологический университет

волокон и огрубленного пуха. Полутонкую шерсть получают от овец полутонкорунных пород (цигайской, куйбышевской, северокавказской, советской мясо-шерстной, горьковской, латвийской темноголовой и др.), а также от помесных животных (от скрещивания грубошерстных маток с тонкорунными и полутонкорунными баранами).

Полугрубая шерсть (однородная) состоит из шерстных волокон тониной 48-го качества и грубее (31,1 – 40 мкм). Такую шерсть дают овцы русской длинношерстной породы, линкольн и др.

Полугрубая шерсть (неоднородная) состоит из пуха, переходных волокон и тонкой ости. Эту шерсть получают от овец сараджинской, таджикской, алайской, балбасской, армянской полугрубошерстной пород и помесных животных (от скрещивания грубошерстных маток с баранами тонкорунных и полутонкорунных пород). Овец, имеющих неоднородную полугрубую шерсть, стригут 2 раза в год (весной и осенью), а ягнят — 1 раз в год (летом или осенью). Длина шерсти весенней стрижки достигает 110 – 190 мм (у некоторых пород 230 мм), осенней — 80 – 110 мм. Полугрубая шерсть – ценное сырье для выработки технических сукон, ковров, трикотажной пряжи.

Грубая шерсть (неоднородная) характеризуется наличием в ее составе всех видов шерстных волокон: пуха, переходного волокна, ости, часто сухого или мертвого волоса. Соотношение разных типов волокон в шерсти может быть различным в зависимости от породы и внутрипородных особенностей овец, что определяет ценность грубой шерсти. Основную массу грубой шерсти дают овцы грубошерстных пород: каракульской, карачаевской, тушинской, романовской и другая продукция овцеводства. Овец грубошерстных пород стригут 2 раза в год (романовских – 3 раза). В зависимости от времени стрижки шерсть подразделяют на весеннюю, осеннюю, поярковую.

Основные физико-технические свойства шерсти. Качественные показатели шерсти и пуха определяют: тонина, длина, извитость, прочность, растяжимость, упругость, эластичность, цвет, блеск, влажность, содержание жиропота.

Тонина – это один из важных систематических признаков в оценке и классификации шерсти. Ее определяют измерением диаметра поперечного сечения шерстного волокна и выражают в тысячных долях миллиметра — микрометрах (мкм). Тонина шерсти зависит от породы, условий кормления и содержания, пола животных, их возраста и индивидуальных особенностей. У молодняка шерсть тоньше, чем у взрослых овец. С возрастом шерсть грубеет, а после 5-6-летнего возраста в связи с ослаблением жизненных функций организма шерсть утоняется. У маток шерсть тоньше, чем у баранов. Самую тонкую шерсть получают от овец тонкорунных пород (25 мкм и тоньше). Овцы полутонкорунных пород дают шерсть тониной 25,1 мкм и грубее. Такую шерсть могут давать и тонкорунно-грубошерстные помеси.

Витебский государственный технологический университет

Шерсть овец полугрубошерстных и грубошерстных пород в основном неоднородная. В зависимости от тонины однородную шерсть в нашей стране подразделяют на 13 классов, называемых качествами, которые обозначают цифрами 80, 70, 64, 60, 58, 56, 50, 48,46, 44,40, 36, 32.

Средняя тонина шерсти приведена в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Средняя тонина шерсти в мкм

Наименование показателя	**Средняя толщина волокна**						
	Мериносовая				**Тонкая помесная**		
	70^{к}	**64 – 70^{к}**	**64^{к}**	**60^{к}**	**64^{к}**	**60^{к}**	**64 – 60^{к}**
Средняя толщина	18,1 – 20,5	19,5 – 22,0	20,6 – 23,0	23,1 – 25,0	до 23,0	23,1 –25,0	до 25,0

Относительная разрывная нагрузка шерстяного волокна приведена в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Относительная разрывная нагрузка, сН/текс, не менее

Наименование шерстяного волокна	**Тонина и длина**	**сН/текс**
Мериносовая	70 I, 70 II, 70 I-II, 64-70 I-II	8,0
Помесная	64-I, 64-II, 64 I-II, 60 I-II	9,5

Вышеописанные свойства шерстяных волокон и их потребительские свойства позволяют использовать их в комбинированной токопроводящей ворсовой пряже.

2.1.5 Физико-механические свойства комплексной арселоновой нити

Волокно «Арселон» является впервые в мировой практике освоенным в промышленном масштабе термостойким волокном на основе поли-пара-фенилен-1,3,4-оксадиазолов. Синтез полимера проводится в одну стадию на обычном оборудовании для производства химических волокон и практически не наносит вред окружающей среде. Исходными веществами являются терефталевая кислота, гидразинсульфат, олеум. Это доступные продукты массового производства. Высокая термостойкость позволяет эксплуатировать изделия при температуре 250 ^{o}C сроком до 3 лет, кратковременно изделия выдерживают температуру до 400 ^{o}C, при этом практически не усаживаются и не плавятся.

Витебский государственный технологический университет

Нить и штапельное волокно хорошо перерабатываются в различные текстильные материалы, в том числе ткани и нетканые материалы. Высокая гигроскопичность, подобная хлопку, способность окрашиваться, пониженная горючесть, сохранение эластических свойств при низких и высоких температурах позволяют использовать пряжу, ткани и нетканые материалы для изготовления спецодежды и средств индивидуальной защиты (костюмов, перчаток и рукавиц). Это обеспечивает выполнение требований техники безопасности работающих в особых условиях, в том числе в горячих цехах металлургических предприятий, в газовой и нефтяной промышленности, в условиях Крайнего Севера, а также для решения задач Минобороны и МЧС.

Низкий коэффициент трения по металлу (до 0,2) позволил применить волокно, ткани и пульпу для изготовления композиционных материалов, при изготовлении «сухарей» и «скользунов» железнодорожных вагонов, а также подшипников на прокатных станах для замены асбеста. Нить и волокно можно использовать как тепло и электроизоляционный материал. Они устойчивы к действию органических кислот и растворителей, нефтепродуктов, минеральных масел, умеренно устойчивы к действию разбавленных неорганических кислот и щелочей при температуре до 100 ^{o}C.

Учитывая уникальные свойства волокна и доступность недорогой сырьевой базы, были проведены работы по значительному увеличению выпуска волокна, что позволяет в настоящее время обеспечить продукцией более широкий круг потребителей, в т. ч. предприятия цветной и черной металлургии, цементной, газовой, нефтяной и других отраслей промышленности. Продукция выпускается под товарным знаком «Арселон» и «Арселон-С» [63].

Таблица 2.7 – Основные характеристики комплексной арселоновой нити

Линейная плотность комплексной нити, текс	29,4
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	30
Удлинение при разрыве, %	5
Начальный модуль (при 1% удлинении), Гпа	12,5-30
Температура длительной эксплуатации, ºС	250
Термостойкость (% сохранения прочности после выдерживания при 350 ºС в течении 25 ч)	не менее 40
Удельная плотность, г/см^3	1,44

Витебский государственный технологический университет

2.1.6 Физико-механические и электрические свойства медной микропроволоки

Из различных электропроводящих материалов (сталь, вольфрам, серебро и т. д.) наиболее предпочтительным является медь, так как обладает широким спектром свойств:

- малое удельное сопротивление (из всех металлов только серебро имеет несколько меньшее удельное сопротивление, чем медь);
- удовлетворительная в большинстве случаев применения стойкость по отношению к коррозии (медь окисляется на воздухе, даже в условиях высокой влажности, значительно медленнее, чем, например, железо; интенсивное окисление меди происходит только при повышенных температурах);
- хорошая обрабатываемость при прокатывании в листы, ленты и протягивании в проволоку, толщина которой может быть доведена до тысячных долей миллиметра.

Физические и электрические свойства меди представлены в таблице 2.8.

При производстве электропроводящих нитей использовалась медная микропроволока марки ММ (мягкая) d = 0,05 мм, цилиндрической формы, производимая методом волочения. Данная микропроволока производится на двухфланцевых цилиндрических катушках легкого типа.

Таблица 2.8 – Физические и электрические свойства меди

Наименование показателей	Фактическое значение
Температура плавления, ^{o}C	1083
Коэффициент теплопроводности λ, Вт/м·град	0,923
Удельное электрическое сопротивление, Ом·см	$1{,}69 \cdot 10^{-6}$
Плотность γ, г/см^3	8,93
Модуль продольной упругости E, мПа	110000 – 120000

Физико-механические свойства медной микропроволоки марки ММ представлены в таблице 2.9.

Витебский государственный технологический университет

Таблица 2.9 – Физико-механические свойства медной микропроволоки

Наименование показателей	Значение
Линейная плотность, текс	18,0
Диаметр, мм	0,05
Абсолютная разрывная нагрузка проволоки, сН	45 – 50
Разрывное удлинение, %	14 – 16
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	5,0
Коэффициент вариации по разрывному удлинению, %	3,0
Сопротивление изгибу, циклов	11500

Главное применение меди – производство электрических проводов. Примеси понижают электропроводность меди, поэтому в электротехнике используются сорта меди с суммарным содержанием примесей менее 0,1 %. Медь является основным материалом для производства телеграфных и телефонных проводов [64].

Схема основного метода волочения показана на рисунке 2.1. Сущность метода заключается в следующем. К протягиваемому металлу со стороны входа его в волоку прикладывают силу, направленную в сторону, противоположную движению металла, и потому называемую противонатяжением. От этого в полосе еще до ее входа в волочильный канал в осевом направлении создаются растягивающие напряжения. Они вызывают уменьшение давления металла на стенки канала, что, естественно, увеличивает стойкость последнего, открывает широкие возможности совмещения процессов непрерывного литья с прокаткой.

Беспрерывный, безостановочный процесс прокатки дает возможность создавать натяжение более высокое, чем при обычной прокатке, – близкое по величине к половине сопротивления пластической деформации прокатываемого изделия.

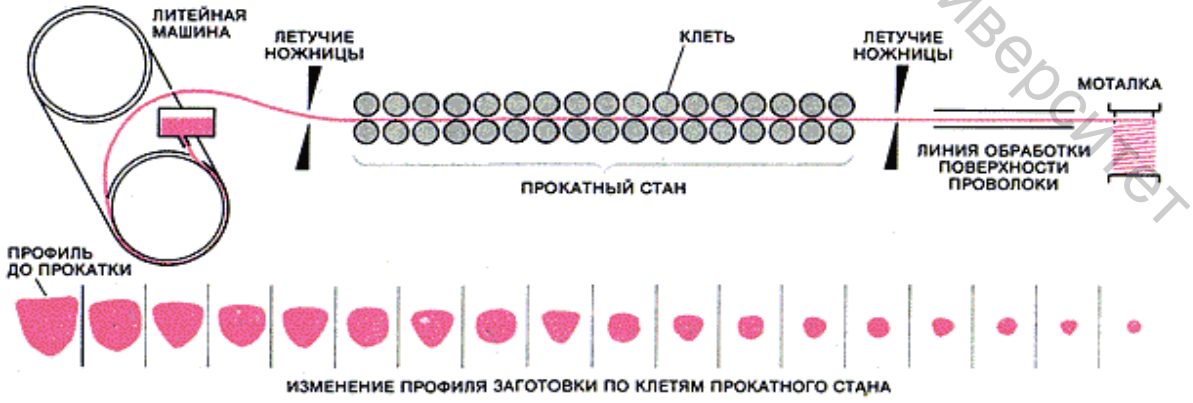


Рисунок 2.1 – Схема производства медной проволоки

Витебский государственный технологический университет

Расплавленная медь поступает из приемной ванны литейной машины в кристаллизатор. Отлитая заготовка, вышедшая из кристаллизатора, подается к прокатному стану. Между ним и литейной машиной установлены первые летучие ножницы для обрезания начала заготовки, а также для обрезания самой заготовки в случае нарушения процесса прокатки. Отлитая заготовка имеет сечение, по форме приближающееся к трапеции. При прокатке заготовка обжимается до требуемого сечения. За прокатным станом установлены вторые летучие ножницы, разрезающие проволоку при нарушении процесса сматывания, и линия обработки поверхности проволоки, далее идет волочильное устройство, обеспечивающее более качественную обработку поверхности проволоки, благодаря тому, что проволока уже имеет размеры, близкие к выходным и не требует сильного изменения геометрических параметров. В сматывающих устройствах обработанная проволока сматывается в бунты, которые затем перемещаются на склад. Внизу рисунка показано последовательное изменение профиля медной заготовки при ее прохождении через трехвалковые клети прокатного стана. Всего в стане используется 17 таких клетей, что и дает возможность максимально приблизить размеры проволоки к выходным размерам после волочильного устройства [64].

Среди технологических свойств у меди следует отметить хорошие обрабатываемость давлением и возможность пайки. К недостаткам меди относятся усадка при литье, невысокая обрабатываемость резанием и очень плохая свариваемость.

Медную микропроволоку ММ d = 0,05мм вырабатывают согласно техническим условиям ПР ТУ 16–К71.087–90.

Электрофизические свойства медной микропроволоки d = 0,05 мм представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Электрофизические свойства медной микропроволоки

Показатель	Значение
Удельное электрическое сопротивление, 10^{-6} Ом·см	0,01724
Удельная электрическая проводимость вещества, $Ом^{-1}·м^{-1}$	$58·10^{6}$

При анализе свойств установлено, что выбранная медная микропроволока обладает высоким разрывным удлинением, значительным сопротивлением изгибу, имеет низкие коэффициенты вариации по разрывной нагрузке и разрывному удлинению при необходимой электрической проводимости вещества.

Витебский государственный технологический университет

2.2.7 Электрические свойства комплексных химических нитей

К электрическим свойствам волокон и нитей относятся их электризуемость, диэлектрические потери, проницаемость, электропроводность, электрическая прочность и др.

Электризуемость волокон и нитей. Ее характеризует способность волокон и нитей к генерации и накоплению зарядов статического электричества. В процессах механической технологии волокон, нитей, когда они трутся между собой, об органы машины, может проявится сильная электризуемость, и возникают ряды, пушатся, отталкиваются друг от друга, технологический процесс нарушается, возникают повышенная обрывность и другие нежелательные явления.

Наиболее сильно электризуются химические волокна и нити (хлорированные, ацетатные, капроновые и др.). Электризуемые и натуральные волокна (шерсть, шелк), но значительно меньше.

Снижению электризуемости волокон и нитей способствует повышение относительной влажности воздуха, покрытие их масляной пленкой или антистатическими препаратами в виде гигроскопических солей, полиалкоголей, мыла, катионо-активных и других веществ. Кроме того, используются ионизационные установки на пути движения волокон, нитей для разноименной их электризации.

Электризуемость оценивают следующими параметрами:

Напряженностью электрического поля:

$$E = \frac{f}{q} = \frac{U}{H}, \tag{2.1}$$

где f – сила, которую испытывает заряд q, внесенный в электрическое поле, Н; U – потенциал; H – расстояние до заряженного тела, мм.

Поверхностной плотностью

$$\sigma = \frac{q}{S}, \tag{2.2}$$

где S – поверхность волокон или нитей;

Диаметр нити определяется по формуле

$$d = 0,0357 \cdot \sqrt{\frac{T}{\gamma}}, \tag{2.3}$$

где γ – средняя плотность нити, г/см^3;
T – линейная плотность нити, текс.

Линейной плотностью заряда, Кл/см:

Витебский государственный технологический университет

$$\tau = \frac{q}{L}, \qquad (2.4)$$

где L – длина волокна или нити, см.

Одной из важнейших характеристик электрических свойств волокон и нитей является их диэлектрическая проницаемость (диэлектрическая постоянная):

$$\boldsymbol{\varepsilon = \frac{c}{c_0}}, \qquad (2.5)$$

где c – емкость конденсатора, заполненного волокнами (нитями);
c_0 – емкость конденсатора с воздушным диэлектриком.

Электрическая проводимость волокон и нитей. Электрическая проводимость характеризует процесс перемещения электрических зарядов в результате действия внешнего электрического поля. Проводимость связана с токами, протекающими в веществе волокон, нитей, и зависит от силы или плотности тока, от времени воздействия и напряженности электрического поля температуры, состава, строения, размеров и формы волокон и нитей.

Текстильные волокна и нити в подавляющем большинстве являются диэлектриками, и основные закономерности диэлектрических материалов им присущи. В волокнах и нитях во времени происходит спадание тока, которое обусловлено движением связанных зарядов-диполей и протеканием при электродных процессов. Однако в отличие от обратных процессов диэлектрической поляризации в результате электропроводности устанавливается остаточный ток, обусловленный движением только свободных зарядов.

Удельная электрическая проводимость, Ом$^{-1}$·м$^{-1}$,

$$\sigma = \frac{1}{\rho}, \qquad (2.6)$$

где ρ – электрическое сопротивление вещества волокон (Ом·м) зависит от состава волокон, нитей, их молекулярного и надмолекулярного строения.

Удельная электрическая проводимость зависит от состава волокон, нитей, их молекулярного и надмолекулярного строения. Существенное влияние на удельную электрическую проводимость оказывает также влажность, температура, электрические поля и воздействие ионизирующей радиации. Например, повышение температуры приводит к некоторому увеличению ионов, источниками могут быть как молекулы примесей, так и молекулы вещества волокон.

Витебский государственный технологический университет

При этом движение ионов в основном происходит через поверхностные слои волокон.

Электропроводность возрастает также с увеличением напряженности электрического поля воздействия ионизирующей радиации.

С повышением относительной влажности воздуха влажность нитей повышается, удельное электрическое сопротивление нитей уменьшается для некоторых нитей (лавсан, анидной, капроновой) на 3 порядка.

Электризация текстильных полотен имеет поверхностный эффект, возникающий в результате взаимодействия (трения) между двумя поверхностями. При трении электризация повышается, так как возникают новые связи и нарушаются прежние контакты трущихся поверхностей. Кроме того, в процессе трения повышается поляризация и диполяризация молекул вследствие увеличения подвижности диполей из-за выделения тепла и более легкой ориентации диполей. Электрические заряды могут возникать не только при трении, но и при растяжении и сжатии.

Электризуемость текстильных материалов имеет суточные колебания, связанные с ионизацией атмосферы. Летом с повышением солнечной активности электризуемость увеличивается. При повышении электризуемости возникает явление прилипаемости полотен к телу, повышается их загрязняемость. Показатели электризуемости тканей приведены в таблице 2.11 [2].

Таблица 2.11– Показатели электризуемости текстильных полотен

Вид полотна	Удельное электрическое сопротивление *p*, Ом·м	Плотность заряда *q*, Кл/см^3
Трикотажное хлопчатобумажное	$2{,}1\cdot10^{8}$	$9\cdot10^{-12}$
Вискозная ткань	$4{,}9\cdot10^{8}$	$1{,}08\cdot10^{-11}$
Капроновая ткань	$1{,}29\cdot10^{14}$	$3{,}69\cdot10^{-10}$
Хлопковискозная ткань	$3{,}2\cdot10^{8}$	$1{,}17\cdot10^{-11}$
Хлопкокапроновая ткань	$7{,}2\cdot10^{10}$	$9{,}9\cdot10^{-11}$
Хлопколавсановая ткань	$1{,}4\cdot10^{9}$	$1{,}71\cdot10^{-11}$

Так как ассортимент комбинированных электропроводящих нитей используется для производства тканей с антистатическими свойствами, то необходимо изучить электрические свойства сырья.

К электрическим свойствам волокон и нитей относятся их электризуемость, диэлектрические потери, проницаемость, электропроводность.

Витебский государственный технологический университет

Электризуемость волокон и нитей характеризует способность волокон и нитей к генерации и накоплению зарядов статического электричества. В процессах механической технологии волокон, нитей, при трении между собой, об органы машины может проявиться сильная электризуемость и возникают условия, при которых волокна и нити, имея одноименные заряды, пушатся, отталкиваются друг от друга, технологический процесс нарушается, возникают повышенная обрывность и другие нежелательные явления.

Снижению электризуемости волокон и нитей способствует повышение относительной влажности воздуха, покрытие их масляной пленкой или антистатическими препаратами в виде гигроскопических солей, полиалкоголей, мыла, катионо-активных и других веществ. Кроме того, используются ионизационные установки на пути движения волокон, нитей для разноименной их электризации.

В таблице 2.12 приведены значения электрических свойств полиэфирных и полиамидных комплексных нитей в зависимости от их диаметра при относительной влажности 65 % [63].

Таблица 2.12 – Электрические свойства полиэфирных и полиамидных нитей в зависимости от диаметра при их относительной влажности 65 %

Нить	Диаметр нити *d*, см	Поверхностная площадь нитей, *S*, см^2	Заряд нити *q*, Кл	Поверхностная плотность заряда нити, σ; Кл/см^2	Линейная плотность заряда, τ, Кл/см
Полиэфирная комплексная нить *T* = 5,2 текс	0,0069	0,000038	$0{,}29\cdot10^{8}$	$7{,}63\cdot10^{11}$	$0{,}29\cdot10^{8}$
Полиэфирная комплексная нить *T* = 29,4 текс	0,0164	0,000213	$1{,}64\cdot10^{8}$	$7{,}69\cdot10^{11}$	$1{,}64\cdot10^{8}$
Полиамидная комплексная нить *T* = 5,0 текс	0,0073	0,000042	$0{,}72\cdot10^{8}$	$1{,}71\cdot10^{12}$	$0{,}72\cdot10^{8}$
Полиамидная комплексная нить *T* = 29,5 текс	0,0175	0,000250	$4{,}3\cdot10^{8}$	$1{,}72\cdot10^{12}$	$4{,}3\cdot10^{8}$

Диэлектрическая проницаемость зависит от структуры волокон, их влажности и частоты переменного тока.

Витебский государственный технологический университет

С повышением относительной влажности воздуха влажность нитей повышается, удельное электрическое сопротивление нитей уменьшается (таблица 2.13).

Таблица 2.13 – Удельное электрическое сопротивление комплексных химических нитей при разной относительной влажности воздуха

Нить	Ом·см, при относительной влажности, %			
	20	44	65	75
Полиамидная комплексная нить	$2{,}08\cdot10^{13}$	$7{,}74\cdot10^{12}$	$2{,}01\cdot10^{11}$	$4{,}22\cdot10^{10}$
Полиэфирная комплексная нить	$1{,}59\cdot10^{13}$	$8{,}17\cdot10^{12}$	$1{,}68\cdot10^{12}$	$5{,}02\cdot10^{10}$

Электрическая проводимость характеризует процесс перемещения электрических зарядов в результате действия внешнего электрического поля. Проводимость связана с токами, протекающими в веществе волокон, нитей, и зависит от силы или плотности тока, от времени воздействия и напряженности электрического поля, температуры, состава, строения, размеров и формы волокон и нитей.

В таблице 2.14 приведены значения удельной электрической проводимости вещества.

Таблица 2.14 – Удельная электрическая проводимость вещества

Вещество	Полиэфирная комплексная нить	Полиамидная комплексная нить
Удельная электрическая проводимость вещества, $Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	$0{,}595\cdot10^{-12}$	$0{,}497\cdot10^{-11}$

Удельная электрическая проводимость зависит от состава волокон, нитей, их молекулярного и надмолекулярного строения. Существенное влияние на удельную электрическую проводимость оказывают также влажность, температура, электрические поля и воздействие ионизирующей радиации. Например, повышение температуры приводит к некоторому увеличению ионов, источником которых могут быть как молекулы примесей, так и макромолекулы вещества волокон. При этом движение ионов в основном происходит через поверхностные слои волокон. Электропроводность возрастает также с увеличением напряженности электрического поля и воздействия ионизирующей радиации.

Витебский государственный технологический университет

2.2 Технология производства комбинированных электропроводящих нитей на тростильно-крутильных машинах

Вопросу получения комбинированных нитей с использованием комплексных химических нитей в качестве сердечника посвящено много работ различных авторов, рассматривается множество вариантов прядильно-крутильных устройств, описываются принципы их работы, приводятся результаты промышленных лабораторных испытаний [65]. Однако данная технология является одной из наиболее приемлемых для получения комбинированных электропроводящих нитей, так как позволяет получить нить, совмещающую в себе свойства нескольких компонентов.

На имеющемся тростильно-крутильном оборудовании с целью снижения энерго- и материалоемкости производства, расширения ассортимента комбинированных нитей и улучшения электрофизических свойств был разработан технологический процесс производства комбинированных электропроводящих нитей на машинах марки ТК-2-160М [4–А, 5–А, 6–А, 7–А, 8–А] (рисунок 2.2). Проведены экспериментальные исследования технологии комбинированных электропроводящих нитей различных сырьевых составов [5–А,15–А, 2–А, 3–А].

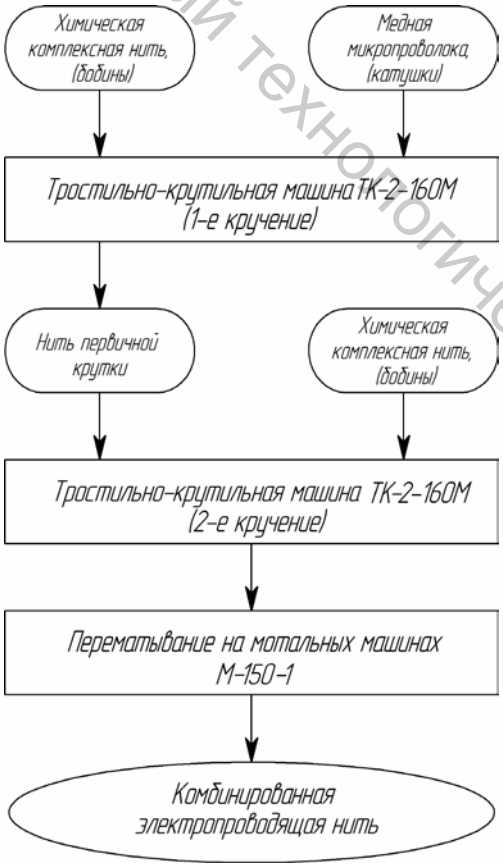


Рисунок 2.2 – Технологическая схема получения комбинированных электропроводящих нитей на тростильно-крутильном оборудовании

Витебский государственный технологический университет

При разработке данной технологии необходимо изучить поведение микропроволоки на всех этапах формирования: при скручивании в рабочей зоне веретена, при наматывании сформированной нити; исследовать процесс натяжения радиального участка нити в зоне формирования и влияния натяжения комплексных нитей на свойства КЭПН.

Комбинированную электропроводящую нить получают следующим образом: катушки с комплексной химической нитью линейной плотности 29,4 – 29,5 текс с начальной круткой левого направления и катушки с медной микропроволокой без начальной крутки 18 текс устанавливаются на питающую рамку тростильно-крутильной машины первого кручения.

Два компонента скручиваются в правом направлении (направлении Z). В результате формируется нить первичной крутки с направлением крутки SZ. Затем катушки с комплексными химическими нитями линейной плотности 5,0 – 5,2 текс и выходные паковки с нитью первичной крутки с первого перехода тростильно-крутильных машин устанавливают на питающую рамку тростильно-крутильной машины второго перехода. Установлено, что далее компоненты скручиваются в левом направлении (направлении S) [6–А, с. 76].

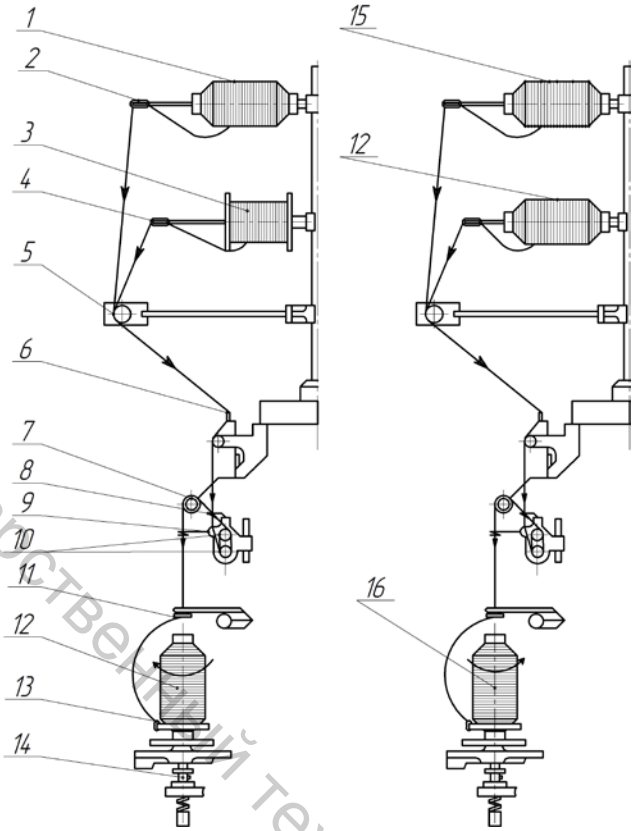
В результате двух переходов тростильно-крутильных машин получается комбинированная электропроводящая нить с направлением крутки SZS. Для дальнейшего использования комбинированная электропроводящая нить второго кручения перематывается на мотальных машинах на катушки необходимой массы и размера.

Несмотря на два перехода, предложенный способ получения комбинированных электропроводящих нитей имеет ряд преимуществ: данный парк машин используется без модернизации, а имеющаяся система контроля обрыва одиночной и трощеной нити позволяет значительно упростить обслуживание машины и выпускать качественный продукт.

Так как структура крученой нити должна быть стабилизированной, процесс формирования комбинированных электропроводящих нитей осуществляется в два перехода на тростильно-крутильных машинах [7–А, с. 25]. Ввиду того, что комбинированные электропроводящие нити на машине ТК-2-160М наматываются на металлические копсы, которые не пригодны для дальнейшей переработки в ткачестве, их перематывали на конические бобины крестовой намотки на машине М-150-1.

Витебский государственный технологический университет

Технологические схемы заправки для первичной и вторичной крутки комбинированных электропроводящих нитей на машине ТК-2-160М представлены на рисунке 2.3.



а) б)

Рисунок 2.3 – Технологические схемы заправки комбинированных электропроводящих нитей на машине ТК-2-160М

Комплексная химическая нить 1 (сердечник) (рисунок 2.3 а) с правой начальной круткой (160 – 200 кр/м) и медная микропроволока 3 без начальной крутки проходят индивидуально каждая через тарельчатые натяжители 2 и 4, причем медной микропроволоке сообщается меньшее натяжение. Затем компоненты огибают заправочный пруток 5 и подаются в соединительный глазок 6 крючка контроля обрыва одиночной нити, соединительный крючок 8, где соединяются стращиваемые комплексная нить и микропроволока. Огибая несколько раз цилиндры питающего прибора 10, компоненты приобретают необходимое натяжение. Далее трощеные компоненты, огибая ролик 7 контроля обрыва трощеной нити и проходя через нитенатяжитель 9 и подвижный баллоноограничительный крючок 11, поступают в зону кручения: бегунок 13 – веретено 14, и наматываются на выходную паковку 12.

На участке от баллоноограничительного крючка до бегунка осуществляется кручение нити с правым направлением крутки

Витебский государственный технологический университет

(направление Z). Наматывание нити на выходную паковку происходит за счет отставания бегунка от веретена. Возвратно-поступательное движение кольцевой планки вдоль оси веретена обеспечивает раскладку нити по высоте выходной паковки.

Далее полученную нить первичной крутки с направлением крутки SZ (рисунок 2.3 б) подвергают второму кручению в левом направлении (S) для образования стабильной структуры сформированной нити. Для этого нить первичной крутки с паковки 12 стращивают и скручивают с комплексной химической нитью меньшей линейной плотности 15 на второй машине ТК-2-160М в левом направлении (S). При этом химическая нить меньшей линейной плотности не должна покрывать полностью предварительно скрученную нить.

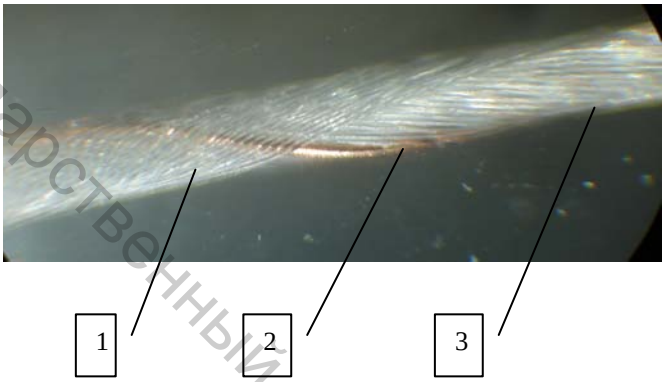


Рисунок 2.4 – Фотография комбинированной электропроводящей нити:

1 – комплексная нить меньшей линейной плотности (покрывающий компонент);

2 – медная микропроволока; 3 – комплексная нить большей линейной плотности (сердечник)

В результате получена комбинированная электропроводящая нить средней линейной плотности 55 текс с направлением крутки SZS, которая наматывается на выходную паковку 16.

Образующаяся комбинированная электропроводящая нить имеет структуру, представленную на рисунке 2.4.

При анализе фотографии можно отметить, что микропроволока значительно выступает на поверхности комбинированной нити, следовательно, представленная структура КЭПН является приемлемой для придания тканям специального назначения антистатических свойств [8–А, с .9].

При формировании комбинированной электропроводящей нити установлено, что сердечник обеспечивает необходимую прочность комбинированной нити, микропроволока обеспечивает достаточную гибкость и электропроводимость, а закрепляющая комплексная химическая нить, не покрывая медную микропроволоку по всей ее

Витебский государственный технологический университет

поверхности, придает стабильную структуру готовой комбинированной электропроводящей нити.

2.3 Технология получения комбинированных электропроводных нитей на машине ПК-100М3

Применение прядильно-крутильных машин ПК-100М3 дает возможность повысить производительность машин на 10 – 20 % и повысить производительность труда по прядильным цехам в 1,5 – 1,6 раза, а также сократить расход электроэнергии по прядильным и крутильным цехам на выработку одного и того же количества пряжи в 1,5 раза и сократить производственные площади.

Пряжа, вырабатываемая на машинах ПК-100М3, по физико-механическим свойствам не уступает аналогичной пряже, выработанной на кольцекрутильных машинах способом сухого кручения, которая может быть использована для широкого ассортимента изделий: тканей, трикотажа, меланжевого и гардинного, текстильно-галантерейного производства. На рисунке 2.5 представлена технологическая схема машины ПК-100М3 для выработки комбинированных электропроводных нитей [3–А].

На питающей рамке 1 машины ПК-100М3 устанавливают две катушки с полиэфирной ровницей 2 линейной плотности 333 текс. Ровницы 2 проходят через натяжной пруток 3, модернизированный направитель ровницы 4 и утоняются в вытяжном приборе 5, превращаясь в мычку соответствующей тонины, так же, как это происходит на обычных прядильных машинах. С отдельных катушек 6 и 7, установленных на модернизированной питающей рамке, через гребенчатый нитенатяжитель 8 и направитель 9 соответственно подаются под переднюю пару вытяжного прибора 5 медная микропроволока Т = 18 текс и комплексная полиэфирная нить линейной плотности Т = 5,2 текс. Комплексная полиэфирная нить необходима для увеличения разрывных нагрузок электропроводящей пряжи.

Витебский государственный технологический университет

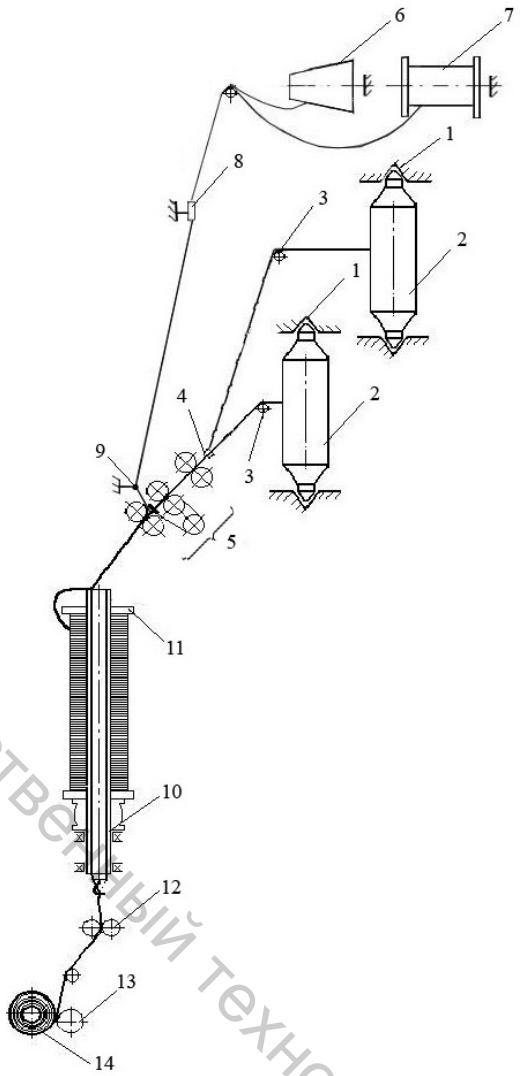


Рисунок 2.5 – Технологическая схема машины ПК-100МЗ

На полое веретено 10 надет початок 11 с полиэфирной комплексной нитью линейной плотности Т = 5,2 текс. При вращении веретена 10 сходящая с него баллонирующая нить увлекает за собой мычку, заставляя ее вращаться вокруг собственной оси, и тем самым превращает мычку в пряжу. На расстоянии от верхушки веретена до переднего цилиндра вытяжного прибора мычка получает необходимое число кручений. На данном участке выпрядается одна из стренг крученой пряжи. Вторая стренга сходит с початка 11.

У вершины веретена происходит сложение выпрядаемой стренги совместно с микропроволокой и сходящей с початка комплексной нити, т. е. осуществляется процесс трощения. Строщенная нить протаскивается через канал веретена оттяжной парой 12, состоящей из цилиндра и прижимного валика. На пути от вершины веретена до выпускной пары пять компонентов, скручиваются в обратном направлении, образуя крученую пряжу.

Готовая комбинированная электропроводящая пряжа наматывается на цилиндрический патрон 13 мотальным механизмом 14,

Витебский государственный технологический университет

расположенным ниже выпускной пары. Мотальный механизм может быть любым, поэтому форма и размер паковок могут быть выбраны такими, чтобы обеспечить наименьшие затраты труда на съем и дальнейшую переработку крученой пряжи.

Таким образом, процесс кручения мычки вокруг своей оси и процесс скручивания пяти компонентов в обратном направлении осуществляется одним и тем же органом, работающим по принципу вращающегося вьюрка. Если веретено вращается против часовой стрелки, выпрядаемый компонент получит крутку левого направления S. Окончательная крутка крученой пряжи будет иметь обратное направление Z (правое). Техническая характеристика машины ПК-100М3 представлена в таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Техническая характеристика машины ПК-100М3

Показатели	Значения
1	2
Нагрузки: I линия, Н I I линия, Н I I I линия, Н Выпускной валик, Н	14 10 10 2
Вид нагрузки	пружинная
Частота вращения двигателя, мин$^{-1}$	10542
Общая вытяжка	33
Крутка, кр/м	400
Длина волокон, мм	42
Диаметры цилиндров, мм Диаметры валиков I – III II	25 28 25
Величина разводок в вытяжном приборе I и II линия, мм II и III линия, мм	44 42
Скорость наматывания, м/мин	12
Масса выходной паковки, кг	1,2
Линейная плотность крученой пряжи, текс	153
Число выпусков на машине	288

На пути от вершины веретена до оттяжной пары выпрядаемая и прикручиваемая стренги, получая вращение от того же веретена,

Витебский государственный технологический университет

скручиваются и приобретают крутку с обратным направлением витков по сравнению с тем, которое было сообщено стренге из мычки.

Число кручений крученого продукта определяется по формуле, кр/м.

$$K = \frac{n_в}{V_{вып}}, \qquad (2.7)$$

где $n_в$ – частота вращения веретена с паковкой, мин$^{-1}$;
$V_{вып}$ – скорость выпуска крученой пряжи, м/мин.

Крученую пряжу на машинах ПК-100М3 вырабатывают с той же круткой, что и на кольцевых крутильных машинах (соответствующей назначению пряжи).

2.4 Технология получения комбинированной электропроводящей пряжи на пневмомеханической прядильной машине ППМ-120МС

2.4.1 Технология получения хлопковой ленты

Технологический процесс подготовки хлопковых волокон к переработке на пневмомеханических прядильных машинах осуществлялся в условиях Барановичского ПХБО на разрыхлительно-очистительном агрегате (РОА) фирмы Truztschler, что позволяет добиться высоких показателей процента выхода продукта и качества пряжи. В состав агрегата входят:

- автоматический кипоразрыхлитель BLENDOMAT BDT 019,
- машина для предварительной очистки MAXI - FLO MFC,
- уловитель металлических частиц SC,
- смешивающая машина MULTI - MIXER MCM8, сагрегированная с пильчатым разрыхлителем CLEANER CLENOMAT CVT4,
- отделитель посторонних частиц SCFO.

Автоматические кипоразрыхлители BLENDOMAT BDT отличаются высокой степенью разрыхления волокон при абсолютном предохранении волокна. Очистители Clenomat обычно агрегируются с камерными смесовыми машинами фирмы Truztschler. Достоинствами очистителей Clenomat являются: высокая экономичность, производительность до 800 кг/час, бережная очистка материала, регулируемая и управляемая компьютером степень очистки, интенсивное обеспыливание материала. Отделитель SC устанавливается непосредственно после автоматического кипного питателя перед смесителями и очистителями, наличие посторонних примесей контролируется с помощью специальных датчиков (датчик искры и металлодетектор).

Витебский государственный технологический университет

Технологическая цепочка используемого оборудования для производства комбинированной электропроводящей пряжи представлена на рисунке 2.6.

Хлопковое волокно, запрессованное в кипах, подаётся на автоматический кипоразрыхлитель Blendomat BDT, где происходят процессы разрыхления и частичного смешивания. Далее разрыхлённое волокно подаётся на машину предварительной очистки MAXI-FLO-MFC, затем на уловитель металлических частиц SC , где происходит предварительная очистка волокна от сорных примесей. Затем волокно поступает на смешивающую машину MULTI - MIXER MCM8, агрегированную с пильчатым разрыхлителем CLEANER CLENOMAT CVT3, где волокно подвергается процессам смешивания и окончательного разрыхления. Далее волокно поступает на машину SCFO, которая окончательно очищает волокно от сорных примесей.

Затем по пневмопроводу очищенное и распрямлённое волокно поступает на чёсальную машину DK-903, где в результате процесса чесания происходит очистка и выравнивание волокон по составу. Далее чёсальная лента поступает на 2 перехода ленточных машин SB-D10 и RSB-D30, где происходит переработка ленты после чёсальной машины с целью распрямления и параллелизации волокон и выравнивания ленты по толщине и структуре.

Ленточная машина RSB-D30, оснащенная авторегулятором, позволяет регулировать отклонение линейной плотности ленты в пределах ±25 % при скорости выпуска до 1000 м/мин, отклонение линейной плотности ленты от ±0.5 % до ±1.5 %. Затем хлопковая лента и медная микропроволока поступают на модернизированную пневмомеханическую прядильную машину ППМ-120 с полым ротором, где формируется комбинированная электропроводящая пряжа.

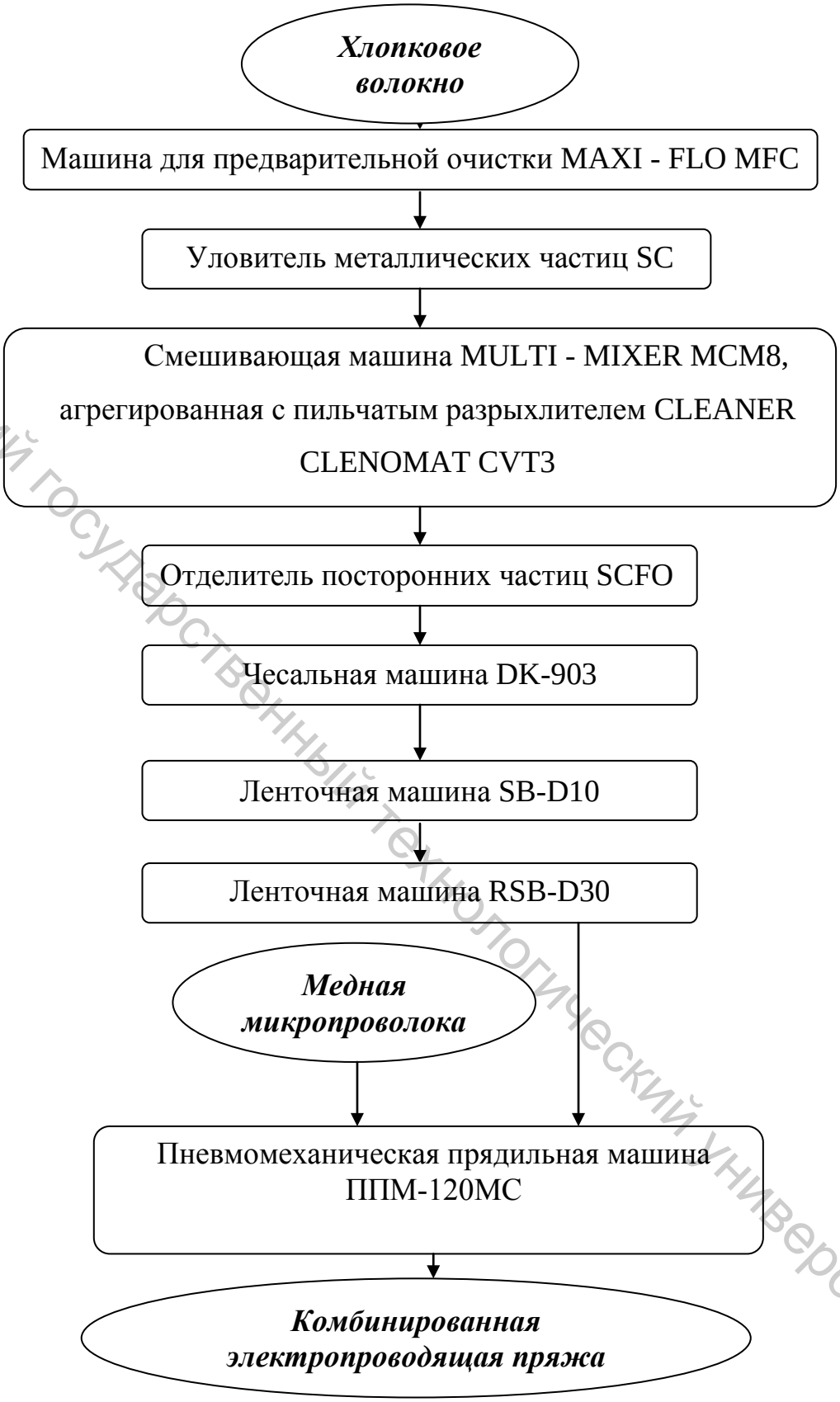
Пневмомеханическая прядильная машина ППМ-120МС предназначена для получения пряжи из хлопка и химических волокон и их смесей.

2.4.2 Технологическая линия для выработки комбинированной электропроводящей пряжи

Сущность пневмомеханического способа прядения заключается в преобразовании ленты в дискретный поток волокон, в образовании из этого потока клиновидной ленточки в виде незамкнутого конца в желобе прядильной камеры и в формировании кручением из ленточки пряжи, которая выводится из камеры и наматывается в бобину.

На пневмомеханической прядильной машине осуществляются следующие технологические процессы: питание лентой; дискретизация питающего продукта – ленты; транспортирование дискретного потока волокон; циклическое сложение дискретных потоков волокон; кручение волокнистой ленточки и наматывание пряжи на бобину.

Витебский государственный технологический университет



Витебский государственный технологический университет

Рисунок 2.6 – Схема технологической линии для выработки комбинированной электропроводящей пряжи

Для реализации технологического процесса получения комбинированной электропроводящей пряжи на ППМ-120МС проведена модернизация пневмомеханической прядильной машины для установки узла подачи медной микропроволоки в ротор прядильной камеры.

Техническая характеристика пневмомеханической машины ППМ-120МС приведена в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Технические характеристики ППМ-120МС

Наименование параметра	Значение
Линейная плотность вырабатываемой пряжи, текс	100–15,4
Длина перерабатываемого волокна, мм	25–40
Вытяжка	40–242,8
Число кручений на 1 м	325–1598
Линейная плотность перерабатываемой ленты, ктекс	5–2,2
Наибольшая скорость выпуска пряжи, м/мин	150
Частота вращения прядильной камеры, мин$^{-1}$	30000–75000
Частота вращения дискретизирующих барабанчиков, мин$^{-1}$	5000–9000
Шаг прядильных устройств, мм	120
Количество прядильных устройств в секции, шт.	40

Технологическая схема модернизированной пневмомеханической прядильной машины для производства комбинированной электропроводящей пряжи представлена на рисунке 2.7.

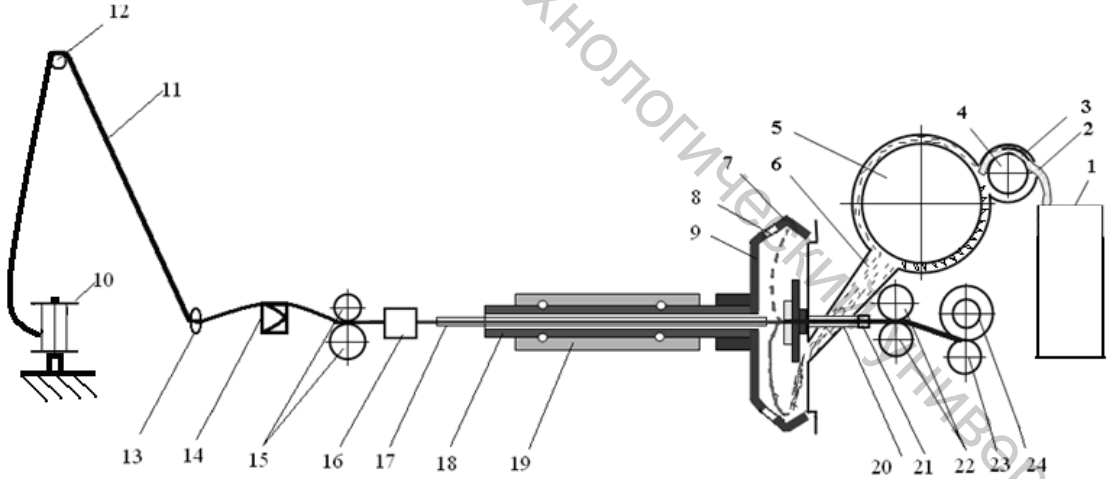


Рисунок 2.7 – Технологическая схема пневмомеханической прядильной машины для выработки комбинированной электропроводящей пряжи линейной плотности 40 текс:

1 – таз с лентой, 2 – лента, 3 – питающий столик, 4 – питающий цилиндр, 5 – дискретизирующий барабанчик, 6 – конфузор, 7–желоб камеры, 8 – отверстия в роторе прядильной камеры, 9 – прядильная камера, 10 – катушка с микропроволокой, 11 –микропроволока, 12,13 – направляющие прутки, 14 – водилка, 15 – питающая пара, 16-центрирующее устройство, 17 – трубка,

Витебский государственный технологический университет

18 – ротор, 19 – подшипниковая опора, 20 –пряжевыводящая трубка, 21 – датчик обрыва, 22 – выпускная пара, 23 – мотальный барабан, 24 – выходная паковка

Лента 2 из таза 1 выбирается питающим цилиндром 4 и прижимающимся к нему столиком 3 и подается к дискретизирующему барабанчику 5, который делит ленту на отдельные неконтактирующие волокна – дискретный поток. За счет разряжения воздуха поток волокон движется по конфузору 6 в желоб прядильной камеры 7. При вращении камеры 9 происходит укладывание волокон в желоб прядильной камеры, т. е циклическое сложение дискретного потока волокон. Формирование и кручение пряжи осуществляется при отводе волокнистой ленточки через пряжевыводящую трубку 20, т. к. во время отвода происходит обкручивание слоя волокон, из желоба камеры, вокруг выводимой пряжи. Медная микропроволока вводится в ротор прядильной камеры через осевой канал, выполненный в виде трубки 17 внутри камеры. Трубка выступает внутри камеры таким образом, чтобы микропроволока попадала сразу в пряжевыводящую воронку. Выводимая из прядильной камеры волокнистая ленточка скручивается с медной микропроволокой внутри пряжевыводящей трубки. В результате соединения двух компонентов формируется комбинированная электропроводная пряжа. Сформированная пряжа наматывается на выходную паковку 24 с помощью нитераскладчика и мотального барабанчика 23.

Сущность предложенного способа формирования электропроводящей пряжи состоит в том, что в рабочую зону прядильной камеры вместе с дискретным потоком волокон подается с определенной постоянной скоростью медная микропроволока, которая обкручивает в интенсификаторе крутки формируемую в камере (рисунок 2.8) пряжу. При этом медная микропроволока, обвивая полученную мычку, не подвергается процессу кручения.

Витебский государственный технологический университет

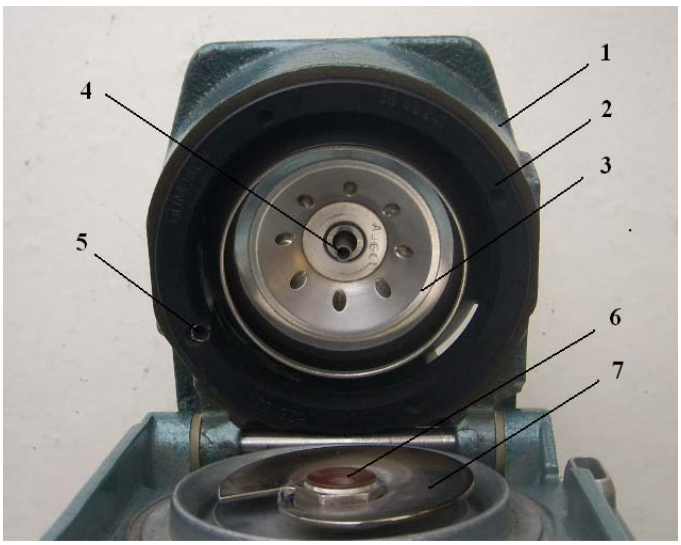


Рисунок 2.8 – Модернизированный прядильный блок для получения комбинированной электропроводящей пряжи:

1 – корпус; 2 – уплотнитель; 3 – прядильная камера; 4 – направляющая трубка; 5 – входное отверстие направляющей трубки; 6 – интенсификатор крутки; 7 – сепаратор.

Полученная комбинированная электропроводящая пряжа выводится из камеры и наматывается на бобину. Структура комбинированной электропроводящей пряжи зависит от скорости подачи медной микропроволоки. На рисунке 2.9 представлена схема расположения узлов модернизации.

Витебский государственный технологический университет

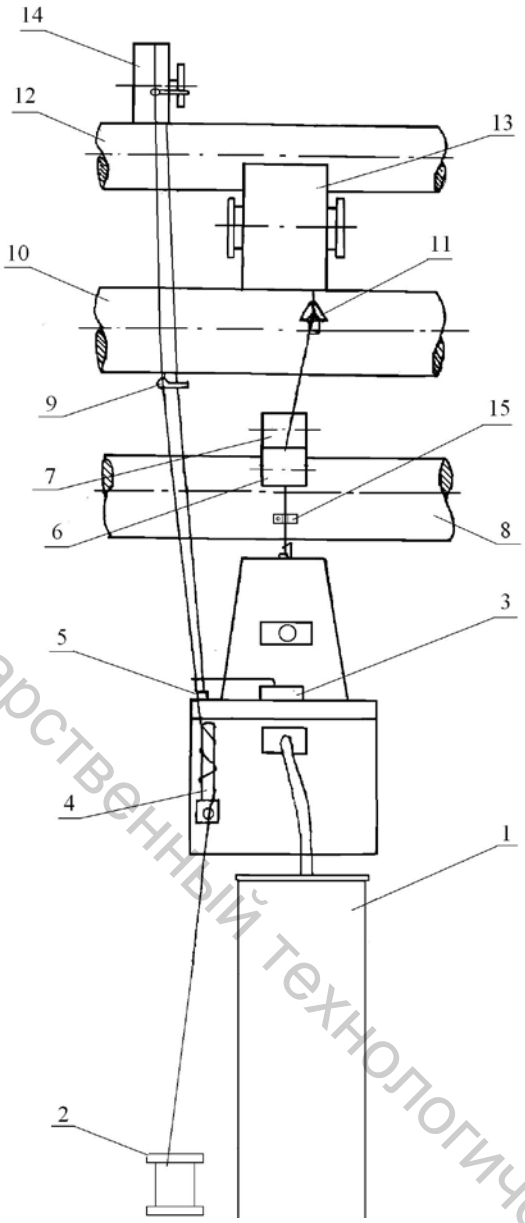


Рисунок 2.9 – Схема расположения узлов модернизации пневмомеханической прядильной машины ППМ-120-МС:

1 – таз с лентой; 2 – паковка с комплексной нитью; 3 – прядильный блок; 4 – нитенатяжитель; 5 – питающая трубка; 6,7 – прижимные оттяжные валики; 8 – оттяжной вал; 9 – обрезатель микропроволоки; 10 – мотальный вал; 11 – нитераскладчик; 12 – питающий вал; 13 – паковка с комбинированной электропроводящей пряжей; 14 – самогрузный валик, 15 – датчик контроля обрыва компонентов

Катушки с медной микропроволокой 2 располагаются в нижней части машины, на специальных паковкодержателях. Для удобства обслуживания на пневмомеханической машине используется каждая вторая прядильная камера. Расстояние между выпусками составляет 240

Витебский государственный технологический университет

мм. Медная микропроволока сматывается с катушек и поступает на нитенатяжитель 4 для создания предварительного натяжения. Устройство нитенатяжителя представлено на рисунке 2.10. Для подачи прикручиваемого компонента (микропроволоки) в прядильную камеру на машине был смонтирован питающий вал 12, расположенный в верхней части над выпускными паковками. На валу на каждом выпуске расположены самогрузные валики 14. Вал 12 и самогрузный валик 14 образуют питающую пару. Медная микропроволока проходит через питающую пару и поступает в питающую трубку 5. Для исключения проскальзывания микропроволоки на валик одет резиновый ремешок.

Через питающую трубку 5 микропроволока подается в прядильную камеру, где происходит процесс формирования комбинированной электропроводящей пряжи. Микропроволока скручивается с хлопковым волокном и выводится оттяжным валом 8 с прижатыми к нему полуваликами 6 и 7. Для формирования комбинированной нити была разработана схема модернизации стандартного прядильного блока пневмомеханической машины ППМ-120-МС.

Прикручиваемый компонент подается в трубку 9. Для подачи компонента в зону формирования служит стальная трубка 5, жестко закрепленная в модернизированной опоре 2. Для фиксации трубки служит винт 3. Трубка проходит через осевой канал модернизированного ротора 1. Модернизированный ротор 1 закреплен в опоре 2, которая, в свою очередь, закреплена в корпусе 6 путем винта-фиксатора 7. Тормоз 4 служит для остановки ротора при заправке или ликвидации обрыва. Рычаг устройства самоостанова 8 контролирует наличие комбинированной нити и останавливает подачу волокна при ее обрыве.

Создаваемое натяжение определяется углом охвата медной микропроволокой стержня нитенатяжителя. Для изменения угла охвата корпус нитепроводника 4 имеет возможность поворачиваться вокруг оси и имеет 6 фиксированных положений. Таким образом, положение нитепроводника и количество охватов нитью стержня нитенатяжителя определяют угол охвата, а следовательно, предварительное натяжение медной микропроволоки.

Витебский государственный технологический университет

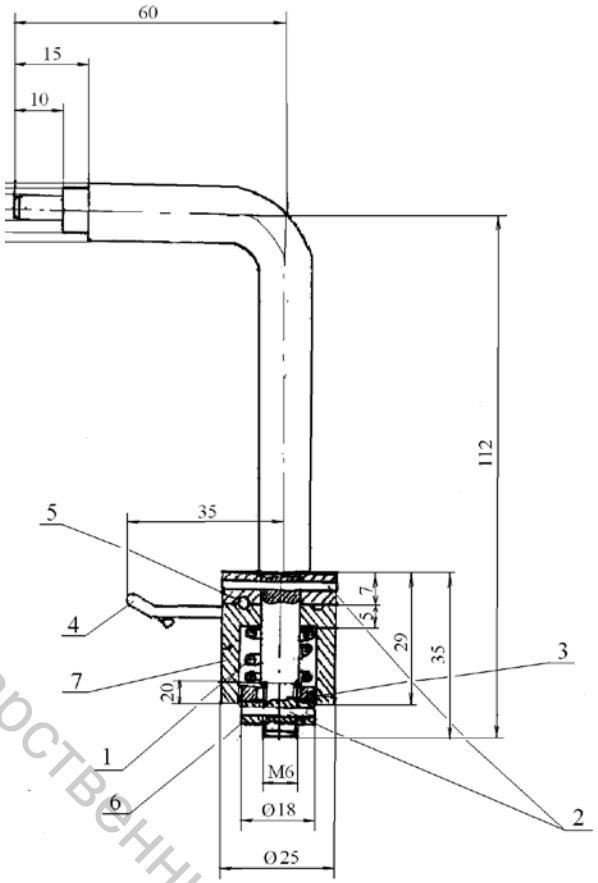


Рисунок 2.10 – Схема нитенатяжителя для медной микропроволоки:

1 – пружина; 2 – штифты; 3 – шайба; 4 – нитепроводник; 5 – шарик-фиксатор; 6 – гайка М8; 7 – корпус нитепроводника

Фотография комбинированной электропроводящей пряжи под микроскопом представлена на рисунке 2.11.

Рисунок 2.11 – Фотография комбинированной электропроводящей пряжи под микроскопом

Витебский государственный технологический университет

2.5 Технология производства комбинированной электропроводящей пряжи большой линейной плотности на крутильной машине К-176-2

Для получения комбинированной токопроводящей пряжи необходимой структуры с антистатическим эффектом была использована крутильная машина типа К-176-2 по ряду предъявляемых требований к комбинированной токопроводящей пряжи, главным из которых является то, что пряжа должна иметь открытые участки медной микропроволоки. Эти открытые участки необходимы для того, чтобы статический заряд, накапливаемый на поверхности ткани, мог сойти по проводящей электричество медной микропроволоке.

Данная машина работает по принципу принудительной подачи элементов (пряжи, нитей) в зону трощения-кручения.

Процесс скручивания осуществляется следующим образом: пряжа (рисунок 2.12) сматывается с питающих паковок 1 в количестве трех штук, огибает направляющие прутки 2, затем через нитепроводник 7 поступает в питающий механизм, состоящий из двух параллельных цилиндров 8, размещенных вдоль машины, и индивидуальных (на каждое веретено) самогрузных валиков 16.

В питающем механизме нити проходят под задним цилиндром, огибают самогрузный валик 16, выйдя из-под переднего цилиндра, через нитепроводник 15 поступают в зону кручения, которая начинается от линии соприкосновения второго цилиндра и самогрузного валика 16. В результате скручивания в два или большее количество сложений достигается повышение ровноты и прочности комбинированной токопроводящей пряжи.

Так же в зону кручения с помощью специально изготовленной конструкции 4 поступает медная микропроволока 5 линейной плотности 18 текс. Данная конструкция позволяет регулировать величину натяжения микропроволоки в зоне подачи и кручения, что значительно влияет на весь технологический процесс. Микропроволока, медленно сматываясь с катушки 3, поступает в натяжное устройство, представляющее собой две керамические тарелки 18, 17, надетые на втулку и закрепленные болтом, проходящим через эту втулку, причем верхняя керамическая тарелка 18 находится в свободном состоянии, что обеспечивает саморегуляцию натяжения медной микропроволоки. Далее медная микропроволока, огибая пруток, поступает непосредственно в зону кручения. Увлеченная в мычке медная микропроволока 5 накручивается на пряжу, а затем сразу наматывается на большую катушку 12 проходя через бегунок 10. На катушке, в свою очередь, надето специальное металлическое кольцо 14 для уменьшения трения комбинированной токопроводящей пряжи о фланцы. Катушка насажена на веретено 13, передающее ей вращение.

Витебский ГОУ «Центральный технологический университет

Технологическая схема крутильной машины К-176-2 и специальной приставки с медной проволокой представлена на рисунке 2.12.

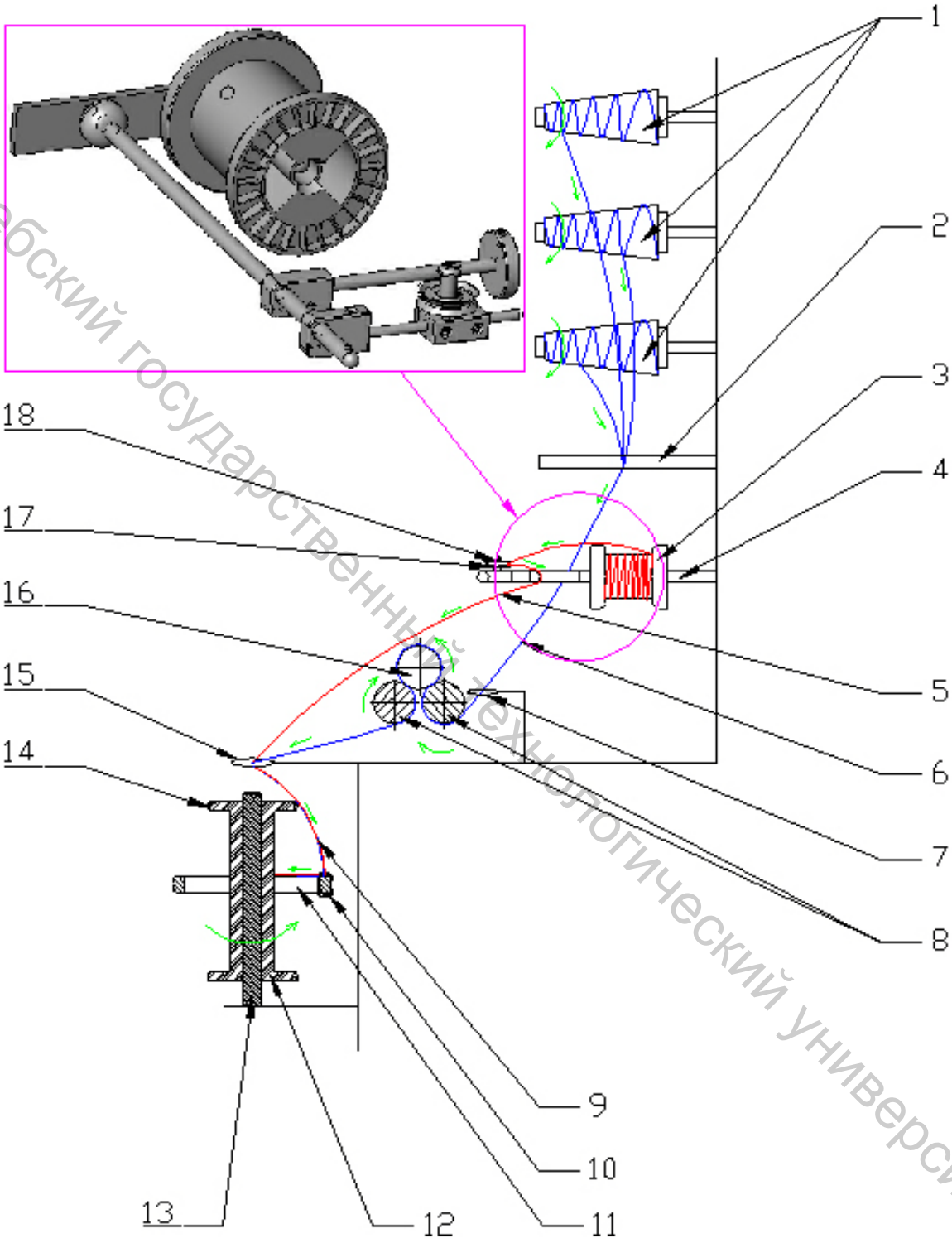


Рисунок 2.12 - Технологическая схема тростильно-крутильной машины К-176 и специальной приставки с медной микропроволокой

Витебский государственный технологический университет

Технические характеристики тростильно-крутильной машины К-176-2 представлены в таблице 2.17.

Таблица 2.17 – Техническая характеристика тростильно-крутильной машины
К-176-2

№	Наименование параметров	Единица измерения	Величина
1	2	3	4
1	Число веретен на машине	шт.	148
2	Диаметр кольца	мм	140
3	Расстояние между веретенами	мм	176
4	Тип кольца		КВ вертикальное самосмазывающееся
5	Тип веретена		КФ-75-2
6	Подъем кольцевой планки (раскладка на бобине)	мм	250
7	Электродвигатель: мощность число оборотов	 кВт мин$^{-1}$	 13 980
8	Габаритные размеры: длина ширина высота	 мм мм мм	 13701 878 1850
9	Масса	кг	4663

Характеристики выходящих паковок с тростильно-крутильной машины К-176-2 представлены в таблице 2.18.

Таблица 2.18 – Характеристики выходящих паковок с тростильно-крутильной машины К-176-2

№	Показатели	Единица измерения	Величина
1	Вид паковки		катушка
2	Диаметр намотки	мм	125
3	Высота намотки	мм	250
4	Масса пряжи на паковке	г	1000±50
5	Плотность намотки	г/см^3	0,45–0,5
6	Размер катушки: диаметр фланцев длина шпули диаметр ствола	мм	125 275 45

Витебский государственный технологический университет

Нормы технологического режима работы тростильно-крутильной машины К-176-2 представлены в таблице 2.19.

Таблица 2.19 – Нормы технологического режима работы тростильно-крутильной машины К-176-2

№	Наименование параметров	Единица измерения	Значение параметров и допускаемые отклонения	
			полушерстяная пряжа	шерстяная пряжа
1	Число сложений	-	3	3
2	Номинальная линейная плотность пряжи	текс	500±10	500±10
3	Скорость выпуска	м/мин	17±1,0	17±1,0
4	Число кручений	кр/м	100±15	100±15
5	Частота вращения веретена	$мин^{-1}$	2700±50	2550±50
6	Номер бегунка	-	3550	3550

Возможные пороки крученой пряжи на тростильно-крутильной машине К-176-2 представлены в таблице 2.20.

Таблица 2.20 - Пороки крученой пряжи на крутильных машинах К-176-2

№	Вид порока	Причина возникновения		Способ устранения
		производственная	по вине исполнителя	
1	2	3	4	5
1	Недокрученная пряжа	Слабое натяжение тесьмы, протаскивание нити в выпускных цилиндрах		Регулярно контро-лировать состояние и натяжение тесьмы
2	Перекрученная пряжа	Задержка подачи нити в выпускном аппарате (не вращается валик), переход тесьмы с блока на шпиндель веретена		То же. Правильно подобрать сменные шестерни

Витебский государственный технологический университет

Продолжение таблицы 2.20

1	2	3	4	5
3	Штопорная пряжа (сукрутины, неравномерность пряжи)	Неравномерное натяжение отдельных нитей в процессе трощения, большая неровнота по крутке однониточной пряжи. Вибрация веретена	Смешивание пряжи различных номеров и круток	Регулярно контро-лировать качество поступающей пряжи. Проверить и заменить неисправные веретена.
4	Замасленная и загрязненная пряжа		Небрежная работа крутильщицы или съемщицы, плохое состояние самосмазывающихся колец	Содержать машины в чистоте, мыть руки после чистки машины.

В выпускную пару крутильной машины под определённым натяжением поступает медная микропроволока и полушерстяная пряжа с трёх питающих паковок. Далее медная микропроволока и пряжа, огибая натяжной пруток поступают непосредственно в зону кручения. В зоне кручения происходит скручивание трощёной пряжи с медной микропроволокой, а затем готовая комбинированная электропроводящая пряжа наматывается на цилиндрическую паковку.

Физико-механические и электрофизические свойства полученной комбинированной электропроводящей пряжи 520 текс представлены в таблице 2.21.

Таблица 2.21 − Физико -механические свойства комбинированной электропроводящей пряжи 520 текс

Характеристика	Численное значение
Абсолютная разрывная нагрузка *Рн*, сН	2204,3
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке *CVРн*, %	6,6
Разрывное удлинение *Ру*, %	12,6
Коэффициент вариации по разрывному удлинению *CVРу*, %	15,5

Витебский государственный технологический университет

3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ НИТЕЙ

3.1 Комплексный анализ деформационных и прочностных свойств комбинированных электропроводящих нитей, полученных на тростильно-крутильном оборудовании

Для определения показателей, характеризующих прочностные свойства нити и деформационные характеристики, проведен комплексный анализ механических свойств комбинированных электропроводящих нитей, полученных на тростильно-крутильном оборудовании.

В результате проведенных полуцикловых испытаний на растяжение были построены кривые растяжения «напряжение при разрыве – разрывное удлинение» для различных вариантов комбинированных нитей. Проведен анализ изменения свойств комплексных нитей после процесса кручения в структуре комбинированной нити. На рисунке 3.1 приведены кривые растяжения полиэфирных комплексных нитей линейной плотности 29,4 текс – кривая 1, линейной плотности 5,2 текс – кривая 2, медной микропроволоки – кривая 3, комбинированной электропроводящей нити линейной плотностью T = 55 текс – кривая 4, полученной из указанных комплексных химических нитей и медной микропроволоки.

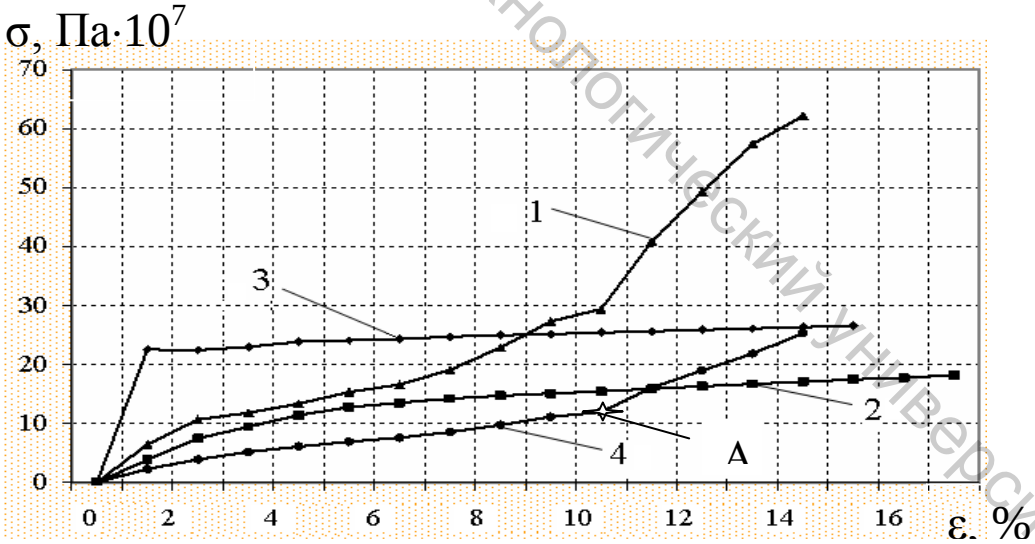


Рисунок 3.1 – Кривые растяжения «напряжение при разрыве – разрывное удлинение» комплексных и комбинированной электропроводящей нитей

При анализе кривых растяжения комплексных нитей (кривые 1 и 2) по прочностным характеристикам выявлен характер изменения

Витебский государственный технологический университет

кривых: для нити с большей линейной плотностью необходимо приложить большее усилие для разрыва, при этом значения разрывных удлинений у нитей близкие, и составляют 14 – 15 %.

Деформационные свойства нитей оценивают по ряду условных косвенных показателей: условный предел упругости $\sigma_у$ (Па), условный предел пластичности $\sigma_{пл}$ и упрочнения $\sigma_{упр.}$

Согласно методике, разработанной д. т. н. Кузнецовым А.А. и к. т. н. Ольшанским В.И., представленной в работе [85], рассчитаны деформационные свойства нитей по формулам

$$\sigma_у = \frac{1}{b_0}\varepsilon_р, \tag{3.1}$$

$$\sigma_{пл} = \frac{\varepsilon_р}{b_o + b_{1р}\cdot\varepsilon}, \tag{3.2}$$

$$\Delta\sigma_{упр} = b_2 \cdot \varepsilon_p^2, \tag{3.3}$$

где $\sigma_у$ – условный предел упругости, Па;

$\sigma_{пл}$ – условный предел пластичности, Па;

$\sigma_{упр}$ – условный предел пластичности упрочнения ;

b_0, b_1, b_2 – параметры универсальной математической модели, определяемые на основании анализа кривой растяжения;

$\varepsilon_р$ – относительное разрывное удлинение, %.

Параметр модели b_0 характеризует упругие свойства нити, b_1 – пластические свойства нити, b_2 – упрочняющие свойства нити при растяжении. Результаты расчета представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Условные пределы деформационных свойств нитей

Параметр математической модели	Медная микропроволока Т = 18 текс	ПЭ Т = 5,2 текс	ПЭ Т = 29,4 текс	КЭПН Т = 55 текс
b_0	0,00193	0,0101	0,017	0,0618
b_1	0,0037	0,00127	0,000143	0,00081
b_2	0	0	0,0245	0,0115
$\sigma_у \cdot 10^7$, Па	8264,2	1187	588	258,7
$\Delta\sigma_{упр} \cdot 10^7$, Па	0	0	2,45	2,96
$\sigma_{пл} \cdot 10^7$, Па	261,6	473,1	542,4	212,44

Как видно из таблицы 3.1, наиболее высокий показатель условного предела упругости соответствует медной микропроволоке. Это объясняется молекулярной структурой металла, из которого изготовлена металлическая нить. Микропроволока имеет высокие упругие свойства ($\sigma_у$), а в процессе растяжения развиваются

Витебский государственный технологический университет

значительные замедленные пластические деформации, при этом отсутствует эффект упрочнения ($\Delta\sigma_{упр}$=0).

Полиэфирная комплексная химическая нить линейной плотности 5,2 текс по своему поведению при растяжении аналогична проволоке: характеризуется высокими пластическими свойствами и отсутствием степени упрочнения. Такое поведение свойственно частично ориентированным нитям: макромолекулы в структуре нити расположены хаотично, и при приложении растягивающих нагрузок они распрямляются вдоль оси до момента разрыва.

Для комбинированной электропроводящей нити (кривая 4, рисунок 3.1) условный предел упругости меньше, чем для исходных нитей. При растяжении крученой нити в первоначальный момент происходит распрямление комплексных нитей и их ориентация вдоль оси кручения. Затем в нити возникает эффект упрочнения, т. е. видоизменяется молекулярная структура полимеров, молекулярные цепи вытягиваются вдоль направления действия нагрузки за счет пластического деформирования ($\sigma_{упр}$). Далее при возрастании прилагаемой нагрузки происходит разрушение самого слабого элемента в структуре комбинированной нити, напряжение при этом соответствует координате точки **А** на кривой растяжения (вторая точка перегиба). Точка **А** соответствует предельному значению напряжения при растяжении и предельному относительному удлинению, при котором начинается разрушение материала. При этом у комбинированной электропроводящей нити происходит снижение пластических свойств. Такое поведение объясняется структурой самой нити: медная микропроволока, соединяясь с полиэфирными комплексными нитями разной крутки, находится на поверхности крученой нити, поэтому пластические свойства комбинированной электропроводящей нити понижаются вследствие взаимного влияния всех компонентов. Кроме этого, эффект упрочнения в комбинированной нити зависит в основном от свойств комплексной полиэфирной нити линейной плотности 29,4 текс ($\Delta\sigma_{упр}^{п/э} \approx \Delta\sigma_{упр}^{комб.}$).

В таблице 3.2 представлены значения деформационных свойств комбинированных электропроводящих нитей различного сырьевого состава, полученных при одинаковых технологических параметрах на тростильно-крутильной машине ТК-2-160М в два перехода (первичная крутка 540 кр/м, вторичная крутка 530 кр/м):

– вариант 1 – комбинированная полиэфирная электропроводящая нить (состоит из медной микропроволоки диаметром 0,05 мм и полиэфирных комплексных нитей линейной плотности 5,2 текс и 29,4 текс);

– вариант 2 – комбинированная полиамидная электропроводящая нить (состоит из медной микропроволоки диаметром 0,05 мм и

Витебский государственный технологический университет

полиамидных комплексных нитей линейной плотности 5,0 текс и 29,5 текс).

Таблица 3.2 – Сравнительный анализ деформационных свойств комбинированных электропроводящих нитей

Деформационные свойства	Вариант 1	Вариант 2
Упругие – $\sigma_у \cdot 10^7$, Па	171,67	52,67
Упрочняющие – $\sigma_{упр} \cdot 10^7$, Па	1,4	2,17
Пластические – $\sigma_{пл} \cdot 10^7$, Па	212	143

На рисунке 3.2 представлены кривые растяжения двух вариантов комбинированных нитей. Анализ кривых растяжения показал, что для комбинированных электропроводящих нитей различного сырьевого состава начало разрушения нити происходит при разных значениях напряжения и удлинения: у комбинированной полиэфирной электропроводящей нити – точка В (σ = 12,5·10^7 Па; ε = 10,5%); комбинированной полиамидной электропроводящей нити – точка С (σ = 7,5·10^7 Па; ε = 7,6%). Установлено, что характер изменения свойств комбинированных электропроводящих нитей при растяжении одинаков, однако более прочной является комбинированная полиэфирная электропроводящая нить [20–А, с. 30].

На основании анализа деформационных свойств можно прогнозировать обрывность нитей при переработке их на ткацком оборудовании и выбрать соответствующее оборудование.

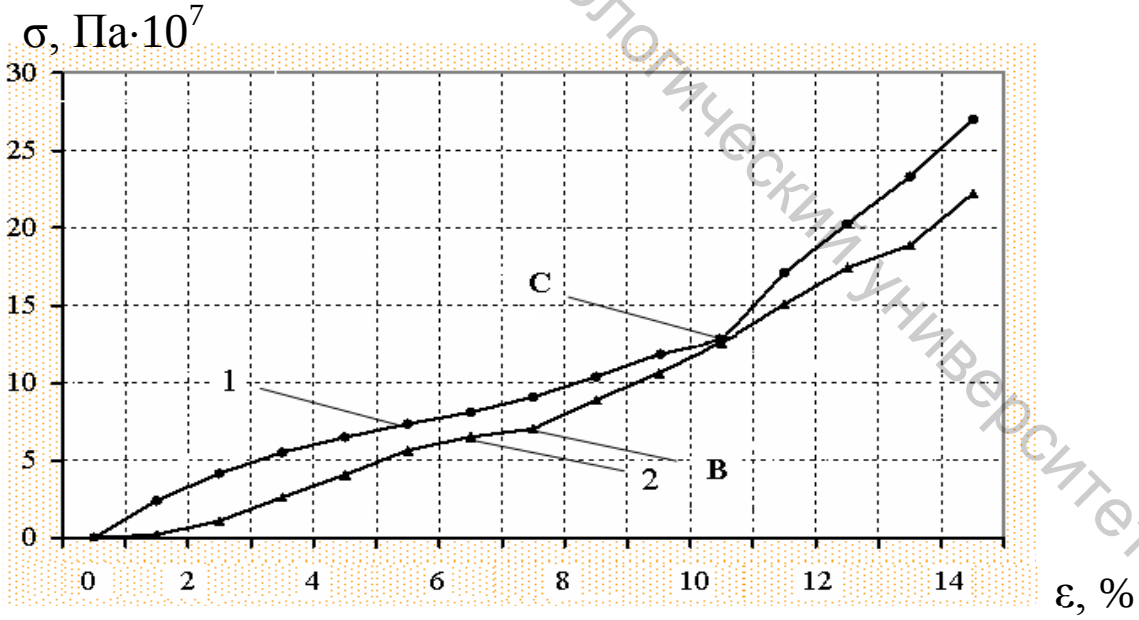


Рисунок 3.2 – Кривые растяжения комбинированных электропроводящих нитей

Витебский государственный технологический университет

3.2 Оценка показателей качества комбинированных электропроводящих нитей, полученных на тростильно-крутильном оборудовании

Комплексными показателями качества комбинированных электропроводящих нитей, характеризующих их механические свойства с учетом параметров структуры и свойств исходных компонентов, являются элементарная работа разрыва W_p и модуль жесткости на растяжение E_p. Оценку производственного качества крученых нитей проводят по показателю работы разрыва $W_к$, Дж/г [71]:

$$W_k = \frac{W_y}{(1+0,01C_p)^2}, \tag{3.4}$$

где W_y – удельная работа разрыва, Дж/г;

C_p – коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %.

Удельную работу разрыва можно определить по формуле К.И. Корицкого [63]:

$$W_y = 0,098 \cdot W_p. \tag{3.5}$$

Тогда

$$W_k = \frac{0,098 \cdot W_p}{(1+0,01C_p)^2}. \tag{3.6}$$

Элементарную работу разрыва определяем из кривой растяжения комбинированных электропроводящих нитей.

Был проведен двухфакторный эксперимент по определению влияния соотношения первичной и вторичной круток на работу разрыва комбинированных нитей [21–А, с. 72].

В таблице 3.3 представлены рассчитанные по формуле (3.6) значения показателя $W_к$ при различном соотношении круток.

Анализируя данные таблицы, можно отметить, что наибольшей работой разрыва обладают комбинированные электропроводящие нити при сочетании первичной крутки 480 кр/м и вторичной крутки 480 или 570 кр/м.

Таблица 3.3 – Работа разрыва крученых нитей при различном сочетании круток

Величина первичной крутки (K_1), кр/м	Работа разрыва крученых нитей, Дж		
	Величина вторичной крутки (K_2), кр/м		
	480	525	570
390	1,54	1,65	1,64
480	1,72	1,68	1,73
570	1,62	1,53	1,41

Витебский государственный технологический университет

С использованием программы статистики получена модель, описывающая характер связи между работой разрыва и крутками K_1 и K_2 [22–А, с.101].

$$W_p = 1,7 - 0,045 \cdot K_1 - 0,135 \cdot K_1^2 - 0,077 \cdot K_1 \cdot K_2 . \qquad (3.7)$$

Согласно полученной математической модели величина работы разрыва крученых нитей в наибольшей степени зависит от первичной крутки и от сочетания двух круток.

По полученным экспериментальным данным наработана опытная партия комбинированных электропроводящих нитей, физико-механические и электрические свойства которых представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Физико-механические свойства комбинированных электропроводящих нитей

Наименование показателя	Комбинированная полиэфирная электропроводящая нить	Комбинированная полиамидная электропроводящая нить
Линейная плотность, текс	55	55
Коэффициент вариации по линейной плотности, %	1,0	1,3
Абсолютная разрывная нагрузка нити, сН	1715	1750
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	7,5	4,0
Удлинение нити при разрыве, %	14,4	13,6
Коэффициент вариации по разрывному удлинению, %	4,5	7,4
Стойкость к многократному изгибу, циклы	3500 – 4000	3600 – 4200
Стойкость к истиранию, циклы	970 – 1350	1050 – 1290

При анализе полученных свойств комбинированных электропроводящих нитей различных сырьевых составов установлено, что данные нити обладают высокими разрывными характеристиками, имеют значительную стойкость к изгибающим и истирающим нагрузкам.

Витебский государственный технологический университет

3.3 Теоретический анализ структуры и свойств комбинированных электропроводящих нитей, полученных на тростильно-крутильном оборудовании

Для эффективной переработки полученных нитей в тканые полотна необходимо прогнозировать различные физико-механические характеристики. В связи с этим разработана методика расчета основных характеристик комбинированных электропроводящих нитей: линейной плотности, коэффициента нагона, диаметра, процентного содержания компонентов и крутки [9–А, с. 60].

Получена теоретическая зависимость для расчета линейной плотности комбинированных электропроводящих нитей [11–А]:

$$T_{к.н} = T_c K_c + T_{м.пр} K_{м.пр} + T_n K_n, \qquad (3.8)$$

где $T_{к.н}$ – линейная плотность комбинированной электропроводящей нити, текс;

T_c – линейная плотность сердечника, текс;

$T_{м.пр}$ – линейная плотность микропроволоки, текс;

$K_{м.пр}$ – коэффициент нагона микропроволоки;

T_n – линейная плотность покрывающего компонента, текс;

K_n – коэффициент нагона покрывающего компонента.

Коэффициент нагона, например, микропроволоки (покрывающего компонента) в составе комбинированной электропроводящей нити предложено определять по формуле

$$K_{м.пр(n)} = \frac{l_0}{l_1}, \qquad (3.9)$$

где l_0 – первоначальная длина микропроволоки (покрывающего компонента) до скручивания, мм;

l_1 – длина микропроволоки (покрывающего компонента) после скручивания, мм.

Диаметр комбинированной электропроводящей нити определяет условия проектирования из нее готовых изделий. Комплексные химические нити в структуре комбинированной нити можно представить в виде цилиндров, заключенных внутри цилиндра (рисунок 3.3) [10–А].

Диаметр внутреннего цилиндра соответствует диаметру сердечника d_c – комплексной химической нити. Диаметры внешних цилиндров $d_{м.пр}$ и d_n соответствуют диаметрам микропроволоки и покрывающего компонента –комплексной химической нити. Диаметр

Витебский государственный технологический университет

общего внешнего цилиндра $D_{к.н}$ соответствует диаметру комбинированной электропроводящей нити. Толщина покрытия равна половине разности между диаметрами комбинированной электропроводящей нити и диаметром сердечника.

Если принять, что t – толщина покрытия, $D_{к.н}$ – диаметр комбинированной электропроводящей нити (мм) и d_c – диаметр сердечника, (мм), то

$$\frac{D_{к.н} - d_c}{2} = t\,. \tag{3.10}$$

Масса покрытия, г

$$m_{пок} = m_{м.пр.} + m_п\,, \tag{3.11}$$

где $m_{м.пр}$ – масса микропроволоки, г;

$m_п$ – масса покрывающего компонента.

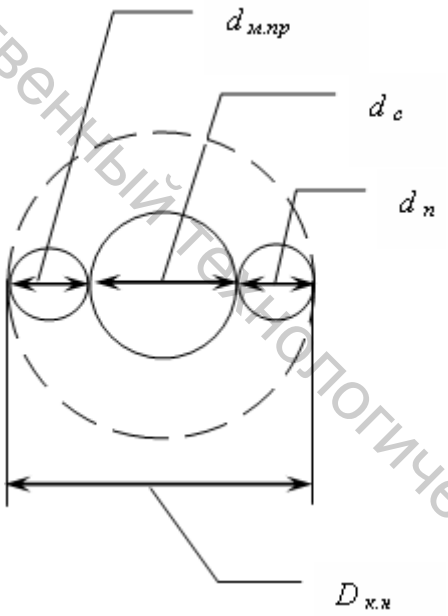


Рисунок 3.3 – Схема поперечного сечения комбинированной электропроводящей нити

$$m_{пок} = \left(\frac{D_{к.н}{}^2 \pi}{4} - \frac{d_c{}^2 \pi}{4} \right) \cdot l \gamma_{пок}\,; \tag{3.12}$$

$$m_{пок} + \frac{d_c{}^2}{4} \pi l \gamma_{пок} = \frac{D_{к.н}{}^2}{4} \pi l \gamma_{пок}\,; \tag{3.13}$$

Витебский государственный технологический университет

$$D_{к.н} = \sqrt{\frac{4m_{пок}}{\pi l \gamma_{пок}} + d_c^{\,2}}\,, \qquad (3.14)$$

где $\gamma_{пок}$ – средняя плотность покрытия, г/см^3;
l – длина нити в покрытии, м.

$$\frac{m_{пок}}{l} = \frac{T_{пок}}{1000}. \qquad (3.15)$$

Подставляя в формулу (3.11) линейную плотность T (текс) и среднюю плотность (г/см^3), получим формулу

$$\frac{T_{пок}}{\gamma_{пок}} = \frac{T_{м.пр}}{\gamma_{м.пр}} + \frac{T_п}{\gamma_п}. \qquad (3.16)$$

Масса сердечника определяется по формуле

$$m_c = \frac{\pi d_c^{\,2}}{4} \cdot l \gamma_c\,, \qquad (3.17)$$

$$d_c^{\,2} = \frac{4T_c}{\pi \gamma_c \cdot 1000}. \qquad (3.18)$$

Подставляя в формулу (3.14) последнее выражение, получим

$$D_{к.н} = \sqrt{\left(\frac{4T_{пок}}{\pi \gamma_{пок}} + \frac{4T_c}{\pi \gamma_c}\right) \cdot \frac{1}{1000}}\,. \qquad (3.19)$$

Установлено, что, поскольку при формировании комбинированной электропроводящей нити присутствует эффект нагона покрывающих составляющих, то в дальнейших расчетах необходимо учитывать их коэффициенты нагона, вычисляемые по формуле (3.9).

Подставляя в формулу (3.19) выражение (3.16) и учитывая коэффициенты нагона, с целью прогнозирования прочностных свойств и геометрических характеристик готовых текстильных изделий, получена формула для расчета диаметра комбинированных электропроводящих нитей (мм):

Витебский государственный технологический университет

$$D_{к.н} = 0,0357K\sqrt{\frac{T_c}{\gamma_c} + \frac{T_{м.пр}}{\gamma_{м.пр}} \cdot \quad {}_{м.пр} + \frac{T_п}{\gamma_п} \cdot \quad {}_п} \,. \qquad (3.20)$$

Полученная теоретическая модель для расчета диаметра комбинированной электропроводящей нити в зависимости от характеристик исходных компонентов позволяет с достаточной точностью подбирать диаметры КЭПН и диэлектрических нитей и пряжи в структуре тканей с достижением необходимых электрофизических свойств. Экспериментально диаметр комбинированной нити определялся визуально под микроскопом.

Процентное содержание комплексной химической нити (сердечника) в структуре КЭПН выражается следующей зависимостью:

$$Z_c = \frac{T_c}{T_{к.н}} \cdot 100\% \,. \qquad (3.21)$$

Процентное содержание медной микропроволоки в КЭПН определяется:

$$Z_{м.пр} = \frac{T_{м.пр}}{T_{к.н}} \cdot 100\% \,. \qquad (3.22)$$

Содержание закрепляющей комплексной нити в КЭПН определяется по формуле

$$Z_з = \frac{T_з}{T_{к.н}} \cdot 100\% \,. \qquad (3.23)$$

Процентное содержание составляющих КЭПН варьируется в следующих пределах:

$Z_c = 50 - 54\%$;

$Z_{м.пр} = 34 - 37\%$;

$Z_п = 9 - 16\%$.

Физико-механические свойства КЭПН, определённые экспериментальным и расчетным путём, представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Физико-механические параметры комбинированных электропроводящих нитей

Вид КЭПН	Линейная плотность, текс		Отклонение, %	Диаметр, мм		Отклонение, %
	Расчетная	Фактическая		Расчетный	Фактический	
ПЭ	54,5	55,1	1,08	0,29	0,3	3,3
ПА	54,9	55,2	0,5	0,3	0,31	3,2

Витебский государственный технологический университет

Немаловажной характеристикой КЭПН является крутка, которую нить получает в процессе формирования. Компонентам, выходящим после ролика контроля обрыва трощеной нити со скоростью переднего цилиндра ($V_{п.ц.}$) питающего прибора, передается крутящий момент от веретена и бегунка. За каждый оборот веретена нить получает один виток крутки. На участке от вершины веретена до переднего цилиндра питающего прибора происходит формирование крученой нити [66]. Число кручений (кр/м) скручиваемых стренг определяется по формуле

$$K = \frac{n_в}{V_{п.ц} \cdot K_у}, \qquad (3.24)$$

где $n_в$ – частота вращения веретена, мин$^{-1}$;
$V_{п.ц.}$ – скорость переднего цилиндра питающего прибора, м/мин;
$K_у$ – коэффициент укрутки.

Для того чтобы нить имела равномерную структуру, скорость выпуска компонентов передним цилиндром ($V_{п.ц.}$) должна опережать скорость выпуска крученой нити ($V_{вып}$) на величину укрутки.

Коэффициент укрутки отдельных компонентов при первом кручении определяется выражением

$$K_{у.1} = \frac{l_1}{l_0}, \qquad (3.25)$$

где l_1 – длина сердечника после скручивания, мм;
l_0 – первоначальная длина сердечника до скручивания, мм.

Общий коэффициент укрутки двух компонентов после первого кручения определяется зависимостью

$$K_{у.о1} = K_{у.м.пр} \cdot K_{у.с}, \qquad (3.26)$$

где $K_{у.м.пр}$ – коэффициент укрутки микропроволоки;
$K_{у.с}$ – коэффициент укрутки сердечника.

Общий коэффициент укрутки нити после второго кручения определяется по формуле

$$K_{у.о2} = K_{у.о1} \cdot K_{у.п}, \qquad (3.27)$$

где $K_{у.п}$ – коэффициент укрутки покрывающего компонента.

Витебский государственный технологический университет

По полученным теоретическим зависимостям рассчитаны значения первичной и вторичной круток. Значения экспериментально измеренных и рассчитанных круток комбинированных электропроводящих нитей представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Сравнительные значения круток комбинированных электропроводящих нитей

Вид КЭПН	Крутка первичная, кр/м		Отклонение, %	Крутка вторичная, кр/м		Отклонение, %
	расчетная	фактическая		расчетная	фактическая	
ПЭ	545	570	4,4	510	530	3,8
ПА	425	450	5,0	500	480	4,0

При анализе полученных результатов установлено, что разница между теоретическими и фактическими характеристиками не превышает 5 %. Следовательно, разработанные теоретические зависимости применимы для расчета основных показателей комбинированных электропроводящих нитей.

3.4 Теоретические исследования процесса кручения с определением геометрического строения и разрывной нагрузки комбинированной электропроводящей нити, полученной на машине ТК-2-160М

Для теоретического исследования процесса кручения с определением геометрического строения и разрывной нагрузки комбинированной нити рассмотрим электропроводящие нити, полученные на тростильно-крутильной машине ТК-2-160М.

Комбинированная электропроводящая нить представляет собой сердечник, обкрученный двумя компонентами по винтовым линиям, радиус осевой линии каждой из которых равен радиусу поперечного сечения комбинированной электропроводящей нити [12–А, с. 26].

Исходя из условий формирования нити, ее геометрическую модель можно представить в форме прямых полых круговых цилиндров радиусом r , волокна в которых расположены по винтовым линиям с постоянным шагом h**.** При скручивании нескольких нитей отдельное волокно приобретает форму «двойной» винтовой линии, то есть винтовой линии с определенной кривизной и кручением – второй кривизной, обкрученной вокруг другой винтовой линии.

Описанная технология и фотография нити при увеличении не позволяют считать микропроволоку наружной элементарной нитью одной из скрученных между собой химических нитей. Так как линия на плоскости разворачивается в прямую, то крученые нити имеют псевдоплоскую структуру, и в этом случае возможно применять двумерный подход.

Витебский государственный технологический университет

Рассмотрим схему нагружения нити (рисунок 3.4).

Компоненты составляют углы α, β и γ с вертикалью. Система, состоящая из трех различных упругих нитей, нагружена силой $Q_{к.н}$, направленной вдоль вертикальной осевой линии крученой нити. Из-за того, что углы α, β и γ все имеют разное значение, а также модули упругости нитей различны, следовательно, полное перемещение точки A будет иметь горизонтальную составляющую. Но после растяжения ось крученой нити остается прямой. Данное явление возникает при взаимном перемещении компонентов.

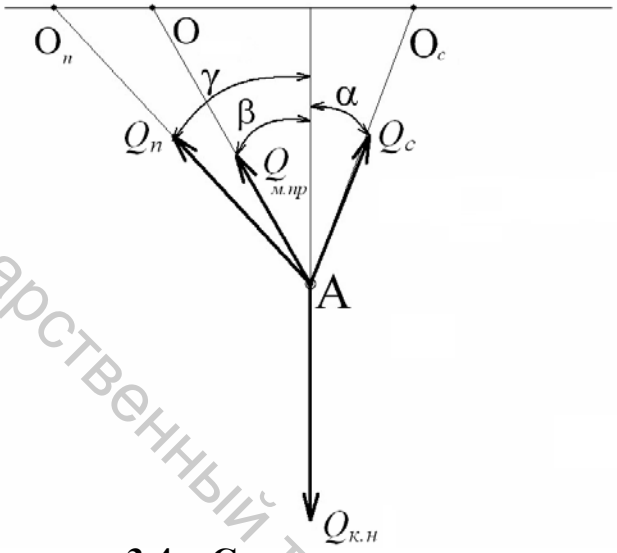


Рисунок 3.4 – Схема нагружения нити

На рис. 3.4. $O_{с}$ – осевая линия сердечника; $O_{м.\,пр}$ – осевая линия микропроволоки; $O_{п}$ – осевая линия покрывающего компонента; α – угол между сердечником и осью комбинированной нити, рад; β – угол между микропроволокой и осью комбинированной нити, рад; γ – угол между покрывающим компонентом и осью комбинированной нити, рад.

Поэтому теоретическое определение разрывной нагрузки (прочности) комбинированной электропроводящей нити может быть достигнуто при описании геометрического строения комбинированной нити и при расчете статически неопределимой системы упругих нитей.

Обозначим деформацию комбинированной нити $\varepsilon_{к.н}$. Угол подъема винтовой линии (оси химической нити – сердечника O_c), то есть угол между касательной к винтовой линии и образующей цилиндра, равен α. Тогда деформация осевой линии O_c запишется в виде уравнения деформаций:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{к.н} \cdot \cos^2 \alpha \,. \qquad (3.28)$$

Витебский государственный технологический университет

Также можно представить деформацию микропроволоки и обкручивающего компонента:

$$\varepsilon_{м.пр} = \varepsilon_{к.н} \cdot \cos^2 \beta \; ; \qquad (3.29)$$

$$\varepsilon_{п} = \varepsilon_{к.н} \cdot \cos^2 \gamma \; . \qquad (3.30)$$

Диаметры составляющих компонентов различны, при скручивании они располагаются под разными углами к оси комбинированной нити, следовательно $\varepsilon_{с} \neq \varepsilon_{м.пр} \neq \varepsilon_{п}$.

Значения деформаций связаны соотношением

$$\frac{\varepsilon_{с}}{\cos^2 \alpha} = \frac{\varepsilon_{м.пр}}{\cos^2 \beta} = \frac{\varepsilon_{п}}{\cos^2 \gamma} \; . \qquad (3.31)$$

Выразим деформации через силы:

$$\frac{Q_{п}}{E_{п} \cdot F_{п}} = \frac{Q_{с}}{E_{с} \cdot F_{с}} \cdot \frac{\cos^2 \gamma}{\cos^2 \alpha} \; , \qquad (3.32)$$

где $E_{с(п)}$ – модуль упругости сердечника (покрывающего компонента), МПа;

$F_{с(п)}$ – площадь поперечного сечения сердечника (покрывающего компонента), мм^2;

$E_{с(п)} \cdot F_{с(п)}$ – жесткость при растяжении сердечника (покрывающего компонента), МПа·мм^2 ;

$Q_{с(п)}$ –разрывная нагрузка сердечника (покрывающего компонента), *сН*.

Величины α и γ определяются из формул

$$\gamma = arctg(2\pi R_{к.н}(K_2 + {}_0)) \; , \qquad (3.33)$$

$$\alpha = arctg(2\pi R_{к.н}(K_1 + {}_0 - {}_2)) \; , \qquad (3.34)$$

где $K_{0(1),(2)}$ – соответственно начальная (первичная), (вторичная) крутка, кр/мм;

$R_{к.н}$ – радиус комбинированной нити, мм.

Тогда

Витебский государственный технологический университет

$$Q_n = Q_c \frac{E_n \cdot F_n}{E_c \cdot F_c} \cdot \frac{\cos^2 \gamma}{\cos^2 \alpha}. \qquad (3.35)$$

Пусть $\frac{E_n \cdot F_n}{E_c \cdot F_c} = q_n$,

тогда

$$Q_n = Q_c q_n \cdot \frac{\cos^2 \gamma}{\cos^2 \alpha}. \qquad (3.36)$$

Так как исходные компоненты неодинаковы, то в процессе формирования комбинированной электропроводящей нити каждый из них приобретает новую крутку, по направлению и по величине отличающуюся от начальной. Следовательно, для соответствующих компонентов:

$$\frac{E_c \cdot F_c}{E_{м.пр} \cdot F_{м.пр}} = q_c, \qquad (3.37)$$

где $E_{м.пр} \cdot F_{м.пр}$ – жесткость при растяжении микропроволоки, МПа·мм^2;

$$\frac{E_{м.пр} \cdot F_{м.пр}}{E_n \cdot F_n} = q_{м.пр}, \qquad (3.38)$$

$$\frac{E_n \cdot F_n}{E_{м.пр} \cdot F_{м.пр}} = q_n, \qquad (3.39)$$

Тогда, для соответствующих компонентов запишутся равенства:

$$Q_{м.пр} = Q_c \cdot q_{м.пр} \cdot \frac{\cos^2 \beta}{\cos^2 \alpha}, \qquad (3.40)$$

где $Q_{м.пр}$ – разрывная нагрузка микропроволоки, *сН*.

$$Q_c = Q_{м.пр} \cdot q_c \cdot \frac{\cos^2 \beta}{\cos^2 \gamma}, \qquad (3.41)$$

$$Q_n = Q_{м.пр} q_n \cdot \frac{\cos^2 \beta}{\cos^2 \alpha}, \qquad (3.42)$$

$$Q_{м.пр} = Q_n \cdot q_{м.пр} \cdot \frac{\cos^2 \gamma}{\cos^2 \beta}, \qquad (3.43)$$

Витебский государственный технологический университет

$$Q_c = Q_n \cdot q_c \cdot \frac{\cos^2 \gamma}{\cos^2 \alpha}. \qquad (3.44)$$

Равновесие системы описывается уравнением

$$Q_c \cos\alpha + Q_{м.пр} \cdot \cos\beta + Q_n \cdot \cos\gamma = Q_{к.н}. \qquad (3.45)$$

Учитывая ранее приведенные равенства, прочность комбинированной нити определяется выражением

$$Q_{к.н} = Q_c \cdot \cos\alpha + \left(Q_c \cdot q_{м.пр} \cdot \frac{\cos^2 \beta}{\cos^2 \alpha} \right) \cdot \cos\beta + \left(Q_c q_n \cdot \frac{\cos^2 \gamma}{\cos^2 \alpha} \right) \cdot \cos\gamma. \qquad (3.46)$$

Данные комбинированные нити используются в тканях специального назначения. Одним из требований к тканям специального назначения является отсутствие обрыва металлической составляющей, поэтому предельное состояние комбинированной электропроводящей нити определяется формулой

$$Q_{к.н} = Q_{м.пр} \left(q_c \frac{\cos^2 \beta \cdot \cos\alpha}{\cos^2 \gamma} + q_n \cdot \frac{\cos^2 \beta \cdot \cos\gamma}{\cos^2 \alpha} + \cos\beta \right). \qquad (3.47)$$

Возможны различные варианты развития процесса:

$$Q_{к.н} = Q_c \left(q_{м.пр} \frac{\cos^3 \beta}{\cos^2 \alpha} + q_n \frac{\cos^3 \gamma}{\cos^2 \alpha} + \cos\alpha \right), \qquad (3.48)$$

$$Q_{к.н} = Q_n \left(q_c \cdot \frac{\cos^2 \gamma}{\cos\alpha} + q_{м.пр} \cdot \frac{\cos^2 \gamma}{\cos\beta} + \cos\gamma \right). \qquad (3.49)$$

Зная условия формирования комбинированной электропроводящей нити, ее геометрическую модель, можно представить в форме прямых полых круговых цилиндров различных радиусов, элементарные нити в которых расположены по винтовым линиям с постоянным шагом *h* (рисунок 3.5).

Витебский государственный технологический университет

При этом шаг винтовой линии не зависит от текущего радиуса нити и определяется круткой нити:

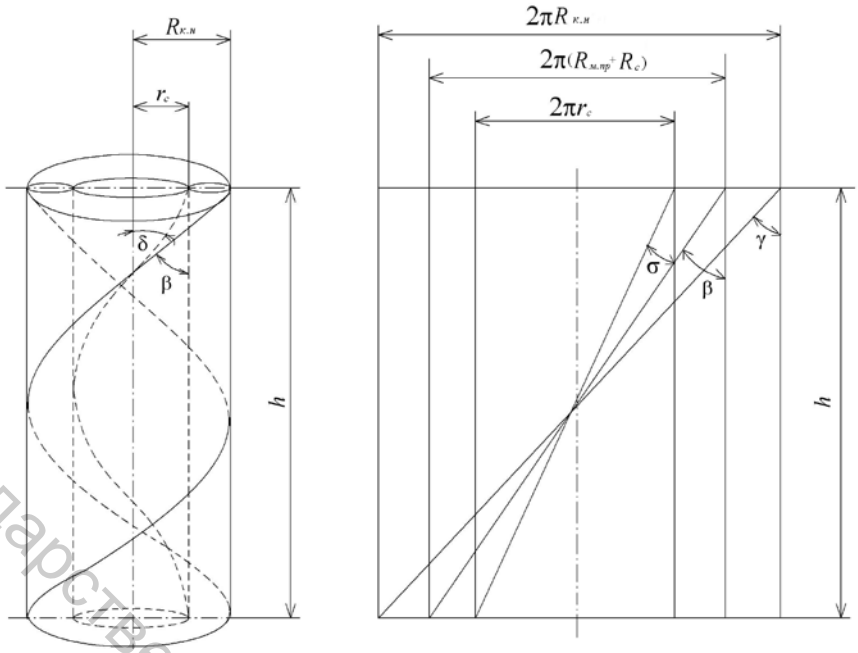


Рисунок 3.5 – Геометрическая модель комбинированной электропроводящей нити

$$K_1 = \frac{1}{h}. \tag{3.50}$$

Угол между касательной к винтовой линии и образующей цилиндра равен σ.

На рисунке видно, что

$$tg\sigma = \frac{2\pi r}{h} \tag{3.51}$$

или

$$tg\sigma = 2\pi r K_1. \tag{3.52}$$

Следовательно, можно записать

$$\delta = \frac{d\varphi}{dt} = 2\pi r K_1. \tag{3.53}$$

Длину нити можно найти из формулы

$$L = \sqrt{h^2 + (2\pi r)^2} = \sqrt{1 + (2\pi r K_1)^2 h}. \tag{3.54}$$

Когда скручиваются две и более нитей, ось каждой из них становится пространственной кривой.

Витебский государственный технологический университет

При скручивании трех нитей диаметрами $2R_1$, $2R_2$, $2R_3$ ось любой из этих нитей будет расположена на воображаемом цилиндре диаметром $2(R_1 + R_2 + R_3)$ по винтовой линии с углом подъема γ. Мерой уклонения кривой от плоской формы является ее кручение или ее вторая кривизна (м$^{-1}$), которая равна:

$$\chi_1 = \frac{\sin 2\gamma}{2R_{к.н}} = \frac{\sin 2\gamma}{2(R_c + R_{м.пр} + R_n)}, \qquad (3.55)$$

где $2R_{к.н} = D_{к.н}$.

$$DK_{к.н} = 0,0357K\sqrt{\frac{T_c}{\gamma_c} + \frac{T_{м.пр}}{\gamma_{м.пр}} \cdot \quad {}_{м.пр} + \frac{T_n}{\gamma_n} \cdot \quad {}_n}.$$

Относительный угол закручивания двух сечений, расположенных на расстоянии dl друг от друга, определяется формулой

$$\delta_1 = \frac{d\varphi}{dl}. \qquad (3.56)$$

Тогда общее суммарное деформационное кручение перепишется в форме

$$\delta_1 = \frac{d\varphi}{dt} + \chi_1. \qquad (3.57)$$

Наибольшее значение в области теории кручения нитей имеют работы В.П. Щербакова [67], Л.Р.Г. Трелора [68], П.Г. Шляхтенко и Г.П. Мещерякова [69]. На основании их исследований можно утверждать, что форма кривой волокна образована вращением вектора r, движущегося с постоянной скоростью вдоль винтовой оси одиночной нити, и представляет собой винтовую линию, расположенную на другой винтовой линии.

После некоторых преобразований получается

$$\beta = arctg\left(\frac{tg\gamma + R_{к.н} \cdot \chi_1 \cdot \frac{\eta_1}{\eta}}{2(1 - R_{к.н} \cdot \chi_1 \cdot \frac{\eta_1}{\eta} \cdot tg\gamma)}\right). \qquad (3.58)$$

Вычислим величины η_1 и η.

Для нити первичной крутки диаметром $2R_{к.н} = 0,31$ мм с круткой $K_1 = 545$ кр/м $= 0,545$ кр/мм по формуле (3.60) получаем $\eta_1 = 0,987$.

Витебский государственный технологический университет

Угол подъема оси компонента комбинированной нити с вторичной круткой $K_2 = 530$ кр/м = *0,53* кр/мм равен:

$$\gamma = arctg(2\pi \cdot 0{,}154 \cdot (0{,}53 + 0{,}2) = 0{,}64 \qquad = 36{,}6^{\circ}.$$

Расчет относительной длины осевой линии этого компонента η после скручивания по формуле (3.62) дает η = 0,992.

Следовательно, изменения длины продуктов в результате первичной и вторичной крутки незначительны.

Значит можно принять $\eta_1 = \eta = 1$.

Таким образом, угол β, для определения которого создавалась вышеприведенная теория, равен $\beta = 36{,}3^{\circ}$, когда экспериментально определенный угол равен 34°. На рисунке 3.6 представлены теоретические модели и фотография КЭПН при увеличении.

Судя по незначительной разнице между расчетными и экспериментальными углами микропроволоки, данные модели можно использовать для комбинированных электропроводящих нитей различных линейных плотностей.

Технология комбинированной электропроводящей нити предусматривает наличие высокомодульного компонента – медной микропроволоки. Жесткость нитей находим, руководствуясь таблицей 3.7, в которой приведены значения усилий, возникающие в нити при деформировании на разрывной машине в режиме постоянной скорости деформации.

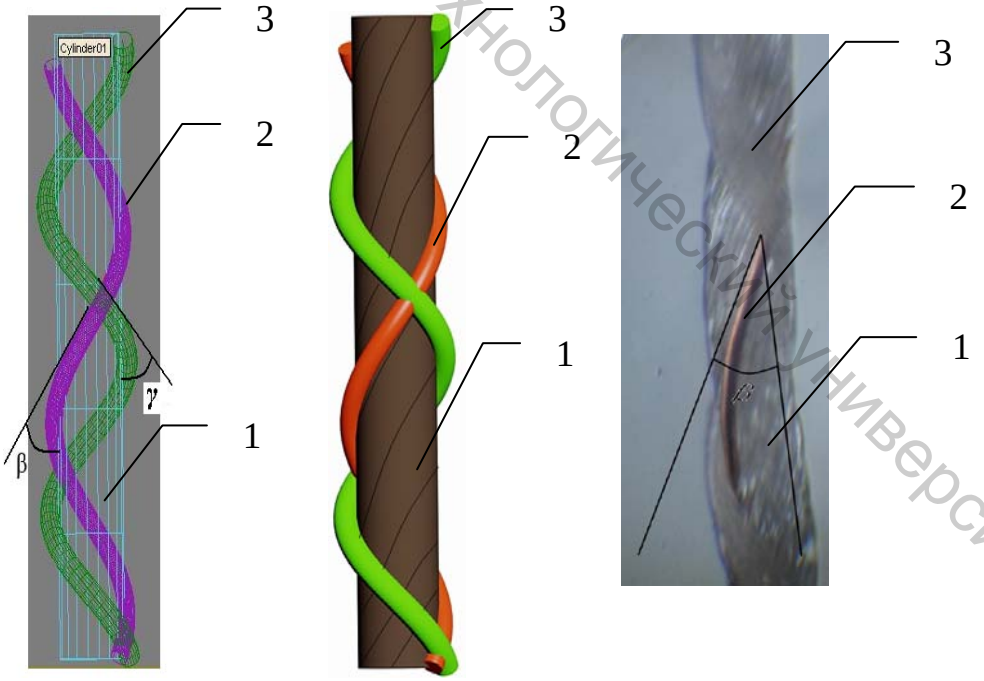


Рисунок 3.6 – Сравнительные рисунки теоретических моделей и экспериментальной фотографии комбинированной электропроводящей нити:

1 – стержневая комплексная химическая нить; 2 – медная микропроволока; 3 – покрывающая комплексная химическая нить

Витебский государственный технологический университет

Таблица 3.7 – Зависимости усилий нитей (сН) от постоянной скорости деформации

Вид нити	Деформация нити, %											
	0	1,5	3	4,5	6	9	10,5	12	13,5	15	16,5	18
ПЭ 5,3 текс	0	42,7	91,2	118,9	139,2	155,4	159,3	165	170,4	174,5	179,5	180,2
ПЭ 29,4 текс	0	199,63	337,3	386,4	463,2	781,5	1146	1505	1711,1			
Медная	0	43,1	43,5	44,3	45	45,3	45,3	45,3	45,3			
КЭПН	0	168	298	435	525	762	1045	1395	1714,6			

В таблице 3.7 приведено опытное значение разрывной нагрузки комбинированной полиэфирной электропроводящей нити для деформации разрыва 13,5 %, равное *1714,6* сН. Отклонение расчетных и экспериментальных значений не превышает 3 %.

Для полиамидной комбинированной электропроводящей нити жесткости нитей находим, руководствуясь таблицей 3.8.

В таблице 3.8 приведено опытное значение разрывной нагрузки комбинированной полиамидной электропроводящей нити, равное *1730 сН*. Отклонение расчетных и экспериментальных значений не превышает 3 %.

Таблица 3.8 – Зависимости усилий нитей (сН) от постоянной скорости деформации

Вид нити	Деформация нити, %											
	0	1,5	3	4,5	6	9	10,5	12	13,5	15	16,5	18
ПА 5,0 текс	0	18	32,1	42,4	61,9	105,8	132,1	150,3	175,5	190	250,5	
ПА 29,5 текс	0	247,3	360	550,4	728,5	1228	1370,2	1381	1640			
Медная	0	43,1	43,5	44,3	45	45,3	45,3	45,3	45,3			
КЭПН	0	40,5	192,1	374,2	464,1	736	960,4	1174	1363	1630	1730	

В результате проведенных теоретических исследований структуры и прочностных параметров комбинированных электропроводящих нитей получены математические модели, позволяющие с достаточной точностью рассчитывать абсолютные разрывные нагрузки комбинированных электропроводящих нитей различного сырьевого состава в зависимости от характеристик исходных компонентов.

Витебский государственный технологический университет

3.5 Теоретическое исследование интенсивности нагрузки и натяжения при баллонировании комбинированной электропроводящей нити на машине ТК-2-160М

В процессе кручения участок нити между нитепроводником и бегунком вращается с частотой вращения бегунка вокруг оси, находящейся в вертикальной плоскости, проходящей через веретено. Под влиянием центробежных сил, действующих перпендикулярно оси вращения, нить отбрасывается в сторону и принимает выпуклую форму, описывая в пространстве баллон.

Нить преодолевает значительные силы трения бегунка о кольцо, так как при увеличении угловой скорости бегунка возникает большая центробежная сила, прижимающая его к кольцу. Кроме центробежных сил на нить действует сила сопротивления воздуха, вес нити, сила Кориолиса (вследствие относительного и переносного движения нити).

Наиболее полно механика гибкой нити изложена в работах А. П. Минакова, И. И. Мигушова [70], Ю. В. Якубовского [71] и др. Вопросами теории процесса баллонирования на текстильном оборудовании занимались Н. Е. Жуковский, А. Н. Васильев [72], А. Г. Коган [15], А. А. Баранова [73], Н. Н. Бодяло [74] и др. Специфика разработанного процесса формирования крученых комбинированных нитей на тростильно-крутильных машинах вызвала необходимость тщательного изучения процесса баллонирования нити первичной и вторичной крутки и разработки нового аналитического метода определения их натяжения в баллоне. Процесс сматывания нити с равномерно вращающейся паковки будем рассматривать как установившееся вращательное движение с постоянной угловой скоростью ω. На участке от бобины до шпинделя веретена комбинированная нить в результате вращения получает форму баллона ABD (рисунок 3.7).

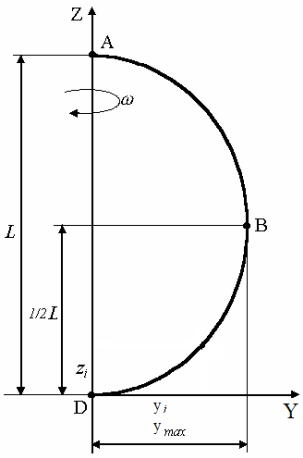


Рисунок 3.7 – Расчетная схема движения нити

Витебский государственный технологический университет

Образующую баллон нить будем рассматривать как гибкую материальную линию, которая не искривляется от сопротивления воздуха и расположена в вертикальной плоскости. При анализе также не учитываем силу Кориолиса, величина которой незначительна вследствие малой продольной скорости движения нити. Тогда на баллонирующую нить действуют центробежная сила и сила тяжести.

Центробежную силу (Н), действующую на единицу длины нити, можно определить по формуле

$$F_ц = m\omega^2 y_i, \tag{3.59}$$

где m – масса единицы длины нити, кг;

y_i – радиус баллона элемента нити, м;

ω – угловая скорость вращения веретена, с$^{-1}$.

$$\omega = \frac{\pi n_{BP}}{30}, \tag{3.60}$$

где n_{BP} – частота вращения веретена, мин$^{-1}$.

Определим длину нити в баллоне при разных положениях кольцевой планки. При верхнем положении кольцевой планки длина нити в баллоне практически совпадает с длиной нити в статическом положении. Следовательно, зная радиус кольца (0,0625 м) и высоту баллона, можно определить длину нити в баллоне L.

При определении интенсивности нагрузки комбинированной электропроводящей нити в процессе баллонирования представим нить как изогнутую балку и воспользуемся уравнением упругой линии (нити) [75, с. 165]:

$$q_i = \frac{F_ц}{L} = \frac{mw^2 y_i}{L}, \text{ (Н/м)}, \tag{3.61}$$

где L – длина нити в баллоне, м, ($L_{\min} \le L \le L_{\max}$).

Представим схему нагружения нити как упругую балку на опорах, нагруженную равномерно распределенной нагрузкой q_i (рисунок 3.8).

Опорные реакции при такой схеме нагружения определяются выражением

$$R_A = R_D = \frac{q_i \cdot L}{2}, \text{ (Н)} \tag{3.62}$$

Витебский государственный технологический университет

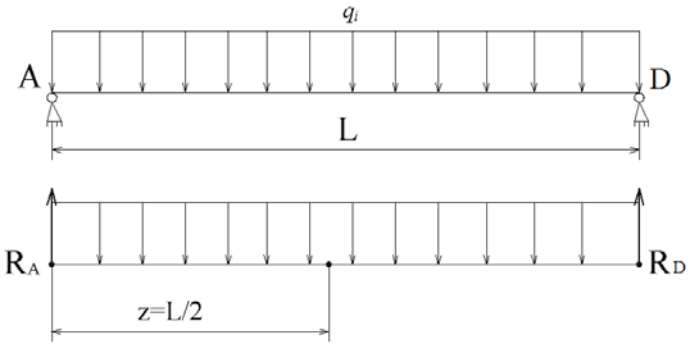


Рисунок 3.8 – Схема нагружения нити

Изгибающий момент от действия центробежных сил интенсивностью q_i в сечении z (см. рисунок 3.8) M_z (кН·м) определяется равенством:

$$M_z = R_A \cdot z - \frac{q_i \cdot z^2}{2}, \tag{3.63}$$

где z – координата сечения нити (м), при $0 \le z \le L$.

$$M_z = \frac{q_i \cdot L \cdot z}{2} - \frac{q_i \cdot z^2}{2} = \frac{q_i \cdot z}{2}(L - z). \tag{3.64}$$

Форму изогнутой оси балки или форму упругой линии можно определить при помощи выражения

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_z}{E_{экв} J_{экв}}, \tag{3.65}$$

где $E_{экв}$ – эквивалентный модуль упругости комбинированной электропроводящей нити, МПа;

$J_{экв}$ – эквивалентный момент инерции комбинированной электропроводящей нити, м^4;

ρ – радиус кривизны нити, м;

$E_{экв}J_{экв}$ – параметр, определяемый из условия равных деформаций всех компонентов, входящих в систему, МПа·м^4.

В неподвижной системе координат y, z:

Витебский государственный технологический университет

$$\frac{1}{\rho} = \frac{y''}{(1+y'^2)^{3/2}}. \qquad (3.66)$$

Для заданной схемы нагружения решение дифференциального уравнения [76, с. 79] имеет вид:

$$y_i = \frac{q_i}{24E_{экв}J_{хэкв}}\left[2Lz^3 - z^4 - L^3 z\right], \qquad (3.67)$$

при $0 \le z \le L$.

Определим геометрические и механические характеристики нити.

Модули упругости исходных компонентов комбинированной нити представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Модули упругости исходных компонентов комбинированной нити

Показатель	Модуль упругости, МПа
Нити полиэфирные	
Высокой прочности (сердечник)	13500 – 16000
Средней прочности (покрывающий компонент)	12000 – 14000
Медная микропроволока	120000 – 130000

Момент инерции для круга определим по следующей зависимости:

$$J_{экв} = \frac{\pi d^4}{64}, \qquad (3.68)$$

где d – диаметр нити, м.

Диаметр нити (мм) первичной крутки определяется выражением

$$d_1 = 0,0357\sqrt{\frac{T_c}{\gamma_c} + \frac{T_{м.пр}}{\gamma_{м.пр}} \cdot K_{м.пр}}, \qquad (3.69)$$

Тогда для нити первичной крутки можно записать:

$$\frac{1}{E_{экв} \cdot J_{экв}} = \frac{1}{E_c \cdot J_c} + \frac{1}{E_{м.пр} \cdot J_{м.пр}}, \qquad (3.70)$$

Витебский государственный технологический университет

$$E_{экв} \cdot J_{экв} = \frac{E_c \cdot J_c \cdot E_{м.пр} \cdot J_{м.пр}}{E_{м.пр} \cdot J_{м.пр} + E_c \cdot J_c}, \qquad (3.71)$$

где $E_{c(м.пр)}$ – модуль упругости сердечника (микропроволоки), МПа;
$J_{c(м.пр)}$ – момент инерции соответственно сердечника (микропроволоки), м^4.

Для нити вторичной крутки можно записать следующие выражения:

$$\frac{1}{E_{экв} \cdot J_{экв}} = \frac{1}{E_c \cdot J_c} + \frac{1}{E_{м.пр} \cdot J_{м.пр}} + \frac{1}{E_п \cdot J_п}, \qquad (3.72)$$

$$E_{экв} \cdot J_{экв} = \frac{E_c \cdot J_c \cdot E_м \cdot J_м \cdot E_п \cdot J_п}{E_п \cdot J_п \cdot E_{м.пр} \cdot J_{м.пр} + E_c \cdot J_c \cdot E_п \cdot J_п + E_c \cdot J_c \cdot E_{м.пр} \cdot J_{м.пр}}, \qquad (3.73)$$

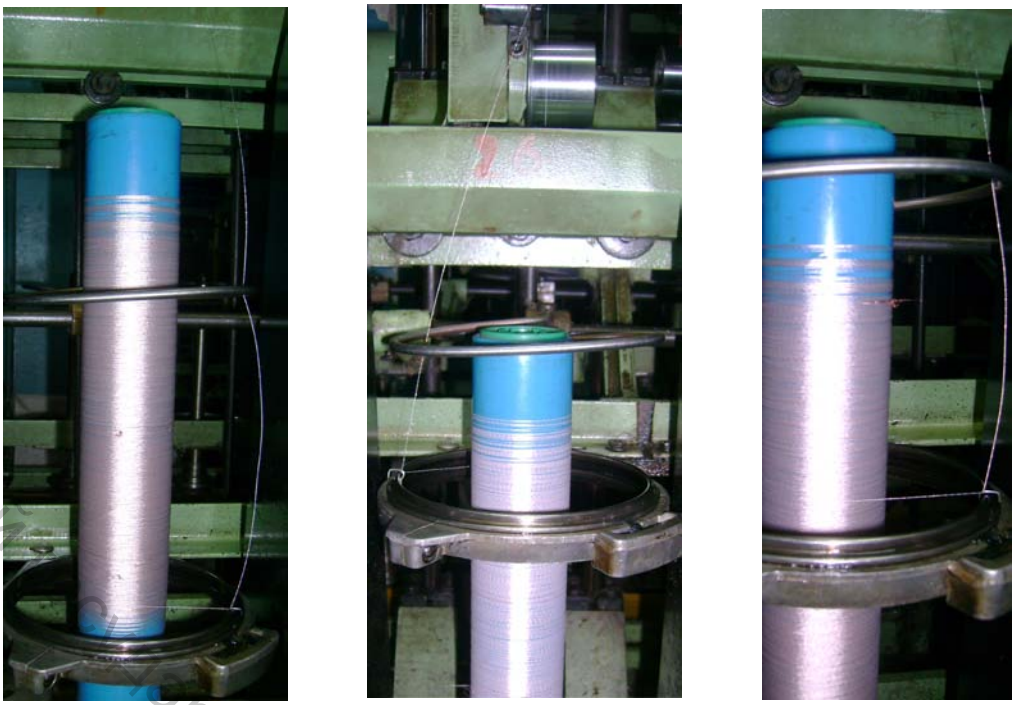
где $E_п$ – модуль упругости покрывающего компонента, МПа;
$J_п$ – момент инерции покрывающего компонента, м^4.

Максимальный прогиб баллона определяется при $z = \frac{L}{2}$ выражением

$$y = \frac{5 q_i L^4}{384 E_{экв} J_{экв}}, \text{ (м)}. \qquad (3.74)$$

При помощи фото- и видеосъемки (рисунок 3.9) определены высота баллона, максимальные радиусы баллонирующей нити и величина прогиба в трех положениях кольцевой планки: в нижнем, среднем и верхнем. Значения приведены в таблице 3.10.

Витебский государственный технологический университет



а) нижнее б) верхнее в) среднее

Рисунок 3.9 – Фотографии баллонирующей электропроводящей нити в различных положениях кольцевой

Для различных положений кольцевой планки наблюдается хорошее совпадение результатов экспериментальных измерений и расчетных значений прогиба. Отклонение не превышает 6 %.

Таблица 3.10 – Экспериментальные геометрические параметры баллона при различных положениях кольцевой планки

Параметры	Нижнее положение	Среднее положение	Верхнее положение
Высота баллона, м	0,5	0,365	0,23
Максимальный радиус баллона, м			
Нити первичной крутки	0,091	0,071	0,064
Нити вторичной крутки	0,105	0,075	0,069
Величина максимального прогиба, м			
Нити первичной крутки	0,029	0,008	0,0015
Нити вторичной крутки	0,043	0,012	0,002

Углы поворота (рад) в крайних точках сечения баллона [76, с. 79] определяются математической моделью следующего вида:

$$\beta_{1,2} = \frac{q_i L^3}{24 E_{экв} J_{хэкв}}. \qquad (3.75)$$

Витебский государственный технологический университет

В работе [13–А, с. 110] определены расчетные и экспериментальные параметры угла прогиба нити первичной и вторичной крутки при разных положениях кольцевой планки. Отклонение теоретических значений от экспериментальных не превышает 6 %, что подтверждает правильность выбора расчетных моделей.

Максимальное натяжение нити P (сН), возникающее при производстве комбинированной электропроводящей нити на тростильно-крутильной машине, действующее в нижней части баллона, представлено на рисунке 3.10.

Теоретическая зависимость для расчета натяжение нити предложена в литературном источнике [70] и определяется соотношением

$$P = \frac{m_б \omega_б^{\,2} r_к}{e^{f_б \cdot \beta_i} \cdot (\sin\psi / \mu_б + \cos\psi) - 1}, \qquad (3.76)$$

где $m_б$ – масса бегунка, кг;

$r_к$ – радиус кольца, см;

$\omega_б$ – угловая скорость бегунка вокруг веретена, $с^{-1}$;

$f_б$ – коэффициент трения нити о бегунок;

$\beta_{1,2}$ – угол поворота в крайних точках сечения баллона, рад;

ψ – угол, определяющий соотношения между радиусами намотки и кольца, рад;

$\mu_б$ – коэффициент трения бегунка о кольцо.

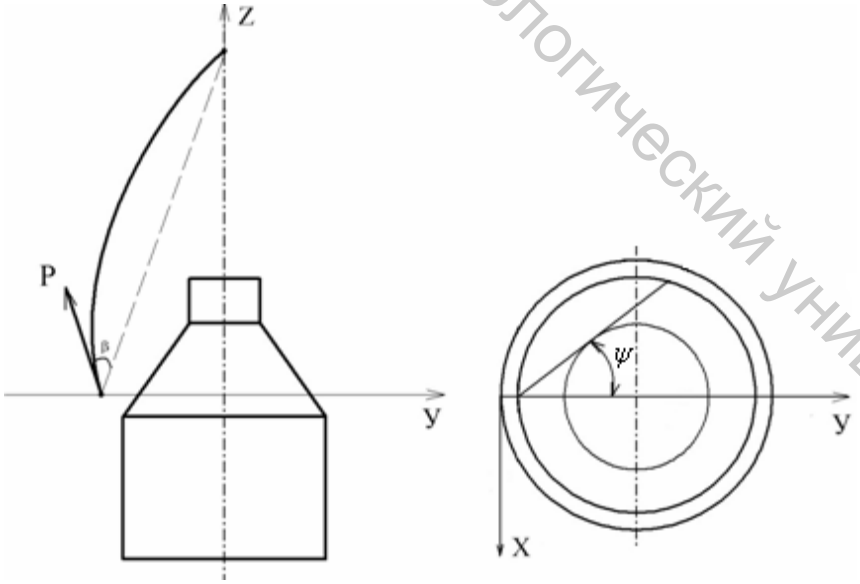


Рисунок 3.10 – Схема силы натяжения нити

Из формулы (3.76) видно, что натяжение нити прямо пропорционально квадрату угловой скорости бегунка, его массе и радиусу кольца. С увеличением коэффициента трения между бегунком

Витебский государственный технологический университет

и кольцом натяжение нити увеличивается, также оно зависит от соотношения между радиусами намотки и кольца (угол ψ) (таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Параметры угла, определяющего соотношения между радиусами намотки нитей и кольца при разных радиусах намотки на поковку

Параметры	Минимальный радиус намотки	Средний радиус намотки	Максимальный радиус намотки
Угол ψ, рад	0,45	0,66	0,91

Используя данные таблицы 3.11 и расчетные величины угла поворота в крайних точках сечения баллона, с помощью редактора электронных таблиц «Microsoft Excel» проведен расчет натяжения комбинированных электропроводящих нитей при разных положениях кольцевой планки тростильно-крутильной машины. Результаты расчета представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Натяжение нити в зависимости от положения кольцевой планки и радиуса намотки нити на паковке

Положение кольцевой планки	Радиус намотки нити на паковке	Натяжение нити, сН
нижнее	минимальный	84,2
нижнее	средний	63,9
нижнее	максимальный	54,1
среднее	минимальный	84,9
среднее	средний	64,4
среднее	максимальный	54,5
верхнее	минимальный	86,5
верхнее	средний	65,5
верхнее	максимальный	55,3

Установлено, что в нижнем, среднем и верхнем положениях кольцевой планки тростильно-крутильной машины при минимальном радиусе намотки натяжение комбинированной нити максимальное и составляет 80 ÷ 90 сН, при среднем радиусе намотки натяжение – 60 ÷ 70 сН, а при максимальном радиусе намотки натяжение минимальное и примерно равно во всех положениях кольцевой планки – 50 ÷ 60 сН, при разрывной нагрузке комбинированных электропроводящих нитей 1700 ÷ 1750 сН. Следовательно, натяжение нити в баллоне значительно меньше разрывной нагрузки комбинированной нити и каждого компонента в отдельности, что обеспечит минимальную обрывность в процессе ее формирования.

Витебский государственный технологический университет

3.6 Теоретические исследования геометрических и прочностных параметров комбинированной электропроводящей пряжи, полученной на пневмомеханической прядильной машине

3.6.1 Определение линейной плотности комбинированной электропроводящей пряжи

Линейная плотность комбинированной пряжи, полученной на пневмомеханической прядильной машине, определяется следующим образом:

$$T_{комб} = \left(T_{мпр} + T_{мычки}\right) \cdot K_{у}, \qquad (3.77)$$

где $T_{комб}$ – линейная плотность комбинированной нити, текс;

$T_{м.пр}$ – линейная плотность медной микропроволоки ($T_{м.пр} = 18 текс$);

$T_{мычки}$ – линейная плотность мычки;

$K_{у}$ – коэффициент укрутки, по расчетам составляет 0,98.

3.6.2 Определение процентного содержания компонентов в структуре комбинированной электропроводящей пряжи

Расчет процентного содержания компонентов в структуре комбинированной электропроводящей пряжи проводим по следующей формуле:

$$Z = \frac{T_{м.пр}}{T_{комб.пр}} \cdot 100, \qquad (3.78)$$

где Z – процентное содержание компонентов, %;

$T_{м.пр}$ – линейная плотность микропроволока;

$T_{комб.пр}$ – линейная плотность комбинированной пряжи.

3.6.3 Расчет диаметра комбинированной электропроводящей пряжи

Диаметр пряжи во многом определяет условия проектирования из нее готовых изделий. Диаметр комбинированной электропроводной нити можно рассматривать как цилиндр [16-А] (рисунок 3.11).

Расчет диаметра комбинированной электропроводящей пряжи осуществляется по следующей формуле:

Витебский государственный технологический университет

$$D = \sqrt{\left(\frac{4T_в T_{мп}}{\pi \cdot \gamma_в} + \frac{4}{\pi \cdot \gamma_{мп}}\right)\frac{1}{1000}} = 0,0357\sqrt{\frac{T_в}{\gamma_в} + \frac{T_{мп}}{\gamma_{мп}}} \qquad (3.79)$$

где $T_в = 0{,}132 текс$ – линейная плотность волокна покрытия;

$T_{мп} = 18 текс$ – линейная плотность микропроволоки;

$\gamma_в = 1{,}52 г/см^3$ – средняя плотность волокна;

$\gamma_{мп} = 8{,}9 г/см^3$ – средняя плотность микропроволоки.

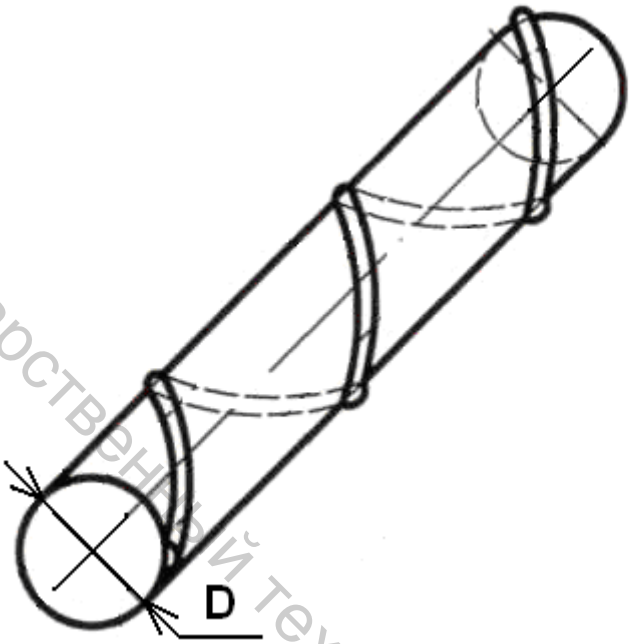


Рисунок 3.11 – Схема комбинированной электропроводящей пряжи

3.6.4 Расчет относительной разрывной нагрузки комбинированной электропроводящей пряжи линейной плотности 40 текс

Структура формируемой пряжи представляет собой взаимоскрученные хлопковую мычку и медную микропроволоку, из которых основную нагрузку при разрыве несет на себе хлопковая составляющая, сначала проводим расчет разрывной нагрузки пряжи из хлопковых волокон по формуле расчета для пневмомеханического способа формирования [15].

$$P_{пр} = \frac{P_в}{T_в} \cdot \left(1 - 0{,}0375 \cdot H_0 - \frac{2{,}17}{\sqrt{T_{мычки}/T_в}}\right) \cdot \left(1 - \frac{9{,}9}{l_{шт}}\right) \cdot \eta \cdot k(1-y) \qquad (3.80)$$

где $P_в$ – удельная разрывная нагрузка волокна, сН/текс;

Витебский государственный технологический университет

H_o – удельная неровнота пряжи, характеризующая качество технологического процесса, $H_o = 3,5$;

$T_{мычки}, T_в$ – линейная плотность соответственно мычки и волокна, текс;

$l_{шт}$ – штапельная длина волокна, $l_{шт} = 34,1 мм$;

η – коэффициент, характеризующий состояние оборудования;

k – коэффициент, определяемый по разности между фактическим коэффициентом крутки α_m и критическим коэффициентом крутки $\alpha_{кр}$;

y – доля обвивочных волокон

$$y = l / 2\pi d_k . \tag{3.81}$$

Критический коэффициент крутки рекомендуется принимать равным 63,5 (по рекомендации Московского текстильного университета).

Определение заправочного коэффициента крутки:

$$a_T = \left(K\sqrt{T_{пр}}\right)/100 \tag{3.82}$$

Заправочная крутка

$$K = e^{\left(4,81+128,3/l_{шт}^2 - 27,8\cdot T_{пр}/10^6 - 76,5/\left(l_{шт}\cdot T_{пр}\right)\right)} \tag{3.83}$$

Тогда получаем $a_T = 51,8$.

Разница между $\alpha_m - \alpha_{кр}$ составляет: $\alpha_m - \alpha_{кр} = -11$. Исходя из разницы между коэффициентами крутки, принимаем значение поправочного коэффициента *k*, руководствуясь рекомендациями таблицы 3.13, равным 0,85.

Таблица 3.13 – Значения коэффициента k

$\alpha_m - \alpha_{кр}$	k	$\alpha_m - \alpha_{кр}$	k
-14	0,8	-3,2	0,98
-11	0,85	0	1
-8,5	0,9	3,4	0,98
-6,5	0,92	7,3	0,95
-5,6	0,94	11,8	0,9
-4,7	0,96	15,1	0,85

Для определения разрывной нагрузки комбинированной электропроводящей пряжи воспользуемся формулой проф. А.Г. Когана,

Витебский государственный технологический университет

которая учитывает влияние разрывной нагрузки медной микропроволоки.

$$P_{э.пр.}P = P_{пр} + \quad {}_{м.пр} \cdot \frac{100 - X_1}{100} \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \quad , \qquad (3.84)$$

где $P_{э.пр.}$ – относительная разрывная нагрузка комбинированной электропроводящей пряжи, сН/текс;

$P_{пр.}$ – относительная разрывная нагрузка хлопчатобумажной пряжи, сН/текс;

$P_{м.пр.}$ – относительная разрывная нагрузка медной микропроволоки, сН/текс;

ε_1 – разрывное удлинение менее растяжимого компонента;

ε_2 – разрывное удлинение более растяжимого компонента;

X_1 – доля по массе менее растяжимого компонента;

Для оценки точности полученных теоретических уравнений по определению физико-механических свойств пряжи, проводим сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных, представленный в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Сравнительная характеристика теоретических и экспериментальных данных

Характеристика	Теоретические значения	Экспериментальные значения	Отклонение, Δ, в %
Линейная плотность комбинированной пряжи, текс	40,00	40,20	1,00
Разрывная нагрузка комбинированной пряжи, сН/текс	8,20	7,50	8,50
Диаметр комбинированной пряжи, мм	0,62	0,60	3,20

Основными факторами, определяющими структуру комбинированной пряжи, являются натяжение микропроволоки и величина погружения направляющей трубки в прядильную камеру машины. На рисунке 3.12 схематически представлен процесс формирования пряжи в камере машины.

Витебский государственный технологический университет

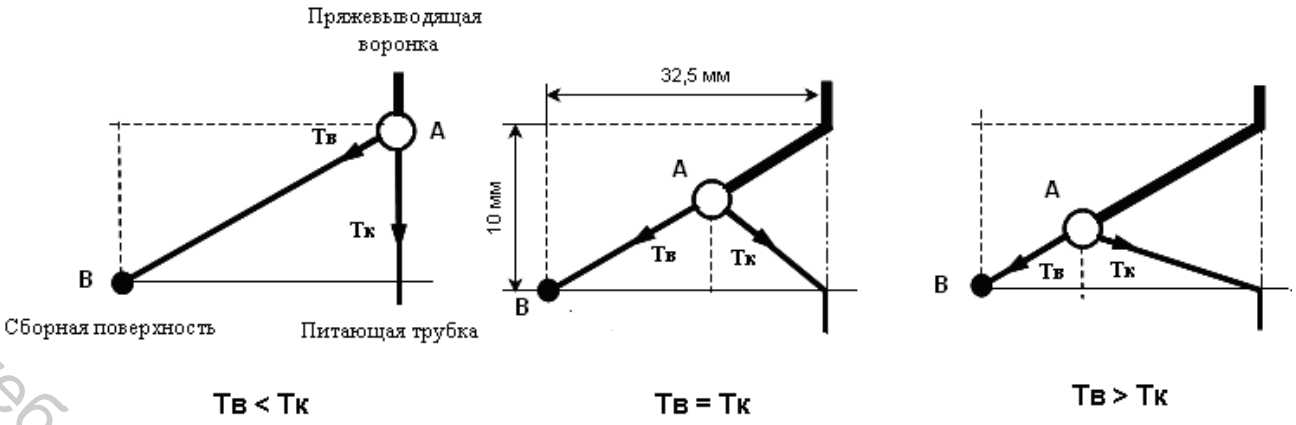


Рисунок 3.12 – Схема натяжения микропроволоки и величина погружения направляющей трубки в прядильную камеру машины

Натяжение комбинированной нити Н определяется как сумма натяжения микропроволоки *Тм* и прикручивающей составляющей *Тв*., т. е. *Н = Тв + Тм*. В камере имеются две точки формирования: точка *В*, где происходит формирование волокнистой мычки в желобе, и точка А, где комплексная нить соединяется с волокнистой мычкой. Положение точки А нестационарно, и зависит от соотношения натяжений *Тв* и *Тм*. На рисунке представлены три положения точки А при различных натяжениях *Тв* и *Тм*. В случае *Тв* < *Тм*, точка соединения А находится около пряжевыводящей воронки, поскольку микропроволока имеет большее натяжение, чем прикручиваемая составляющая. В результате формируемая пряжа будет иметь стержневую структуру, где микропроволока будет занимать осевое положение. При *Тв = Тм* и *Тв* > *Т*м, точка соединения А смещается от пряжевыводящей воронки в сторону желоба прядильной камеры, и даже может совпасть с точкой формирования пряжи В. При *Тв = Тм* формируется комбинированная пряжа со структурой, напоминающей крученую пряжу. При *Тв* > *Тм* прикручиваемая составляющая занимает осевое положение, а микропроволока начинает обвиваться вокруг нее.

Поскольку микропроволока подается питающей парой с определенной скоростью, соотношение натяжений *Тв / Тм* будет определятся разностью скоростей питания (скорость вращения питающей пары)$V_{пит}$ и выпуска (скорость вращения оттяжного вала) $V_{вып}$. Соотношение данных скоростей называется нагоном:

$$E = V_{вып} / V_{пит.} \qquad (3.85)$$

На рисунке 3.13 представлены фотографии комбинированной пряжи с различным натяжением микропроволоки. Нити 1 – 3 вырабатывались при Е > 1. Заметно, что чем больше нагон, тем более

Витебский государственный технологический университет

микропроволока выступает на поверхности пряжи. Нить 4 вырабатывалась при Е = 1. Структура нити в данном случае схожа со структурой крученой нити. Нити 5 – 8 вырабатывались при Е < 1. С увеличением натяжения микропроволоки она смещается ближе к оси пряжи, и при самом большом натяжении занимает осевое положение, практически полностью покрытая волокном.

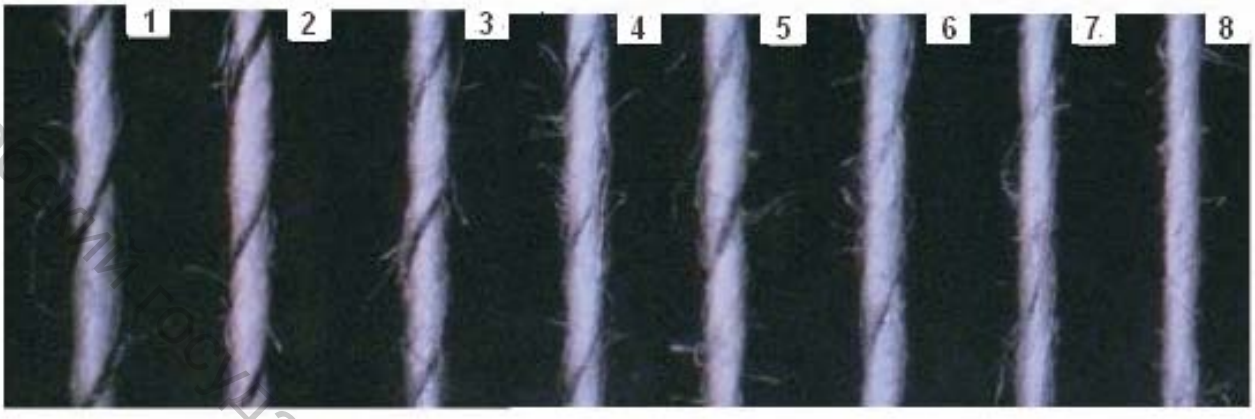


Рисунок 3.13 – Фотографии комбинированной пряжи с различным натяжением микропроволоки

Таким образом, изменяя натяжение микропроволоки, можно получать три вида комбинированных пряж:

1) стержневые, или армированные, в которых микропроволока занимает осевое положение;
2) крученые, микропроволока скручивается с прикручиваемой составляющей при разных натяжениях;
3) пряжи с поверхностным расположением микропроволоки.

Комбинированная электропроводящая пряжа с поверхностным расположением медной микропроволоки может использоваться для снятия статического электричества в тканях, используемых для пошива специальной одежды работников нефтегазовой отрасли. Комбинированная электропроводящая пряжа со стержневым расположением медной микропроволоки – для экранирования волн сверхвысокой частоты и защиты организма от электромагнитного излучения [17–А].

3.7 Теоретический анализ структуры и свойств комбинированной электропроводящей пряжи большой линейной плотности, получаемой на крутильных машинах К-176-2

Использование в ковровых изделиях ворсовой электропроводящей пряжи позволяет улучшить электрофизические характеристики ковров: уменьшить их удельное электрическое поверхностное сопротивление и уровень напряженности, тем самым предотвратить возможность накопления статического электричества на

Витебский государственный технологический университет

поверхности текстильных материалов. Ввод комбинированной электропроводящей пряжи в ковровые изделия позволяет значительно расширить ассортимент ковровых изделий и даёт возможность использовать новые ковровые изделия при оснащении авиалайнеров и изготовлении напольных покрытий для железнодорожного транспорта.

Специфика разработанного процесса формирования комбинированной электропроводящей пряжи на тростильно-крутильных машинах К-176-2 вызвала необходимость теоретического изучения ее свойств.

Одной из особенностей комбинированной электропроводящей пряжи (КЭПП), получаемой на тростильно-крутильных машинах К-176-2, является ее структура, которая определяет ее физико-механические, электрофизические и эксплуатационные свойства.

Общая линейная плотность комбинированной электропроводящей пряжи определяется по формуле

$$T_{КЭП} = T_{П} \cdot 3 + T_{МП} \ , \qquad (3.86)$$

где $T_{КЭП}$ — линейная плотность комбинированной электропроводящей пряжи, текс;

$T_{П}$ — линейная плотность одиночной пряжи (165 текс);

$T_{МП}$ — линейная плотность медной проволоки (18 текс).

Состав комбинированной электропроводящей пряжи представлен в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Процентное содержание компонентов комбинированной электропроводящей пряжи линейной плотности 500 текс (160*3 +18 текс)

	Шерстяное волокно	Полиакрило-нитрильное волокно	Полиамид-ное волокно	Медная микропроволо-ка
	%	%	%	%
Процентное содержание	53,4	37	6	3,6

Диаметр комбинированной электропроводящей пряжи определяется по формуле:

$$D_{комб.пряжи} = 0,0357 \cdot \left(\sqrt{\frac{T_{комп.1}}{\gamma_{комп.1}}} + \sqrt{\frac{T_{микр.пров}}{\gamma_{микр.пров}}} + \sqrt{\frac{T_{комп.2}}{\gamma_{комп.2}}} + \sqrt{\frac{T_{комп.3}}{\gamma_{комп.3}}} \right), \quad (3.87)$$

Витебский государственный технологический университет

где $D_{комб.пряжи}$ - диаметр комбинированной электропроводящей пряжи (мм);

$T_{комп.1}$, $T_{комп.2}$, $T_{комп.3}$ – линейная плотность трех компонентов (текс);

$T_{микр.\ пров.}$ – линейная плотность медной микропроволоки (текс);

$\gamma_{комп.1}$, $\gamma_{комп.2}$, $\gamma_{комп.3}$ – средняя плотность трех компонентов (г/см^3);

$\gamma_{микр.пров.}$ – средняя плотность медной микропроволоки (г/см^3).

На основании проведенных экспериментов по вычислению разрывной нагрузки получена новая теоретическая зависимость по определению разрывной нагрузки комбинированной электропроводящей пряжи.

Схема расположения осевых линий и их углов всех компонентов по отношению к оси КЭПП представлена на рисунке 3.14.

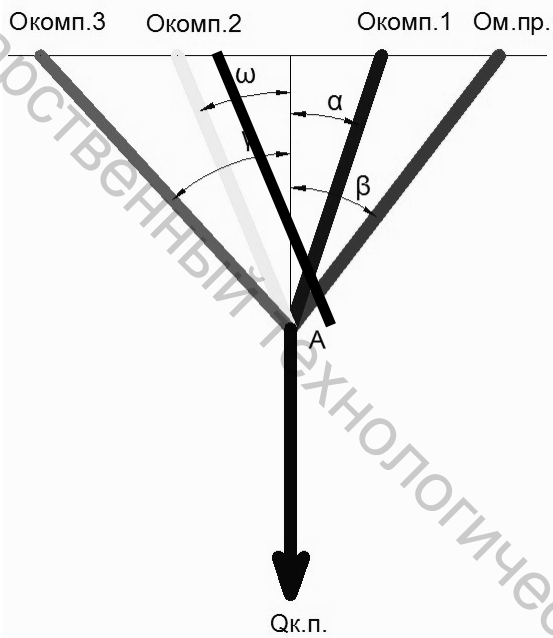


Рисунок 3.14 – Схема расположения осевых линий и их углов всех компонентов КЭПП

На вышеуказанном рисунке:

$Q_{к.п.}$ – сила нагружения КЭПП;

$O_{комп.1}$, $O_{комп.2}$, $O_{комп.3}$ – осевые линии трех компонентов;

$O_{м.пр.}$ – осевая линия медной микропроволоки КЭПП;

β – угол осевой линии медной микропроволоки по отношению к оси КЭПП, (рад);

α, ω, γ – углы осевых линий соответствующих компонентов по отношению к оси КЭПП, (рад);

A – точка скручивания всех компонентов КЭПП.

$\angle\alpha = \angle\gamma = 39°, \angle\beta = \angle\omega = 28,7°$;

Витебский государственный технологический университет

Данная комбинированная электропроводящая пряжа линейной плотностью 500 текс используются в ковровых покрытиях с антистатическим эффектом. Одним из требований к таким изделиям является отсутствие обрыва металлической составляющей, поэтому предельное состояние (абсолютная разрывная нагрузка) комбинированной электропроводящей пряжи определяется формулой

$$Q_{к.п.} = Q_{м.пр.} \cdot \left(q_{комп.1} \cdot \frac{\cos^2\beta \cdot \cos\alpha}{\cos^2\gamma} + q_{комп.2} \cdot \frac{\cos^2\beta \cdot \cos\gamma}{\cos^2\alpha} + q_{комп.3} \cdot \frac{\cos^2\beta \cdot \cos\omega}{\cos^2\alpha \cdot \cos^2\gamma} + \cos\beta \right), \quad (3.88)$$

где $q_{комп1}$, $q_{комп2}$, $q_{комп3}$. – отношение жесткости трех компонентов к жесткости медной микропроволоки;

$Q_{м.пр.}$ – разрывная нагрузка медной микропроволоки, сН.

Компоненты $q_{комп1} = q_{комп2} = q_{комп3} = q_{о.п.}$; тогда формула 2 примет следующий вид:

$$Q_{к.п.} = Q_{м.пр.} \cdot \left(q_{о.п.} \cdot \left(\frac{\cos^2\beta \cdot \cos\alpha}{\cos^2\gamma} + \frac{\cos^2\beta \cdot \cos\gamma}{\cos^2\alpha} + \frac{\cos^2\beta \cdot \cos\omega}{\cos^2\alpha \cdot \cos^2\gamma} \right) + \cos\beta \right), \quad (3.89)$$

где $q_{о.п.}$ – отношение жесткости одиночной шерстокапрононитроновой пряжи к жесткости медной микропроволоки;

Жесткость нитей находим, руководствуясь таблицей 3.16, в которой приведены экспериментальные значения усилий, возникающих нити при деформировании на разрывной машине в режиме постоянной скорости деформации. Эксперимент проводился в условиях УО «ВГТУ» на кафедре ПНХВ с использованием автоматизированного комплекса РМ-3.

Таблица 3.16 – Зависимости усилий нитей от постоянной скорости деформации

Натяжение нити, Р, сН	Разрывное удлинение, ε %									
	0	9,4	10,1	10,3	10,4	10,7	11,0	12,0	12,1	12,6
Шерстохимическая крученая пряжа 480 текс	0	2140	2305	2225	2000	2026	2078	2145	2662	2204,3
Одиночная шерстохимическая пряжа, Т=160 Текс	0	43,1	43,5	44,3	45	45,3	45,3	45,3	45,3	45,3
Медная микропроволока	0	43,1	43,5	44,3	45	45,3	45,3	45,3	45,3	45,3
КЭПП 500 текс	0	219	230	2256	210	203	208	216	2669	2204,3

Витебский государственный технологический университет

		0	6		0	0	1	0		

Вычисляем жесткость нитей:

$$E_{о.п.} \cdot F_{о.п.} = \frac{P_{о.п.}}{\varepsilon_{о.п.}}; \qquad (3.90)$$

$$E_{микр.пров.} \cdot F_{микр.пров.} = \frac{P_{микр.пров.}}{\varepsilon_{микр.пров.}}; \qquad (3.91)$$

Тогда отношение жесткостей:

$$q_{о.п.} = \frac{E_{о.п.} \cdot F_{о.п.}}{E_{микр.пров.} \cdot F_{микр.пров.}}, \qquad (3.92)$$

где $F_{о.п.}$ – жесткость одиночной пряжи при растяжении;
$F_{микр.пров.}$- жесткость медной микропроволоки при растяжении;
$P_{о.п.}$ – натяжение одиночной пряжи, сН;
$P_{микр.пров.}$- натяжение медной микропроволоки, сН;
$E_{о.п.}$ – разрывное удлинение одиночной пряжи, %
$\varepsilon_{микр.пров.}$ – разрывное удлинение медной микропроволоки, %

Тогда угол подъема микропроволоки определится экспериментально (на рисунке 2), угол β = 28,7 ^{0}= 0,5 рад.

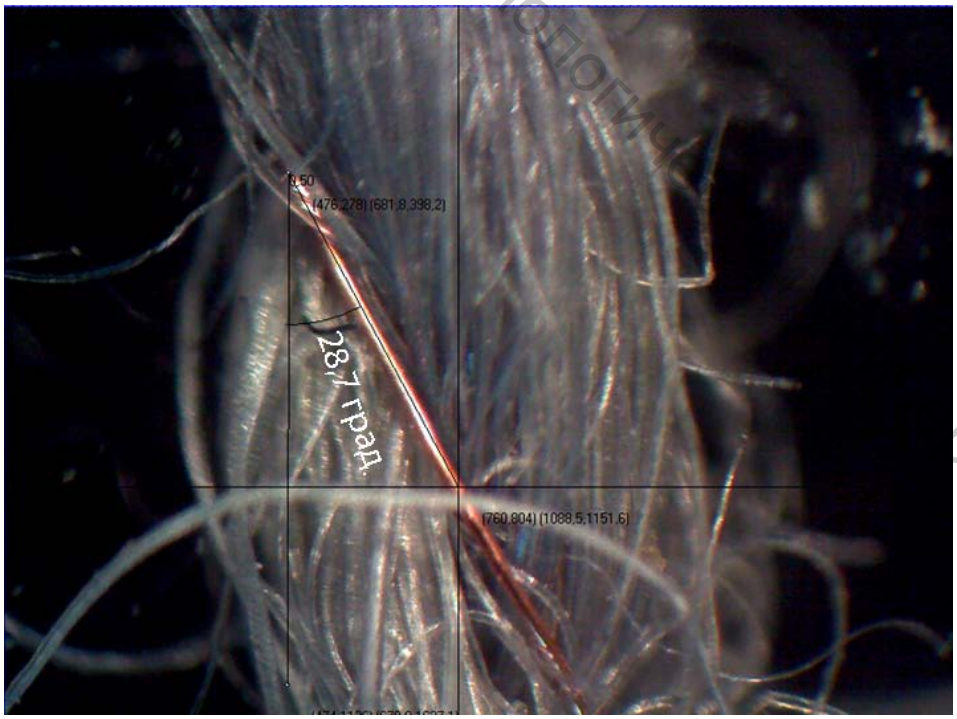


Рисунок 3.15 – Экспериментальное определение угла β под микроскопом

Витебский государственный технологический университет

В таблице 3.17 приведено опытное значение разрывной нагрузки комбинированной электропроводящей пряжи, равное 2204,5 сН, практически совпадающее с расчетным значением (относительное отклонение Δ = 2,4 %).

Сравнение теоретически рассчитанных и фактических показателей комбинированной электропроводящей пряжи 500 текс приведено в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Сравнение теоретически рассчитанных и фактических показателей комбинированной электропроводящей пряжи 500 текс

Диаметр, мм		**Отклонение Δ, %**	**Абсолютная разрывная нагрузка, сН**		**Отклонение Δ, %**
Рассчитано	**Измерено**		**Рассчитано**	**Измерено**	
1,289	1,337	3,600	2257,400	2204,300	2,400

Так как отклонение Δ между расчетными и экспериментальными показателями не превышает 5 %, следовательно, разработанные теоретические зависимости можно использовать для расчета линейной плотности и абсолютной разрывной нагрузки комбинированной (шерстокапрононитроновой) электропроводящей пряжи.

Также было разработано программное обеспечение для теоретического расчета некоторых физико-механических характеристик КЭПП [33-А].

Внешний вид страницы с вводом исходных данных разработанного программного обеспечения для расчета физико-механических показателей КЭПП представлен на рисунке 3.16.

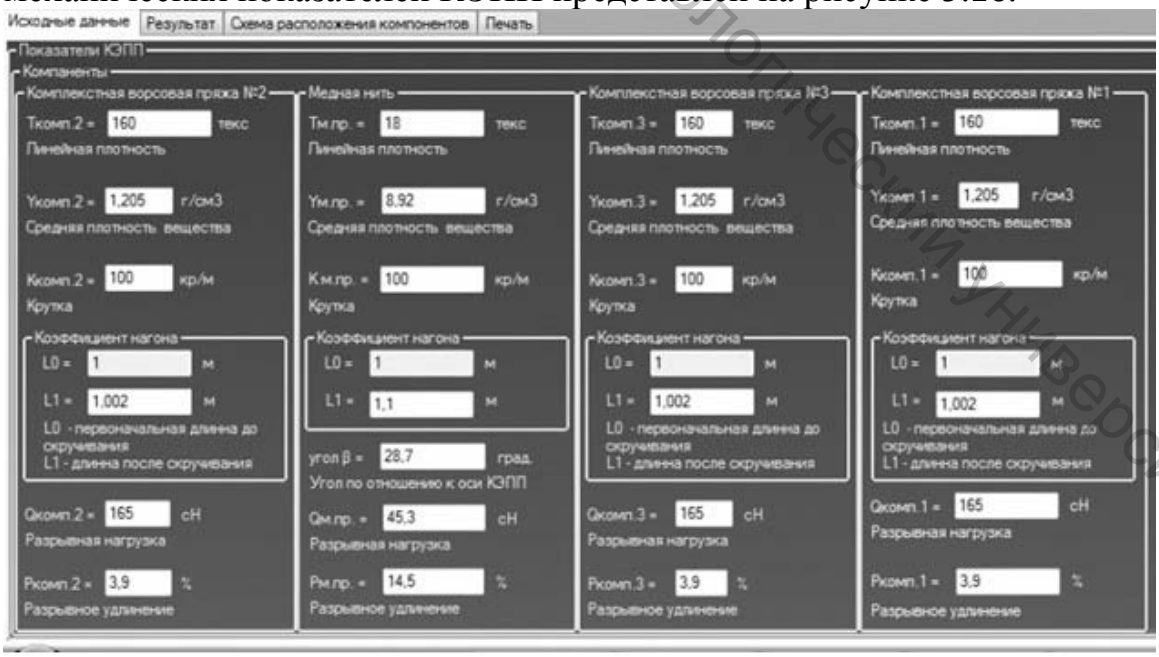


Рисунок 3.16 – Внешний вид страницы с вводом исходных данных разработанного программного обеспечения для расчета некоторых физико-механических показателей КЭПП

Витебский государственный технологический университет

Внешний вид страницы с результатами расчета физико-механических показателей КЭПП разработанного программного обеспечения представлен на рисунке 3.17.

Все проведенные выше расчеты: абсолютной разрывной нагрузки, жесткости, отношения жесткости каждого компонента к жесткости медной микропроволоки, диаметра КЭПП и другие характеристики комбинированной электропроводящей пряжи - были проверены и подтверждены посредством разработанного программного обеспечения.

Исходные данные | Результат | Схема расположения компонентов | Печать

Параметр	Значение	Единица измерения	Пояснение
Тм.пр.	18	текс	линейная плотность электропроводящей проволоки
Ym.пр.	8,92	г/см3	средняя линейная плотность вещества электропроводящей проволоки
Км.пр.	0,1	кр/мм	первичная крутка электропроводящей проволоки
Qм.пр.	45,3	сН	разрывная нагрузка электропроводящей проволоки
Ем.пр.	0,145		разрывное удлинение электропроводящей проволоки
Ем.пр. * Fм.пр.	312,414	сН	жесткость электропроводящей проволоки
Кн.м.пр.	1,1	коэфф.	коэффициент нагона электропроводящей проволоки
β	28,7	град.	угл подъема медной микропроволоки по отношению к оси пряжи
β	0,501	рад.	угл подъема медной микропроволоки по отношению к оси пряжи
Ткомп.3	160	текс	линейная плотность третьего компонента
Yкомп.3	1,205	г/см3	средняя плотность вещества третьего компонента
Ккомп.3	0,1	кр/мм	крутка третьего компонента
Qкомп.3	165	сН	разрывная нагрузка третьего компонента
Екомп.3	0,039		разрывное удлинение третьего компонента
Екомп.3 * Fкомп.3	4230,769	сН	жесткость третьего компонента
Ккомп.3	1,002	коэфф.	коэффициент нагона третьего компонента
Dк.н.	1,289	мм	диаметр КЭПП
R к.н.	0,644	мм	радиус КЭПП
α	0,68	рад.	угол подъема первого компанента по отношению к вертикали КЭПП
α	38,961	град.	угол подъема первого компанета по отношению к вертикали КЭПП
γ	0,68	рад.	угол подъема оси второго компонента по отношению к вертикали КЭПП
γ	38,961	град.	угол подъема оси второго компонента по отношению к вертикали КЭПП
ω	0,68	рад.	угол подъема оси третьего компонента по отношению к вертикали КЭПП
ω	38,961	град.	угол подъема оси третьего компонента по отношению к вертикали КЭПП
qкомп.1	13,542		отношение жесткости первого компанета к электропроводящей проволоке
qкомп.2	13,542		отношение жесткости второго компанета к электропроводящей проволоке
qкомп.3	13,542		отношение жесткости третьего компанета к электропроводящей проволоке
Qк.н.	2257,426	сН	теоретическая разрывная нагрузка КЭПП

Рисунок 3.17 – Внешний вид страницы с результатами расчета некоторых физико-механических показателей КЭПП

Анализируя полученные результаты, можно утверждать, что разность между рассчитанными и фактическими характеристиками не превышает 5 %. Следовательно, данную программу и теоретические зависимости можно рекомендовать для определения прочности комбинированной электропроводящей пряжи большой линейной плотности.

Витебский государственный технологический университет

4 ПЕРЕРАБОТКА КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ НИТЕЙ В ТЕКСТИЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

4.1 Переработка опытной партии электропроводящих нитей в ткани специального назначения в производственных условиях

Наработанные опытные варианты полиамидных и полиэфирных комбинированных электропроводящих нитей перерабатывались в ткани в условиях ОАО «Моготекс» и ОАО «ВКШТ». Переработка осуществлялась на ткацком станке СТБ2-180 с ремизоподъемной кареткой СКН-14 переплетениями неправильный шестинитный сатин и саржа 2/2. Для одних вариантов тканей электропроводящие нити в основе и в утке располагались с постоянным шагом 10х10 мм. Для других вариантов тканей электропроводящие нити располагались только в основе с постоянным шагом 10 мм. Кроме того, был вариант ткани со сплошным расположением прокладыванием КЭПН по утку, по основе прокладывалась хлопко-полиэфирная пряжа.

После перематывания конические бобины поступали в сновальный отдел. В основе и в утке кроме электропроводящих нитей использовалась хлопковая и хлопкополиэфирная пряжа линейной плотности 25 текс х 2. Для получения готового ткацкого навоя [26–А, с. 195], выбрано ленточное прерывное снование. Готовый ткацкий навой подвергался заключительной подготовительной операции – пробиранию или привязыванию.

Опытная переработка проводилась по технологической цепочке, представленной на рисунке 4.1.

Уточные нити после перематывания поступают сразу на ткацкий станок. Заправочные параметры тканей представлены в таблице 4.1.

Витебский государственный технологический университет

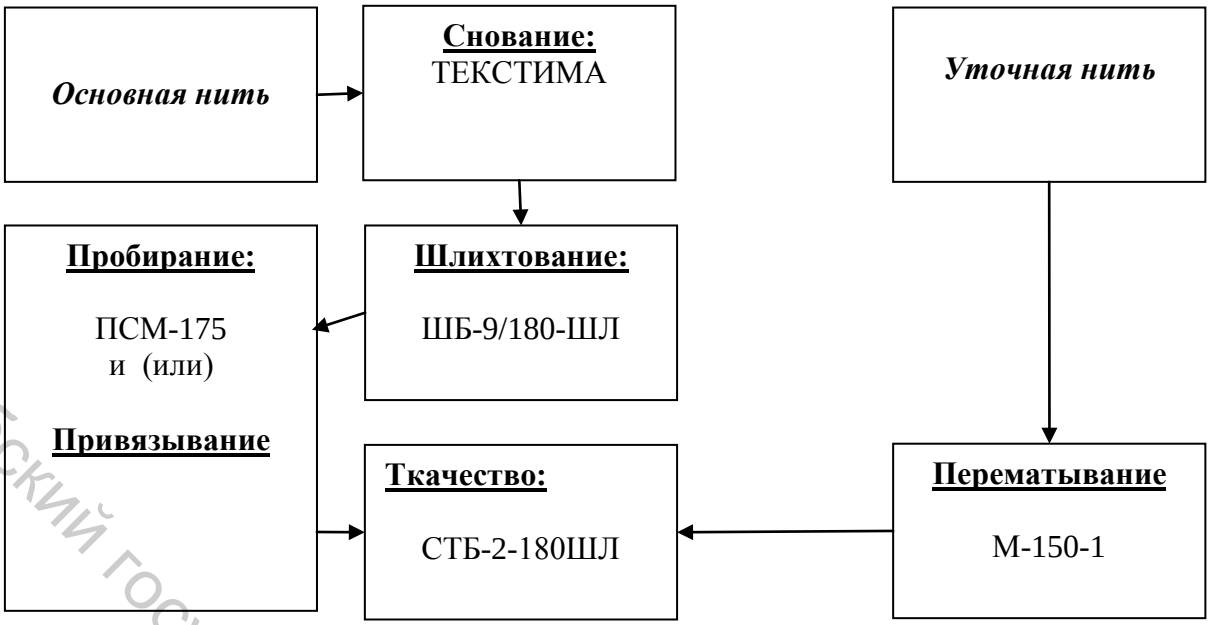


Рисунок 4.1 – Схема технологического процесса производства тканей специального назначения

Таблица 4.1 – Основные параметры заправочного расчета трех образцов тканей, выработанных на ОАО «Моготекс» и ОАО «ВКШТ»

Параметры	Размер-ность	Ткани с ОАО «Моготекс»		Ткань с ОАО «ВКШТ», чередование клетка 10х10 мм
		чередование: продольная полоска через 10 мм	чередование: клетка 10х10 мм	
1	2	3	4	5
Вид нитей основы утка		 х/б НПЭ.х/б	 х/б НПЭ.х/б	НПЭ текстур. пн.с. х/б
Линейная плотность нитей основы утка электропроводящие	текс	 50,0 50,0 55,0	 50,0 50,0 55,0	 24,5 50,0 55,0
Ширина суровой ткани	см	163,0	162,2	159,1
Ширина готовой ткани	см	149,3	149,9	148,0
Длина куска суровой ткани	м	60, 9	60, 6	60,0
Дина куска готовой ткани	м	60, 0	60, 0	52,2
Длина основы в куске	м	64,8	64,7	57,4

Витебский государственный технологический университет

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Уработка нитей основы утка	%	 7,4 6,4	 7,2 6,4	 9,1 7,5
Плотность суровой ткани по основе по утку	нит/ 10 см	 313 195	 316 190	 360,0 200,0
Плотность готовой ткани по основе по утку	нит/ 10 см	 342 192	 342 192	 388,0 230,0
Номер берда	зуб/ 10 см	 100	 100	 120
Число нитей в зубе берда фона кромок		 3 2	 3 2	 3 2
Число нитей основы в заправке, в т. ч. фона		 5214 5146	 5216 5148	 5706 5616
Переплетение фона кромок		саржа 2/2		неправильный шестинитный сатин
Вид проборки в фоне в кромке		рядовая по рисунку		рядовая по рисунку
Число ремизок в заправке		8	8	8
Плотность галев на ремизке	гал/ см	3,7	3,7	4,5
Плотность ламелей на рейке	лам/ см	7,3	7,3	8,6
Масса основы в 100 пог. м. суровой ткани	кг	28,15	28,25	15,904
Масса утка в 100 пог. м суровой ткани	кг	17,45	17,09	17,688
Уменьшение массы ткани в отделке	%	-1,7	-1,7	-
Масса 1 пог. м. суровой ткани готовой ткани		 466,0 466,6	 463,0 465,7	 392 -*
Поверхностная плотность тканей суровой готовой	г/м^2	 285,9 312,0	 285,27 310,67	 211,1 264,9
Поверхностное заполнение ткани	%	84,35	94,62	78,8

Витебский государственный технологический университет

***** – образец ткани, выработанный в условиях ОАО «ВКШТ», на предприятии не отделывался; образцы тканей отделывались в лаборатории кафедры «Химии» УО «ВГТУ» и в объединении бытовых услуг «Лотос».

4.2 Исследование физико-механических и электрических свойств наработанных тканей

Наработанные ткани подвергли исследованиям по ряду физико-механических свойств по стандартным методикам [90 – 94]. Результаты испытаний тканей, наработанных на ОАО «ВКШТ», приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Физико-механические и электрофизические свойства готовой ткани производства ОАО «ВКШТ»

Параметры	Единица измерения	Значение показателя
Переплетение	неправильный шестинитный сатин	-
Ширина ткани с кромкой	см	149,8
Поверхностная плотность	г/м^2	148
Плотность ткани	нит/10см	263
-по основе		388
-по утку		230
Разрывная нагрузка полоски ткани 50*200 мм	Н	
-по основе		1543,1
-по утку		620,5
Удлинение при разрыве полоски ткани размером 50*200 мм	мм	
-по основе		137,3
-по утку		41,5
Удельное поверхностное электрическое сопротивление	Ом	$4{,}2 \cdot 10^4$

Испытания на удельное поверхностное электрическое сопротивление ткани проводились в аккредитованной лаборатории ОАО «КИМ» [27–А, с. 20].

Результаты испытаний тканей, наработанных на ОАО «Моготекс», приведены в таблице 4.3.

Витебский государственный технологический университет

Таблица 4.3 – Физико-механические и электрофизические свойства готовой ткани производства ОАО «Моготекс»

Параметры	Единица измерения	Значение показателя	
		Вариант 1. Ориентация эл. нитей по основе	Вариант 2. Ориентация эл. нитей по основе и по утку
Переплетение		саржа 2/2	
Ширина ткани с кромкой	см	149,3	149,9
Поверхностная плотность	г/м^2	312,4	310,9
Плотность ткани	нит/10см		
-по основе		342	342
-по утку		192	190
Разрывная нагрузка полоски ткани 50*200 мм	Н		
-по основе		1090,8	954,5
-по утку		668,1	692,6
Водоотталкивание	усл. ед	90	90
Маслоотталкивание	усл. ед	80	80
Удельное поверхностное электрическое сопротивление	Ом	$3{,}9\cdot10^6$	$4{,}8\cdot10^3$

4.3 Проработка электропроводящих нитей в ткани с антистатическим эффектом

В таблице 4.4 представлены физико-механические свойства прокладочной электропроводной ткани образца 1518–08.

Таблица 4.4 – Физико-механические свойства прокладочной электропроводной ткани образца 1518–08(по данным ОАО «ВКШТ»)

Показатели	Единицы измерения	Значения ПЭ	Значения Арселон
1.Поверхностная плотность	г/м^2	206,3	270
2.Вес погонного метра	г/м.п.	303,1	260
3.Кондиционная масса погонного метра	г/м.п.	305,5	255
4.Ширина ткани с кромкой	см	147	147
5.Ширина ткани без кромок	см	143,8	143,8
6.Плотность по основе	нит/10см	308	220
7.Плотность по утку	нит/10см	256	180
8.Линейная плотность по основе	текс	35,4	75,1

Витебский государственный технологический университет

Продолжение таблицы 4.4

9.Линейная плотность по утку	текс	35,1	75,3
10.Уработка по основе	%	3,6	2,9
11.Разрывная нагрузка по основе	Н	1356	900
12.Разрывная нагрузка по утку	Н	1085	850
13.Разрывное удлинение по основе	%	18	16
14.Разрывное удлинение по утку	%	16,5	14
15.Кислородный индекс	%	18	27,4
16.Удельное поверхностное электрическое сопротивление	Ом	$1{,}98 \cdot 10^5$	

4.4 Экспериментальное определение удельного поверхностного электрического сопротивления полученных тканей специального назначения с использованием комбинированных электропроводящих нитей 35 текс

С целью определения удельного поверхностного электрического сопротивления проводились исследования на приборе ИЭСТП–2. Схема прибора представлена на рисунке 4.2.

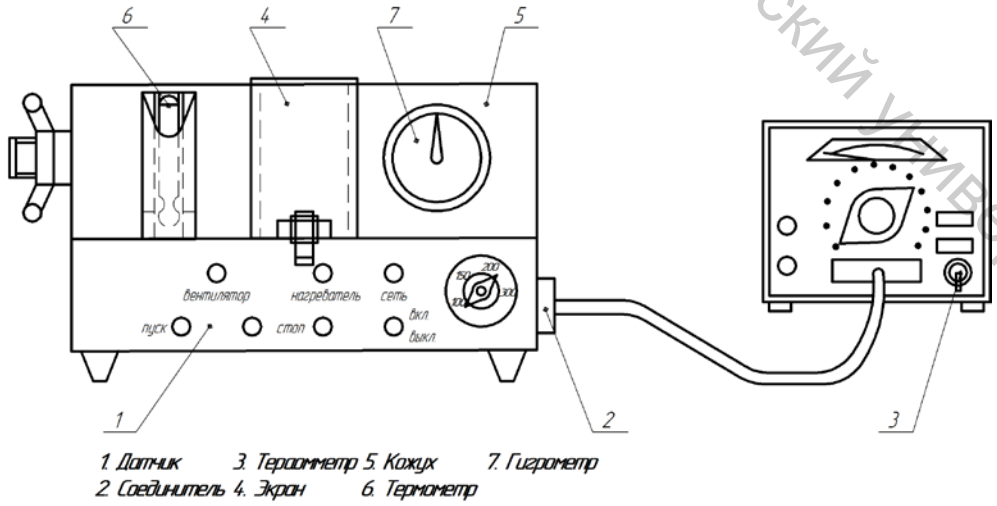


Рисунок 4.2 – Схема прибора ИЭСТП–2

Витебский государственный технологический университет

Технические характеристики прибора ИЭСТП–2

1. Количество одновременно испытываемых образцов – 1 шт.
2. Диапазон создаваемого давления на образец от 70 до 300 кПа.
3. Пределы допускаемой относительной погрешности создаваемого давления на образец не должны превышать +6.
4. Расстояние между электродными системами при максимальном разводе должно быть не менее 40 мм.
5. Количество электродных колец в одной системе – 4 шт.
6. Потребляемая мощность должна быть не более 700 Вт.
7. Габаритные размеры должны быть не более:
   а) датчика – длина 320мм; ширина 600мм; высота 420 мм.
   б) тераомметра – длина 290мм; ширина 200мм; высота 180 мм.
   в) измерительной камеры: длина 250 мм; ширина 150 мм; высота 120 мм.
8. Масса прибора с комплектующими изделиями должна быть не более 47 кг.

Для измерения поверхностного сопротивления ручку переключателя диапазонов тераомметра медленно поворачивают по часовой стрелке до остановки стрелки тераомметра на одном из диапазонов его шкалы. Затем включают секундомер, и по истечение одной минуты снимают показания.

Подсчет удельного поверхностного сопротивления производится по приведенной ниже формуле для ткани, не содержащей электропроводные нити. Для ткани с вложением электропроводных нитей через заданный интервал, значение коэффициента поверхностного электрического сопротивления принимается сразу с прибора [23 – А, 24 – А].

$$P_з = K \cdot R_S, \qquad (4.1)$$

где K – постоянная величина для данного прибора (K = 65,9);

R_S – поверхностное электрическое сопротивление образца, измеренное на приборе.

Удельное объемное сопротивление рассчитывается по формуле

$$\rho = K \cdot \frac{R}{h}, \qquad (4.2)$$

Витебский государственный технологический университет

где R – величина удельного сопротивления образца, Ом;

h – толщина измеренного образца, см;

K – коэффициент учитывающий геометрические параметры электрических систем датчика, K = 37,7.

Относительная погрешность в процентах рассчитывается по формуле

$$b = \frac{F_1 - F}{F} \cdot 100\%, \qquad (4.3)$$

где b – относительная погрешность давления, %;

F – величина расчетной нагрузки, Н;

F_1 – величина фактической нагрузки, Н.

Полученные результаты испытаний представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты испытаний полученных тканей на определение электрического сопротивления

Образцы ткани с электропроводящими нитями	Интервал прокладывания комбинированной нити по основе и утку (см)	Удельное поверхностное электрическое сопротивление (Ом)
– образец 1	1,5	$1{,}17 \cdot 10^4$
– образец 2	1,5	$2{,}64 \cdot 10^4$
– образец 3	1,5	$3{,}56 \cdot 10^4$
– образец 4	1	$3{,}3 \cdot 10^3$
– образец 5	1,5	$2{,}24 \cdot 10^4$
– образец 6	1,5	$3{,}36 \cdot 10^4$
– образец 7	1,5	$3{,}69 \cdot 10^4$
– образец 8	1,5	$1{,}58 \cdot 10^4$
– образец 9	1	$5{,}3 \cdot 10^3$
– образец 10	2	$1{,}98 \cdot 10^5$
– образец 11	1	$4{,}0 \cdot 10^3$
– образец 12	1,5	$2{,}57 \cdot 10^4$
– образец 13	1	$6{,}6 \cdot 10^3$
– образец 14	1,5	$3{,}3 \cdot 10^4$
– образец 15	2	$2{,}37 \cdot 10^5$
– образец 16	1	$6{,}6 \cdot 10^3$
– образец 17	1	$1{,}94 \cdot 10^3$
– образец 18	1,5	$3{,}5 \cdot 10^4$

Из полученных результатов испытаний видно, что при прокладывании комбинированной электропроводящей нити по основе и утку через 2 см величина удельного поверхностного сопротивления равна 10^5 Ом·м, через 1,5 см – 10^4 Ом·м, через 1 см – 10^3 Ом·м. Отсюда следует, что наиболее предпочтительным образцом ткани является

Витебский государственный технологический университет

ткань с интервалом прокладывания комбинированных электропроводящих нитей 35,3 текс через 1 см (рисунок 4.3) [25].

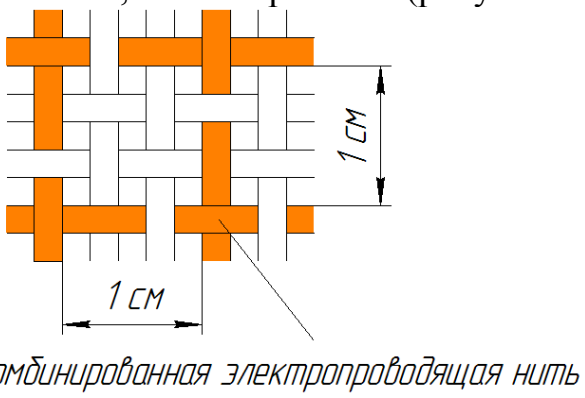


Рисунок 4.3 – Ткань специального назначения с прокладыванием комбинированной электропроводящей нити через 1 см

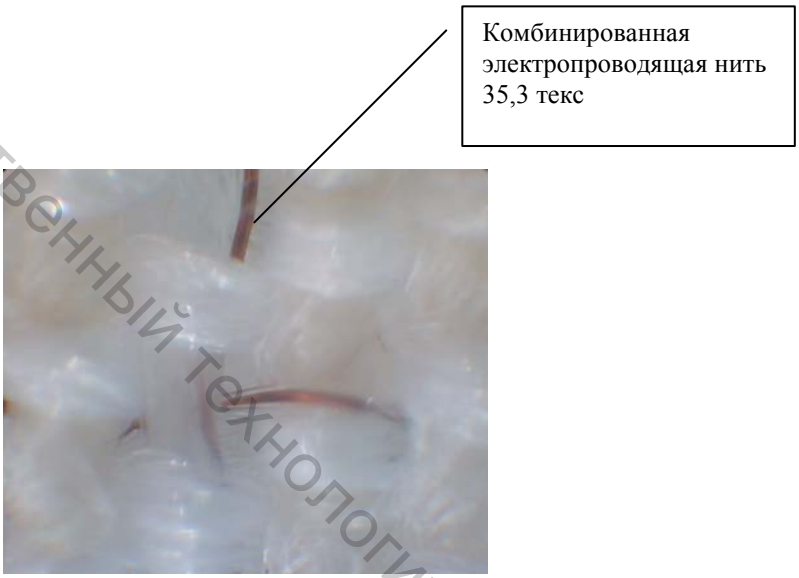


Рисунок 4.4 – Фотография ткани специального назначения с антистатическим эффектом

При анализе полученных результатов объектом сравнения была выбрана хлопколавсановая ткань с удельным поверхностным сопротивлением $1{,}4 \cdot 10^9$ Ом. Оптимальным вариантом вложения комбинированных электропроводящих нитей по основе и утку является ткань с прокладыванием нити через 1 см, в результате чего происходит снижение удельного электрического сопротивления с 10^9 Ом до 10^3 Ом, что придает ткани специального назначения антистатический эффект.

Витебский государственный технологический университет

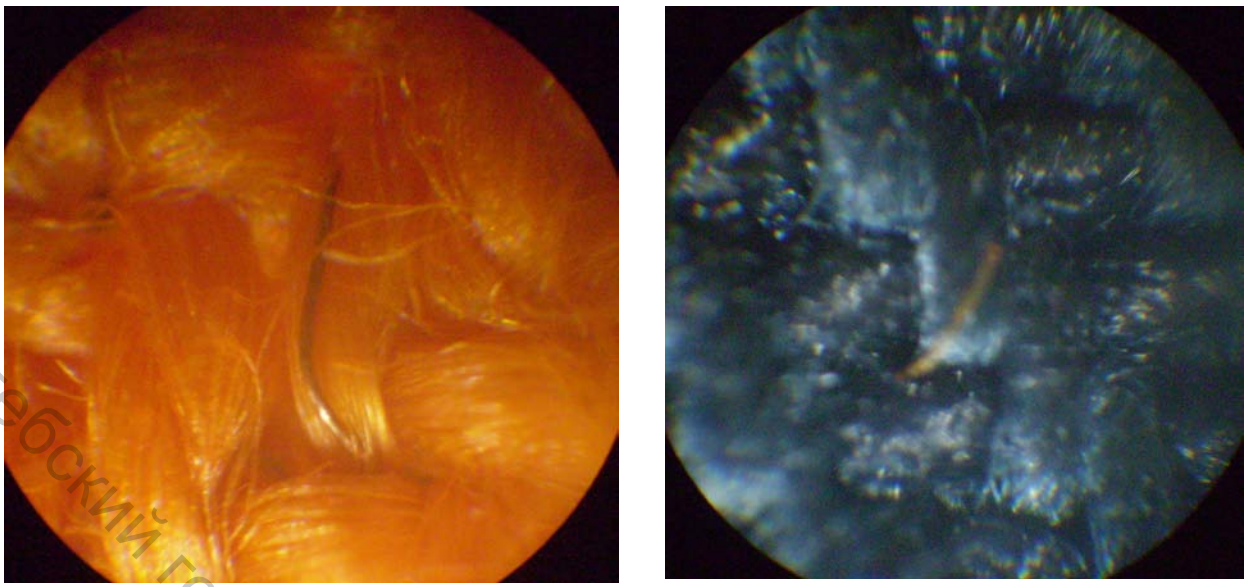


Рисунок 4.5 - Фотографии арселоновой и полиэфирной антистатической ткани специального назначения под микроскопом

Рисунок 4.6 - Фотография полиэфирной антистатической ткани специального назначения под микроскопом в срезе по основе

Витебский государственный технологический университет

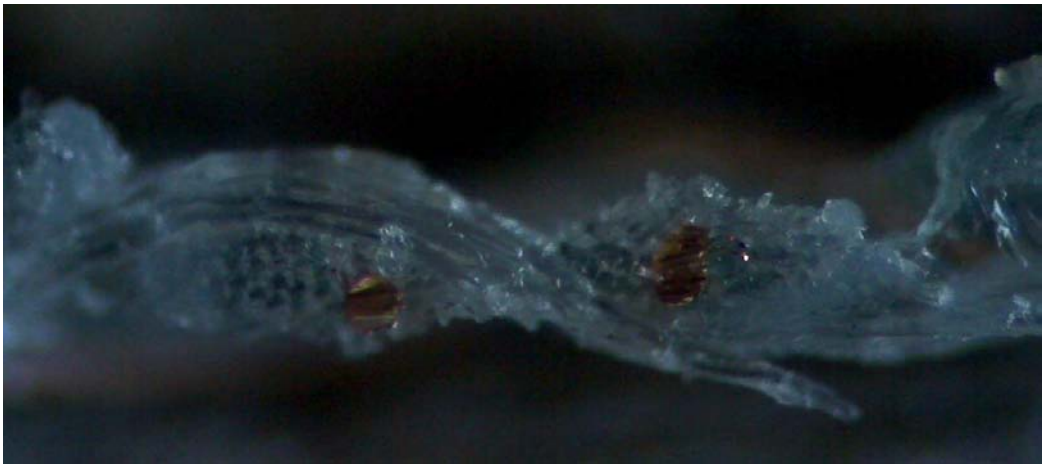


Рисунок 4.7 - Фотография полиэфирной антистатической ткани специального назначения под микроскопом в срезе по утку

Данные ткани препятствуют накоплению статического электричества и рекомендуются для изготовления специальной одежды работающих во взрывоопасных условиях.

Встроенная в структуру этих тканей специальная антистатическая нить или сетка из антистатических нитей делает ткань максимально безопасной в условиях работы, где главным требованием к рабочей одежде является ее способность не накапливать статическое электричество.

Необходимо отметить, что применяемая в тканях антистатическая металлизированная нить защищена от воздействия воды, низких и высоких температур. Ее функции основаны на нейтрализации статического напряжения с поверхности ткани (рабочего костюма) за счет индукции заряда и воздушной ионизации. Антистатические свойства тканей, содержащих антистатические нити, характеризуются показателем скорости снятия заряда за единицу времени и показателем удельного поверхностного сопротивления. Ткани, содержащие металлизированную нить, полностью удовлетворяют требованиям европейского стандарта EN 1149: скорость снятия заряда с тканей не превышает 0,04 секунды, а удельное поверхностное сопротивление составляет $10^4 – 10^5$ Ом.

На ОАО «Моготекс» была произведена переработка комбинированной электропроводящей нити линейной плотности 35 текс и исследование образцов ткани, содержащих данную нить, на физико-механические и электрические свойства.

Витебский государственный технологический университет

4.5 Определение влияния расположения комбинированной электропроводящей пряжи для получения антистатического коврового покрытия

Для определения потребительских свойств экспериментальной комбинированной токопроводящей пряжи 520 текс необходимо осуществить её переработку в ковровое покрытие артикула 4с18-ВИ и определить его некоторые электрофизические свойства. Переработка в ковровое покрытие артикула 4с18-ВИ проводилась в производственных условиях ОАО «Витебские ковры» по технологической цепочке, представленной на рисунке 4.8.

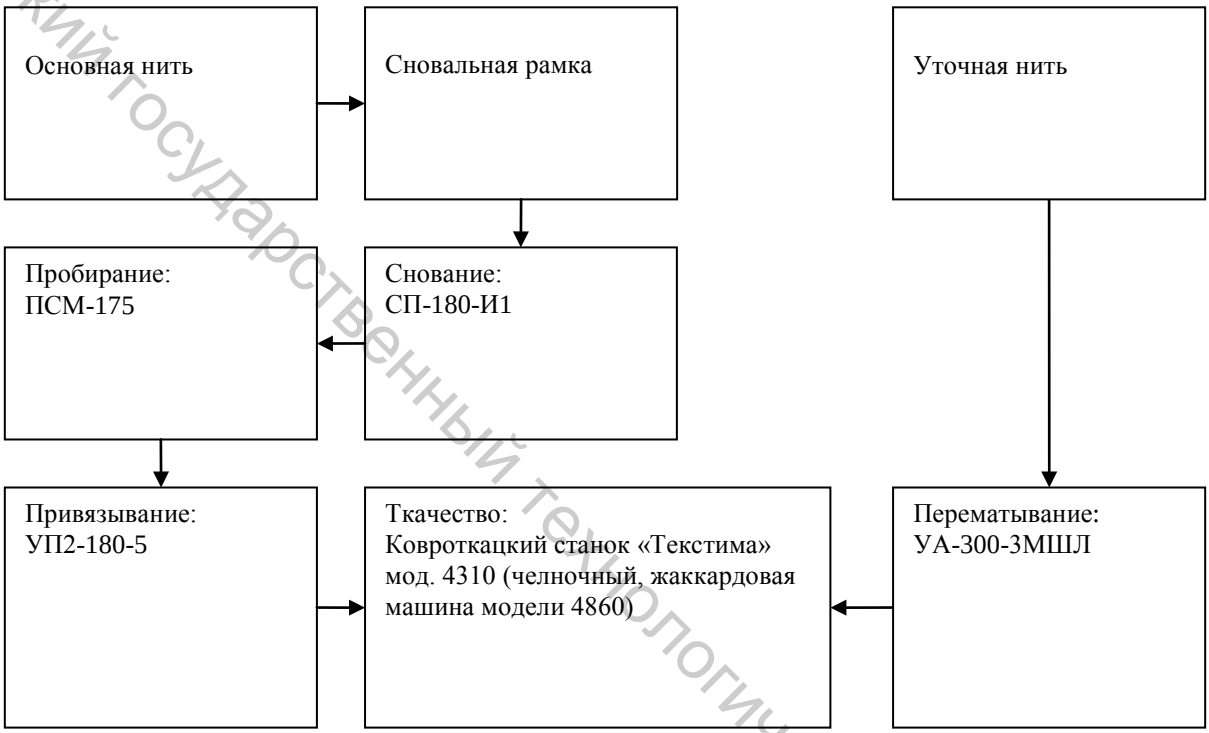


Рисунок 4.8 – Схема технологического процесса получения коврового покрытия артикула 4с18-ВИ

Процесс подготовки комбинированной электропроводящей пряжи с тростильно-крутильных машин К-176-2 к ткачеству заключается в следующем.

Основная нить

Грунтовая пряжа поступает на сновальную машину СП-180-И1, а ворсовая пряжа на сновальную рамку. После снования грунтовая пряжа идет в проборный отдел, где производится пробирание основных нитей в ламели, глазки галев ремизок и между зубьями берда на специальных проборных станках ПСМ-175. Если новая основа предназначена для выработки такого же коврового изделия, какое вырабатывалось из

Витебский государственный технологический университет

старого, то вместо пробирания применяют привязывание с использованием узловязальных машин УП2-180-5 или непосредственно на ткацком станке.

Уточная нить

Подготовка утка к ткачеству заключается в перематывании утка с катушки на шпули. Для перематывания утка используют уточно-мотальные автоматы УА-300-3ШЛ. Далее подготовленная основная и уточная пряжа поступают в ткачество.

Ткачество

Выработка коврового изделия на ковроткацком станке «Текстима» мод. 4310 (челночный, жаккардовая машина модели 4860) является заключительным этапом ткацкого производства.

При испытании полученного коврового покрытия на удельное поверхностное электрическое сопротивление получен результат $7{,}1 \cdot 10^2$ Ом, что отвечает необходимым требованиям ТНПА.

Из полученных результатов испытаний видно, что при прокладывании комбинированной электропроводящей пряжи по основе через 3 см ковровое покрытие обладает антистатическими свойствами и имеет низкое значение удельного поверхностного электрического сопротивления.

Фотография коврового покрытия артикула 4с18-ВИ с антистатическим эффектом под микроскопом представлена на рисунке 4.9.

Рисунок 4.9 – Фотография коврового покрытия с антистатическим эффектом под микроскопом

Витебский государственный технологический университет

Фотография внешнего вида коврового покрытия артикула 4с18-ВИ с антистатическим эффектом представлена на рисунке 4.10.

Рисунок 4.10 – Фотография внешнего вида коврового покрытия с антистатическим эффектом

Был проведен сравнительный анализ наработанных опытных образцов коврового покрытия с КЭПП, а также с ковровыми покрытиями такой же поверхностной плотности, но без КЭПП по показателям удельного поверхностного сопротивления и уровня напряженности.

Результаты исследования электрофизических характеристик опытных образцов коврового изделия представлены на рисунке 4.11.

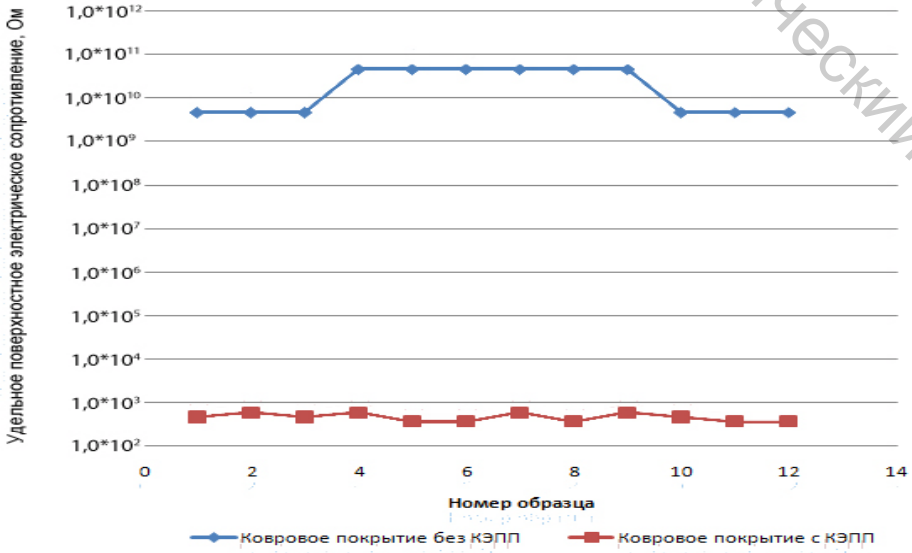


Рисунок 4.11 – Сравнительная диаграмма удельного электрического поверхностного сопротивления ковровых покрытий с КЭПП и без КЭПП

Витебский государственный технологический университет

При анализе полученных результатов объектом сравнения была выбрана ткань шерстяная с удельным поверхностным сопротивлением $1{,}7*10^9$ Ом. Оптимальным вариантом вложения комбинированной электропроводящей пряжи по основе является ковровое покрытие с прокладыванием пряжи через 3 см, в результате чего происходит снижение удельного электрического сопротивления с 10^9 Ом до 10^2 Ом на 7 порядков, что придает разработанному ковровому покрытию антистатический эффект.

4.6 Определение влияния расположения комбинированных электропроводных нитей на прохождение электромагнитных волн через ткань специального назначения

СВЧ волны применяют в многоканальной импульсной радиосвязи, при которой на одной несущей частоте передается несколько десятков, сотен (и более) телефонных разговоров. Используемая для этой цели импульсная модуляция требует передачи колебаний в очень широкой полосе частот, что можно осуществить только в диапазоне СВЧ-частот [95]. Применяют их и для телевизионного вещания, где тоже требуется широкий диапазон частот.

В настоящее время в некоторых случаях (например, при создании ткани для спецодежды персонала, обслуживающих СВЧ-установки) имеет значение прохождение СВЧ-волн через материал. Степень отражения СВЧ-волн тканью, содержащей КЭПН линейной плотности 55 текс, проверяли экспериментально.

Полученные образцы тканей с электропроводящими нитями исследовались на экспериментальной СВЧ-установке на предмет прохождения сверхвысокочастотной волны через ткань с различным вложением электропроводящих нитей.

Для сравнения результатов изготовлен образец, не содержащий КЭПН.

На рисунке 4.12 представлена схема СВЧ-установки.

Витебский государственный технологический университет

До проведения эксперимента генератор настраивают по

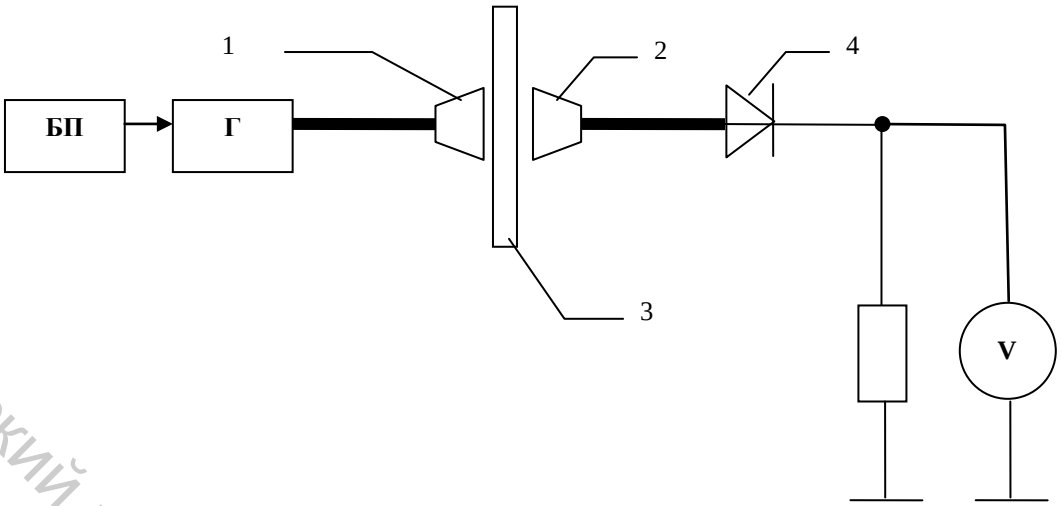


Рисунок 4.12 – Схема экспериментальной СВЧ-установки:

БП – блок питания; Г – СВЧ генератор (10 ГГц); 1 – излучающая антенна; 2 – приемная антенна; 3 – рамка с исследуемой тканью; 4 – СВЧ-диод; V – милливольтметр

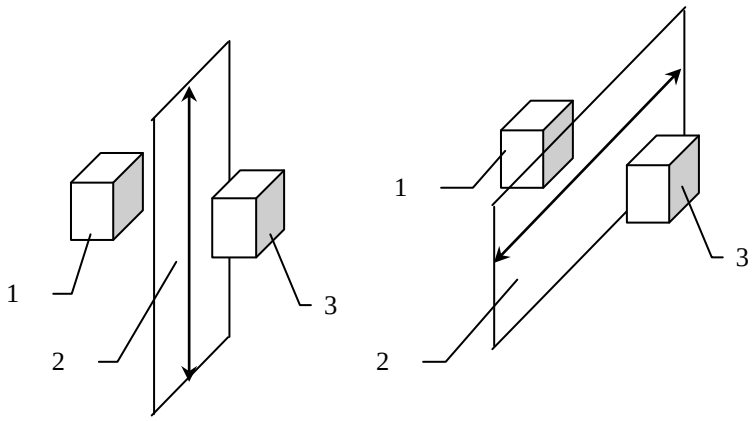
максимальным показаниям милливольтметра V (в данном эксперименте 882 мВ). Затем исследуемую ткань закрепляют на диэлектрической рамке и помещают между рупорными антеннами. Образцы тканей представляют собой прямоугольники со сторонами 10х20 см. В разных образцах максимальное вложение электропроводящих нитей совпадало либо с «длинной» стороной образца (уток), либо с «короткой» стороной (основа). Поэтому первоначально измерения производились при вертикальном расположении образцов. Затем образцы поворачивались в этой же плоскости на 90^0 и проводились повторные измерения.

Частота генератора лабораторной СВЧ-установки – 10 ГГц (длина волны – 30 мм). Электрическое напряжение на измерительном элементе до проведения эксперимента $U_{перв.}$– 882 мВ. В ходе эксперимента наблюдалось изменение напряжения на измерительном элементе U_1 ($U_1 \in [4 \ldots 880]$мВ), характеризующее степень пропускания СВЧ-волны через исследуемую ткань.

В ходе эксперимента было установлено, что исходя из разности напряжений на диоде до и после прохождения волны данные образцы пропускают не более 5 мВ на диод при вертикальном расположении.

В результате эксперимента установлено, что лучшими задерживающими свойствами обладают образцы тканей с максимальным вложением в своей структуре КЭПН [28–А, с. 133; 30–А, с. 42].

Витебский государственный технологический университет



а) б)

Рисунок 4.13 – Схема расположения образцов металлизированной ткани:

1 – излучающая антенна; 2 – исследуемый образец; 3 – приемная антенна

В результате эксперимента установлено, что в случаях, когда вектор СВЧ-волны совпадал с направлением электропроводящих нитей в ткани, наблюдалось наибольшее ослабление прошедшей через ткань волны ($U_1 = f(A)$, где A – параметр, характеризующий положение ткани по отношению к вектору СВЧ-волны). Если плоскость распространения СВЧ-волны перпендикулярна электропроводящим нитям, то ослабление было незначительно и характеризовалось свойством ткани задерживать СВЧ-волны. Предположим, что А = 0 при перпендикулярном направлении вектора СВЧ-волны относительно электропроводящих нитей в ткани, и А = 1 при параллельном направлении (направления совпадают). Тогда $U_1 \rightarrow \min^*$ при $A = 1$, или $U_1 = U_{перв.} - \Delta U$ при $A = 0$, где ΔU напрямую зависит от собственных свойств ткани и характеризует волну, не прошедшую через ткань; $\min^*$ – относительный минимум, зависящий от материала нитей, их толщины, переплетения и т. д.

С возрастанием расстояния между электропроводящими нитями ослабляются защитные свойства ткани. Предположим, что $B = 0$ при расстоянии между электропроводящими нитями L, большем критического расстояния для данной длинны волны ($L_{кр.} = \lambda/4$, в нашем случае $L_{кр.} = 30/4 = 7{,}5$мм) и В=1 при расстоянии, меньшем либо равно 7,5 мм. Наиболее эффективно ослабление волны при сочетании факторов $A = 1 \cup B = 1$. Причем, максимальное ослабление СВЧ-волны наблюдалось у тканей, где $L < L_{кр.}$ при соблюдении $A = 1$, т.е. электропроводящей нитью являлась каждая нить одного направления, и эти нити были параллельны вектору СВЧ-волны. В этом случае регистрировалось ослабление волны в 176 раз. Однако при условии изменения ориентации электропроводящих нитей относительно вектора СВЧ-волны ($A = 0$) наблюдалась слабая защита от СВЧ-волны.

Витебский государственный технологический университет

Установлено, что степень эффективности защиты зависит от величины $L < L_{кр}$. Чем больше $L_{кр.} / L$, тем эффективнее проявляются защитные свойства тканей [30–А, с. 40–42].

Экспериментально доказано, что определяющим является параметр А, т. е. расположение электропроводящей нити относительно вектора СВЧ-волны, а эффективность защиты напрямую зависит от степени вложения электропроводящих нитей (при $L < L_{кр}$ эффективность возрастает).

В результате была наработана ткань специального назначения саржевого переплетения со сплошным прокладыванием КЭПН по основе и по утку. В условиях сертифицированной лаборатории РУП «БелГИМ» ткань исследовалась на способность экранировать (отражать) СВЧ-волны различного диапазона на поверенной испытательной установке, схема которой представлена на рисунке 4.14.

До проведения эксперимента генератор настраивается по максимальным показаниям без исследуемой ткани. Затем исследуемую ткань закрепляем на диэлектрической рамке и помещаем вблизи излучающей антенны. Образец ткани представляет собой прямоугольник со сторонами 260х200 мм.

Ослабление, вносимое образцом, σ, %, определялось в соответствии с формулой

$$\sigma = \frac{P_э - P_{изм}}{P_э} \cdot 100, \qquad (4.4)$$

где $P_э$ – уровень мощности эталонного электромагнитного поля, мкВт;

$P_{изм}$ – уровень мощности электромагнитного поля за образцом ткани, мкВт.

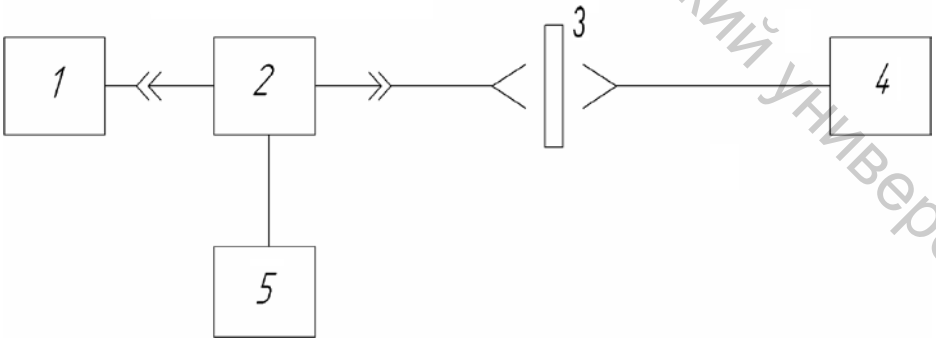


Рисунок 4.14 – Схема экспериментальной установки:

1 – генератор сигналов высокочастотный; 2 – антенна передающая П6-23М; 3 – рамка с исследуемой тканью; 4 – антенна эталонной установки П1-9; 5 – измеритель мощности М3-22А

Витебский государственный технологический университет

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

$$D = 10\lg\frac{П_{изм}}{П_э}, \qquad (4.5)$$

где $П_{изм}$ – плотность потока энергии электромагнитного поля за образцом ткани, мкВт/ см^2;

$П_э$ – плотность потока энергии эталонного электромагнитного поля, мкВт/см^2.

В таблице 4.6 приведены результаты измерения электромагнитного поля, вносимого образцом ткани из КЭПН.

Таблица 4.6 – Результаты измерения электромагнитного поля, вносимого образцом ткани из КЭПН

Частота, ГГц	Эталонное электромагнитное поле		Электромагнитное поле за образцом	
	Уровень мощности $P_э$, мкВТ	Плотность потока энергии $П_э$, мкВт/см^2	Уровень мощности $P_{изм}$, мкВт	Плотность потока энергии $П_{изм}$, мкВт/см^2
1,2	8860	33,18	5,80	0,021
2	7670	42,05	14,00	0,082
4	6460	48,03	1,35	0,011
5,64	467	8,65	0,38	0,007
8	1280	23,10	0,49	0,009
11,5	703	14,26	0,15	0,003

На рисунках 4.15 и 4.16 представлены графические зависимости экранирования образцов тканей в зависимости от частоты электромагнитных волн в ГГц [18–А, 19–А].

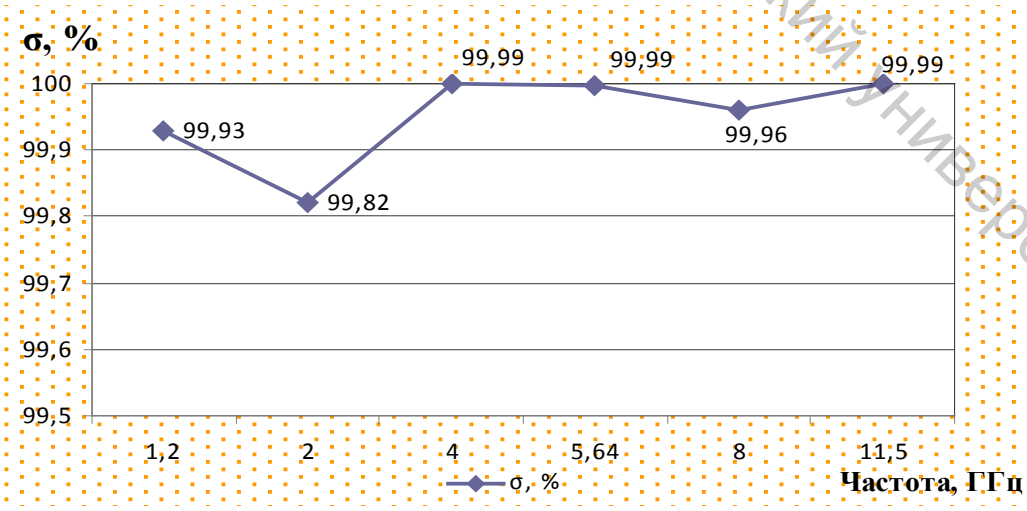


Рисунок 4.15– Диаграмма измерений ослабления электромагнитного поля тканью из КЭПН, %

Витебский государственный технологический университет

При анализе полученной графической зависимости (рисунок 4.16), установлено, что ослабление, вносимое образцом ткани из КЭПН, на всех диапазонах превышает 99 %.

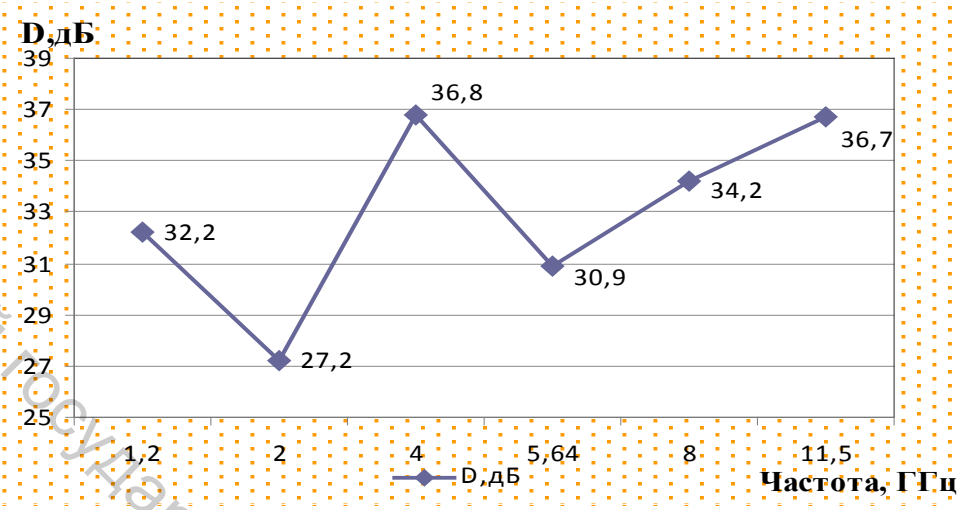


Рисунок 4.16 – Диаграмма измерений ослабления электромагнитного поля тканью из КЭПН , Дб

Максимальное значение ослабления ЭМИ образец ткани показал на частотах 4 ГГц; 5,64 ГГц и 11,5 ГГц. При учете разности уровня мощности до и после ткани ослабление ЭМИ для данного образца на исследуемых диапазонах частот составило от 548 раз на частоте 2,0 ГГц и 4785 раз на частоте 4,0 ГГц.

4.7 Определение влияния структуры тканей с комбинированными электропроводящими нитями на прохождение СВЧ-волн

В результате экспериментальных исследований обнаружено, что прохождение волн зависит от структуры тканей и от направления электропроводящих нитей в ткани относительно электрической составляющей (вектора Е) электромагнитной волны [96]. Если вектор Е электромагнитной волны сонаправлен с электропроводящими нитями в ткани, то в микропроволоке, находящейся в структуре ткани, будет наводиться ЭДС. Падающая волна будет терять свою мощность, а отраженная – увеличиваться. Таким образом, мощность прошедшей волны составит разность мощностей падающей и отраженной волн. Вольтметром установки первоначально регистрируется напряжение на измерительном приборе, характеризующее энергию волны,

Витебский государственный технологический университет

распространяющейся в свободном пространстве ($U_{св.}$). Затем регистрируется напряжение, характеризующее энергию прошедшей через исследуемый образец волны ($U_{пр.}$). Процентное соотношение напряжения прошедшей волны к напряжению волны в свободном пространстве можно назвать защитным свойством:

$$В = 100 - \frac{U_{пр.}}{U_{св.}} 100\% . \quad (4.6)$$

Установлено, что от расстояния между электропроводящими нитями зависят защитные свойства тканей на различных частотах. Критическим является расстояние между проводниками λ/4, где λ – длина волны. Если расстояние увеличить, то энергии через решётку, образованную электропроводящими нитями, пройдет больше [31–А, с. 25]. Следовательно, защита таких материалов снижается. В данном эксперименте частота СВЧ-генератора составляла 10 ГГц, соответственно, длина волны $\lambda = 30 мм$. Критическое расстояние определялось по формуле [97]

$$\lambda_{кр} = \frac{\lambda}{4}. \quad (4.7)$$

В таблице 4.7 приведена характеристика экранирующих свойств исследуемых тканей.

Таблица 4.7 – Характеристика экранирующих свойств исследуемых тканей

№ образца	Отраженная волна				Защитные свойства (прошедшая волна)	
	Основа расположена вертикально (↑)		Основа расположена горизонтально (→)		Направление (↑)	Направление (→)
	Абсол. знач., мВ	Относ. знач., %	Абсол. знач., мВ	Относ. знач., %	%	%
1	552	73,60	3,20	0,43	26,40	99,57
2	712	94,93	3,30	0,44	5,07	99,56
3	3,70	0,49	3,20	0,43	99,51	99,57
4	3,50	0,47	550	73,33	99,53	26,67

Таким образом, установлено, что защитные свойства зависят от структуры тканей. Чем плотнее располагаются в ткани

Витебский государственный технологический университет

электропроводящие нити, тем больше отражается энергии СВЧ-волны [96]. Наилучшими защитными свойствами обладает образец ткани № 3 [32–А]. Защитные свойства (более 99 %) по направлению, совпадающему с направлением утка, достаточно высоки и по величине почти равны защитным свойствам в направлении, перпендикулярном утку.

Фотография ткани с экранирующим эффектом под микроскопом представлена на рисунке 4.17.

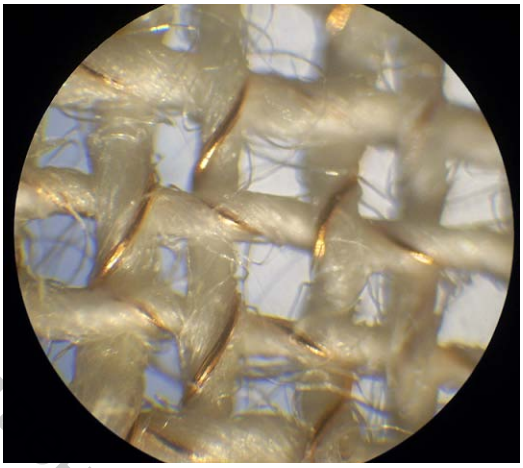


Рисунок 4.17 - Фотография ткани с экранирующим эффектом под микроскопом

С появлением электрических и электронных устройств во всем мире защита от электромагнитных волн, излучаемых приборами, является одной из главных задач, которую необходимо решить. Среди различных предлагаемых решений текстильные изделия и основанные на тканях композиционные материалы получили наиболее широкое распространение из-за универсальности этих текстильных материалов. Основной источник электромагнитного излучения – это электрические сигналы, испускаемые различными приборами. Электромагнитное излучение испускают: компоненты катушек индуктивности, цифровые устройства и высоковольтные провода, несущие большой переменный ток в энергетических частотах, которые способны к испусканию СВЧ волн. Для решения проблемы защиты от электромагнитных волн необходимо экранировать (отражать) эти виды излучений.

Одним из способов экранирования электромагнитного излучения является применение тканей специального назначения с комбинированными электропроводящими нитями в основе и утке.

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

Витебский государственный технологический университет

защиты человека и электронных приборов от излучения и электромагнитных помех.

Для наработки тканей специального назначения с экранирующими свойствами использовались комбинированные электропроводящие нити, содержащие в своей структуре медную микропроволоку диаметром 0,05 и 0,1 мм.

Дальнейшие исследования по изучению влияния структуры тканей специального назначения на экранирующую способность должны проводиться в целях возможности использования таких тканей в автомобильной промышленности, авиации, строительстве, бытовой электронике, электроприборах и проводящего наполнителя в композитных материалах.

4.8 Разработка ассортимента тканей с антистатическими свойствами

Были наработаны образцы тканей полотняного переплетения с использованием комбинированной металлизированной пряжи 40 текс.

В лаборатории входного контроля ОАО «КИМ» были проведены исследования электрофизических характеристик опытных образцов ткани на удельное поверхностное сопротивление и на уровень напряженности в соответствии с ГОСТом 19616–74.

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

Результаты исследования электрофизических характеристик опытных образцов ткани представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты испытаний тканей с антистатическими свойствами на удельное поверхностное электрическое сопротивление

Образцы ткани с электропроводящими нитями	Интервал прокладывания комбинированной нити по основе (см)	Удельное поверхностное электрическое сопротивление (Ом)
образец 1	1	$1{,}6 \cdot 10^3$
образец 2	1,5	$3{,}1 \cdot 10^3$
образец 3	2	$7{,}8 \cdot 10^3$
образец 4 без электропроводящих нитей	-	$1{,}2 \cdot 10^{10}$

Установлено, что при вложении электропроводных нитей через 1 см по основе и по утку удельное электрическое поверхностное

Витебский государственный технологический университет

сопротивление ткани снижается на 8 порядков по сравнению с образцами, в которых не прокладывались электропроводные нити. Этим доказывается антистатический эффект тканей с электропроводными нитями, что обусловливает широкое применение тканей для технических целей.

5 РАЗРАБОТКА АССОРТИМЕНТА ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН С ЭКРАНИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ

Качество трикотажных изделий является главным требованием на потребительском рынке. Важную роль играют не только комфортность, красивый внешний вид, легкость ухода за изделиями, но также прочность, износостойкость, гигиенические показатели.

Для определения качества верхних изделий используют следующие показатели: эксплуатационные, эстетические и гигиенические. Эстетические показатели включают в себя колористическое оформление, рисунок, переплетение. Гигиенические показатели – это гигроскопичность материала, воздухопроницаемость. Для верхних изделий эксплуатационными показателями качества являются растяжимость, устойчивость к истиранию. Для верхнетрикотажных изделий возможен выбор разнообразных переплетений. Основными видами переплетений являются: гладь, ластик, интерлок, а также широко используются платированные, прессовые. Широкое распространение имеет трикотаж комбинированных переплетений.

Для сравнения экранирующих и физико–механических свойств трикотажных полотен было получено 24 образца на оборудовании “ПВРК” и “ОЗГА” переплетениями кулирная гладь, ластик 1+1 и полуфанг. Для наработки образцов были использованы все виды полученной пряжи.

В таблице 5.1 в соответствии с выбранным сырьём, переплетением и оборудованием представлены полученные образцы.

Таблица 5.1 – Полученные образцы трикотажных полотен из комбинированных электропроводящих нитей и пряжи

Номер образца	Линейная плотность пряжи, Текс	№ варианта пряжи	Наличие лайкры	Переплетение	Оборудование
1	44	1	Нет	Кулирная гладь	«ПВРК»

Витебский государственный технологический университет

Продолжение таблицы 5.1

2	44	1	Да	Кулирная гладь	«ПВРК»
3	44	3	Нет	Кулирная гладь	«ПВРК»
4	44	3	Да	Кулирная гладь	«ПВРК»
5	60	1	Нет	Кулирная гладь	«ПВРК»
6	60	1	Да	Кулирная гладь	«ПВРК»
7	60	2	Нет	Кулирная гладь	«ПВРК»
8	60	2	Да	Кулирная гладь	«ПВРК»
9	44	3	Нет	Ластик 1+1	«ПВРК»
10	44	3	Да	Ластик 1+1	«ПВРК»
11	60	1	Нет	Ластик 1+1	«ПВРК»
12	60	1	Да	Ластик 1+1	«ПВРК»
13	44	3	Нет	Полуфанг	«ПВРК»
14	44	1	Нет	Кулирная гладь	«ОЗГА»
15	44	1	Да	Кулирная гладь	«ОЗГА»
16	44	2	Да	Кулирная гладь	«ОЗГА»
17	44	4	Да	Кулирная гладь	«ОЗГА»
18	60	1	Да	Кулирная гладь	«ОЗГА»
19	60	2	Да	Кулирная гладь	«ОЗГА»
20	55		Да	Кулирная гладь	«ОЗГА»
21	55		Да	Ластик 1+1	«ПВРК»
22	44	2	Да	Ластик 1+1	«ПВРК»
23	60	2	Да	Ластик 1+1	«ПВРК»

Результаты проведенных испытаний были сведены в общую таблицу 5.2.

Витебский государственный технологический университет

Таблица 5.2 – Результаты испытаний трикотажных полотен из комбинированных электропроводящих нитей и пряжи

Номер образца	Плотности		Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м^2	Линейная плотность, текс	Растяжимости при нагрузках меньше разрывных и необратимой деформации		Воздухопроницаемость дм^3/м^2·с	Разрывной нагрузки и растяжимости трикотажных полотен при продавливании шариком	
	Плотность по вертикали	Плотность по горизонтали				Растяжимость, %	Необратимая деформация, %		Разрывная нагрузка, %	Растяжимость, %
1	70	50	181±1	181,14	12,7	269±1	209±1	4200±200	24,0±0,7	255,0±0,8
2	95	110	379±0	378,86	26,5	69±1	23±2	1040±60	20,0±0,6	419,0±0,8
3	90	55	176±1	176,29	12,3	214±1	263±1	3500±200	25,0±0,5	324,0±0,8
4	95	90	361±1	361,00	21,7	107±1	40±1	920±70	20,0±0,5	406,0±0,5
5	90	55	161±0	161,40	13,9	171±1	118±1	3100±200	43,0±0,5	228,0±0,3
6	90	92	393±0	392,73	25,9	73±0	33±2	710±40	44,0±0,5	392,0±0,6
7	120	54	167±1	166,56	10,7	278±1	197±2	3400±100	28,0±0,5	214,0±0,5
8	110	92	327±1	327,31	17,0	231±1	73±1	790±70	26,0±0,5	378,0±0,7
9	127	42	226±1	225,75	16,5	435±1	356±1	7700±100	32,0±0,6	214,0±0,8
10	200	86	611±0	611,15	31,8	295 ±1	110±1	690±70	23,0±0,6	611,0±0,6
11	210	44	241±2	241,32	18,3	354±0	238±1	3400±200	52,0±0,3	282,0±1
12	96	74	564±0	564,21	32,2	164±1	67±1	620±70	43,0±0,5	543,0±0,7
13	96	33	240±1	240,20	23,8	193±0	131±1	3400±200	26,0±0,7	282,0±0,7
14	110	56	226±1	226,32	8,6	209±1	128±1	2150±70	28,0±0,5	200,0±0,6
15	120	98	366±1	365,71	15,4	60±0	20±1	830±80	44,0±0,5	392,0±0,5
16	110	100	358±1	357,50	14,3	53±1	19±1	780±20	46,0±0,5	378,0±0,5
17	110	96	339±1	339,13	15,6	42±1	12±1	780±50	32,0±0,5	392,0±0,3
18	130	102	358±1	357,78	12,9	75±1	36±1	800±70	49,0±0,5	447,0±0,5
19	140	102	406±1	405,79	15,4	71±2	11±1	770±60	65,0±0,3	419,0±0,5
20	120	106	340±1	340,45	15,0	50±1	6±1	670±50	33,0±0,7	393,0±0,5
21	152	72	578±1	578,11	30,6	300±1	109±1	610±50	38,0±0,5	570,0±0,5
22	64	96	805±1	804,71	41,0	73±0	13±1	540±60	24,0±0,3	748,0±0,6
23	76	66	571±1	570,91	25,1	424±1	149±1	460±30	28,0±0,5	803,0±0,9

Витебский государственный технологический университет

Для полученных образцов были определены физико-механические характеристики, которыми должны обладать материалы для экранирования электромагнитных волн:

- низкая воздухопроницаемость, так как чем ниже воздухопроницаемость, тем плотнее петельная структура трикотажа, следовательно, полотно будет меньше пропускать электромагнитные волны;

- высокая прочность, так как данный трикотаж предполагается использовать в качестве чехла на мобильный телефон. Телефон находится в кармане, сумке, руке и испытывает трения, также чехол будет периодически сниматься и одеваться;

- наименьшая необратимая деформация, для того, чтобы при многократном использовании сохранял первоначальный вид и чтобы при снятии с телефона чехол имел красивый внешний вид.

- достаточная растяжимость, чтобы чехол держался на мобильном телефоне и не спадал при эксплуатации.

Проанализировав таблицу 5.2 в соответствии с приведенными выше характеристиками, определили: что наилучшими свойствами для экранирования обладают образцы 16, 19, 20, а наихудшими – 1, 3, 9.

Для проведения испытаний отражения электромагнитных излучений из трех образцов (16, 19 и 20) был отобран образец под номером 16, обладающий следующими характеристиками:

- сырье – комбинированная электропроводящия нить 44текс пневмомеханического способа формирования +лайкра;

- переплетение – кулирная гладь;

- оборудование – “ОЗГА” кругловязальный автомат 8-го класса с диаметром цилиндра 1¾ дюйма.

На рисунке 5.1 представлена графическая зависимость экранирования образца трикотажа в % от частоты электромагнитных волн в ГГц. На рисунке 5.2 представлена графическая зависимость ослабления, вносимого образцом ткани в дБ в зависимости от частоты электромагнитных волн в ГГц.

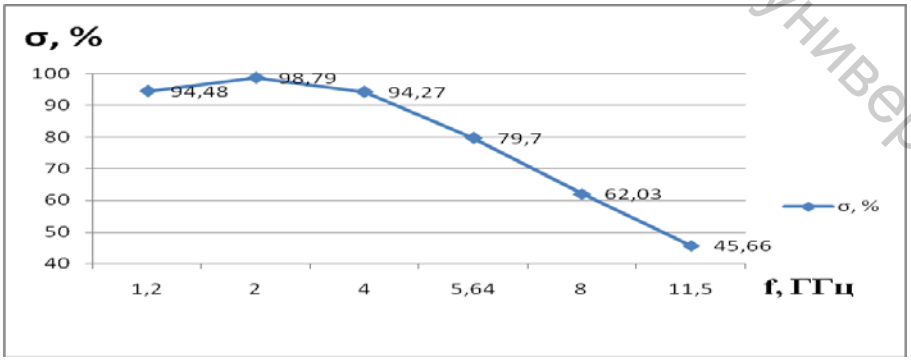


Рисунок 5.1 – Зависимость экранирования образца от частоты электромагнитных волн в ГГц

Витебский государственный технологический университет

В результате анализа зависимости экранирования от частоты электромагнитных волн установлено, что образец одинаково хорошо экранирует электромагнитное излучение на частотах 1,2 – 4 ГГц разных диапазонов частот, не пропуская 94,27 – 98,79 % электромагнитных волн. Максимальное значение экранирование показывает образец 98,79 % при частоте 2 ГГц. Минимальное значение экранирования показывает образец 45,66 % при частоте 11,5 ГГц.

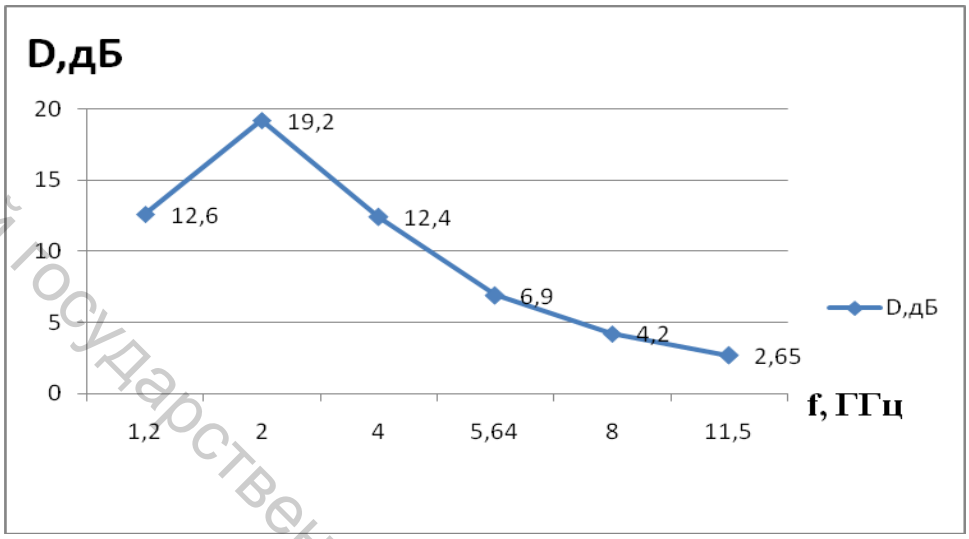


Рисунок 5.2 – Зависимоссь ослабления вносимого образцом от частоты электромагнитных волн в ГГц

Анализируя зависимость ослабления вносимое образцом трикотажа от частоты электромагнитных волн можно сказать, что образец хорошо ослабляет электромагнитный поток на частотах от 1,2 до 4 ГГц. Максимальное ослабление электромагнитного потока 19,2 дБ образец показывает при частоте 2 ГГц. Минимальное ослабление электромагнитного потока 2,65 дБ образец показывает при частоте 11,5 ГГц.

Результаты измерения электромагнитного поля, вносимого образцом трикотажа, представлены в таблице 5.3.

Витебский государственный технологический университет

Таблица 5.3 – Результаты измерения электромагнитного поля, вносимого образцом трикотажа

Частота, ГГц	Эталонное электромагнитное поле		Электромагнитное поле за образцом		Ослабление, вносимое образцом	
	Уровень мощности *Рэ*, мкВТ	Плотность потока энергии *Пэ*, мкВт/см^2	Уровень мощности *Ризм*, мкВТ	Плотность потока энергии *Ризм*, мкВт/см^2	*σ*, %	*D*, дБ
1,2	8860	33,18	489	1,83	94,48	-12,6
2	7670	42,05	92,6	0,51	98,79	-19,2
4	6460	48,03	370	2,75	94,27	-12,4
5,64	467	8,65	94,8	1,76	79,7	-6,9
8	1280	23,1	486	8,77	62,03	-4,2
11,5	703	14,26	382	7,75	45,66	-2,65

Установлено, что исследуемый образец трикотажного полотна защищает от электромагнитного излучения, не пропуская 94,3 – 98,9 % электромагнитных волн на диапазонах частот от 1,2 ГГц до 4 ГГц.

5.1 Разработка ассортимента трикотажных полотен с антистатическими свойствами

При разработке трикотажных полотен с антистатическими свойствами для выработки фильтрующего трикотажного материала выбрано гладкое платированное переплетение, позволяющее получить гладкую поверхность трикотажного полотна с относительно одинаковыми и равномерно расположенными на ней порами. Для грунта платированного переплетения использованы переплетения трико, производное трико различной игольности; в качестве платировочного переплетения – цепочка, трико, сукно.

На основании анализа базовой структуры трикотажного материала и особенностей рабочего процесса ее получения установлены основные требования к вязальному оборудованию, в соответствии с которыми для экспериментальной выработки трикотажного материала выбрана плоская однофонтурная основовязальная машина марки «кокетт-4» 28 класса. Для вязания трикотажного материала выбраны полиэфирные комплексные нити: для грунтовой нити – текстурированная среднерастяжимая нить линейных плотностей (числа элементарных нитей) 12 (30); 18,1 (30); 18,7 (30); 18,7 (64) текс; для

Витебский государственный технологический университет

платировочной нити – те же нити, что и для вязания грунта, а также высокоусадочная нить линейной плотности 16,8 (48) текс; для уточной нити – высокопрочная нить линейной плотности 29,4 (48) текс. Для придания антистатических свойств в структуру трикотажного материала были введены комбинированные электропроводящие нити T = 55 текс с чередованием по утку через 1, 1,5 и 2 см.

При апробировании процесса вязания трикотажного материала установлено, что из всех структур трикотажного материала целесообразно использовать четыре варианта: 1, 2, 3, 4-й, так как они в наибольшей степени соответствуют предъявляемым к ним требованиям, а выработка их возможна на стандартном вязальном оборудовании. Заправочные данные для вязания трикотажного материала названых вариантов приведены в таблице 5.4.

При выработке трикотажного материала установлены отклонения по их основным технологическим показателям.

Таблица 5.4 – Заправочные данные для вязания трикотажа

Условное обозначение варианта трикотажного полотна	Линейная плотность нитей в заправках, текс / число элементарных нитей / переплетение		
	1 гребенка	2 гребенка	3 гребенка
1	29,4/48 уточное со сдвигом на два игольных шага	12,0/30 5-игольное трико	16,8/48 цепочка
2	29,4/48 уточное со сдвигом на один игольный шаг	12,0/30 5-игольное трико	16,8/48 цепочка
3	29,4/48 уточное со сдвигом на один игольный шаг	12,0/30 5-игольное трико	16,8/48 трико
4	12,0/30 6-игольное трико	16,8/48 цепочка	—

Для обеспечения максимальной усадки нитей и увеличения степени заполнения полотна волокнистым материалом контактная термообработка осуществлялась без натяжения полотна. Выходными параметрами являлись характеристики трикотажного материала: число петельных рядов на 10 см, число петельных столбиков на 10 см, поверхностная плотность, усадка по длине, усадка по ширине.

Витебский государственный технологический университет

Данные образцы исследовались в аккредитованной лаборатории УО «ВГТУ» на удельное электростатическое поверхностное сопротивление и напряжённость электростатического поля. Было установлено, что уровень напряжённости электростатического поля значительно снижается при введении в структуру электропроводящей нити с 2,5 до 0 кВт/м, что в значительной степени отражает влияние наличия электропроводящих нитей в структуре трикотажа на электростатические свойства. Результаты исследований трикотажных полотен на удельное электростатическое поверхностное сопротивление представлены на рисунке 5.3.

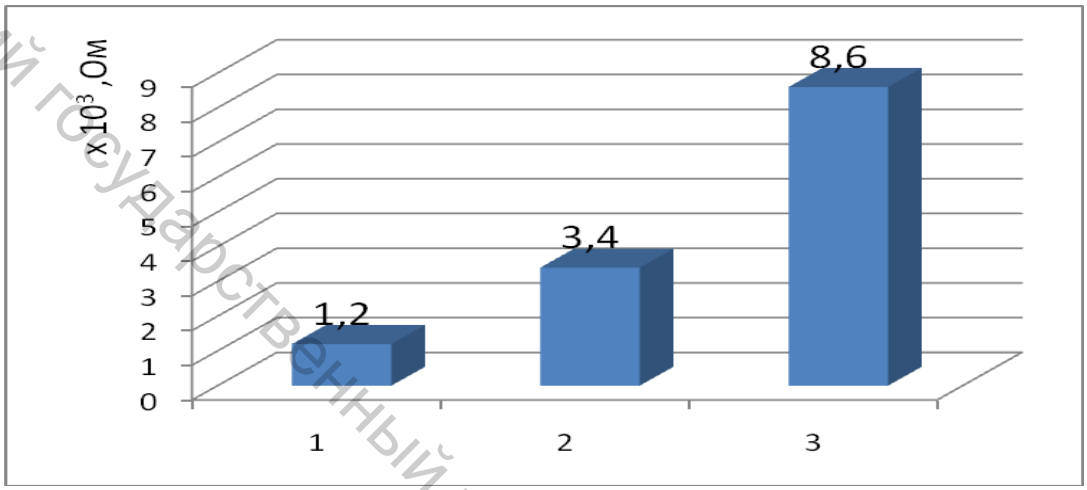


Рисунок 5.3 – Диаграмма удельного электрического поверхностного сопротивления трикотажа:

1) трикотажный материал с чередованием электропроводящих нитей по утку через 1 см;

2) трикотажный материал с чередованием электропроводящих нитей по утку через 1,5 см;

3) трикотажный материал с чередованием электропроводящих нитей по утку через 2 см

Установлено, что наилучшие антистатические свойства трикотажа достигаются при чередовании комбинированных электропроводящих нитей через 1 см по утку.

Витебский государственный технологический университет

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа существующих технологических процессов прядильного и крутильного производства авторами предложены новые способы получения комбинированных электропроводящих нитей на тростильно-крутильном, прядильно-крутильном и прядильном оборудовании. Приведены математические зависимости, позволяющие рассчитать основные прочностные показатели комбинированных электропроводящих нитей различных линейных плотностей и сырьевых составов. Разработанная программа на ЭВМ, реализующая предложенные математические модели, может быть использована для расчета и прогнозирования прочностных и структурных свойств комбинированных электропроводящих нитей.

В монографии приведены примеры технологических процессов переработки волокнистых материалов различного состава и медной микропроволоки с целью получения комбинированных электропроводящих нитей с заданными физико-механическими и электрофизическими характеристиками. Осуществлен структурный анализ полученных комбинированных нитей в зависимости от значений параметров работы оборудования, свойств исходных компонентов и ряда случайных факторов.

Рассмотрен вопрос влияния расположения комбинированных электропроводных нитей в структуре ткани на уровень напряженности и на удельное поверхностное сопротивление получаемых текстильных материалов специального назначения. Определено влияние расположения комбинированных электропроводящих нитей в структуре тканей и трикотажных полотен на прохождение электромагнитного излучения различных длин волн.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований физико-механических свойств комбинированных электропроводящих нитей могут использоваться в качестве заправочных параметров оборудования для производства тканей и трикотажных изделий специального назначения.

Данная монография будет полезна для специалистов текстильных предприятий, студентов, аспирантов и научно-технических работников, занимающихся изучением технологических процессов прядильного, крутильного, ткацкого и трикотажного производства. Основные результаты, полученные при проведении исследований, нашли практическое применение на текстильных предприятиях Республики Беларусь. Эти результаты будут полезны также в будущем при разработке новых технологических процессов и создании нового ассортимента нитей и изделий специального назначения.

Витебский государственный технологический университет

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казаков, М. М. НПЦ «УВИКОМ»: технологии будущего / М. М. Казаков, Т. Сахаров // Технический текстиль. – 2003. – № 7. – С. 26.
2. Левит, Р. М. Электропроводящие химические волокна / Р. М. Левит. – Москва : Химия, 1986. – 200 с.
3. Азенштейн, Э. М. Перспективы развития химических волокон / Э. М. Азенштейн // Текстильная промышленность. -2006. – № 11. – С. 43-44.
4. Углерод : [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа : http:// www.news.ru / Дата доступа: 18.09.2006.
5. Перепелкин, К. Е. Углеродные волокна со специфическими физическими и физико-химическими свойствами на основе гидратцеллюлозных и полиакрилонитрильных прекурсоров : обзор / К. Е. Перепелкин // Химические волокна. – 2002 . – № 4. – С. 32-40.
6. Калашник, А. Т. Механизм преобразования акриловых волокон в процессе термоокислительной стабилизации / А. Т. Калашник, А. Т. Серков // Химические волокна. – 2000. – № 5. – С. 46-53.
7. Конкин, А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы / А. А. Конкин. – Москва : Химия, 1974. – 376 с.
8. Морозова, А. А. Углеродные волокнистые материалы на основе вторичного сырья льноперерабатывающей промышленности / А. А. Морозова, Ю. В. Брежнева // Химические волокна. – 2001. – № 1. – С. 40-44.
9. Азенштейн, Э. М. Мировое производство химических волокон и нитей в 2003 г. / Э. М. Азенштейн // Химические волокна . – 2004. – № 6. – С. 60- 73.
10. Пути совершенствования технологии получения углеродных волокон / А. Т. Серков [и др.] // Химические волокна. – 2003. – № 2. – С. 26-30.
11. Стальные волокна :[Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа http:// www.textkan.ru / Дата доступа: 19.10.2008.
12. Металлизированные нити : [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа : http:// www.larix.ru / Дата доступа: 18.09.2008.
13. ГОСТ 13784 – 94. Волокна и нити текстильные. Термины и определения. – Взамен ГОСТ 13784 – 70 ; введ. 1996 – 07 – 01. – Москва : ИПК Изд-во стандартов, 1995. – 7 с.
14. Flame - retardant polyester sewing yarn // Textile network. – 2006. – Vol. 4, № 3. – P. 36.
15. Коган, А. Г. Производства комбинированной пряжи и нити / А. Г. Коган. – Москва, 1981. – 143 с.
16. Усенко, В. А. Прядение химических волокон : учебник для вузов / В. А. Усенко [и др.] ; под ред. В. А. Усенко. – Москва : РИО МГТА, 1999. – 472 с.

Витебский государственный технологический университет

17. Коган, А. Г. Новое в технике прядильного производства : учебное пособие / А. Г. Коган, Д. Б. Рыклин, С. С. Медвецкий. – Витебск : УО «ВГТУ», 2005. – 195 с.

18. Имитационная модель вытягивания волокнистого продукта / В. Е. Казаков [и др.] // Вестник Витебского государственного технологического университета / УО «ВГТУ» ; гл. ред. В. С. Башметов. – 2004. – Вып. 6. – С. 8.

19. Усенко, В. А. Производство кручёных и текстурированных химических нитей / В. А. Усенко. – 2-е изд. – Москва, 1987. – 352 с.

20. Башков, А. Нетрадиционные способы прядения / А. Башков // В мире оборудования. – 2004. – № 11-12. – С. 37-39.

21. Исследование новых структур ниток / И. И. Штут [и др.] // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1997. – № 1. – С. 36-39.

22. Киселев, Р. В. Оптимизация технологического процесса получения высокорастяжимой хлопкохимической пряжи / Р. В. Киселев // Вестник Витебского государственного технологического университета / УО «ВГТУ» ; гл. ред. В. С. Башметов. – 2006. – Вып. 10. – С. 12.

23. Катц, Н. В. Металлизация тканей / Н. В. Катц. – Москва : Ростехиздат, 1962. – 169 с.

24. Электропроводная нить = Elektris leitfahiges Garn. : заявка 10242785 Германия : МПК^7 D 02 G 3/12, 02 G 3/32 / заявитель и патентообладатель W. Zimmermann GmbH&; Co. KG, Nusko Robe Parzl Adi, Maier Georg. – № 10242785.2 ; заявл. 14.09.01 ; опубл. 01.04.04, Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2005. – №3, Б33П. – С. 12.

25. Нить с ядром и оболочкой = Coregarn. : заявка 10200965 Германи : МПК^Г D 02 G 3/36, D 02 G 3/12 / Schumacher Rolf, Ziegele Mark (Ruckh, R., Dipl.-Phys Dr. rer. nat., Pat.-Anw., 73277 Owen). – № 10200965.1 ; заявл. 12.01.02 ; опубл. 31.07.03, Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2004.– 12Б31П. № 5. – С. 7.

26. Устройство для получения электропроводных нитей = Conductive fiber, manufacturing methodtherefor, apparatus, and application : заявка 1312711 ЕПВ : МПК^7 D 06 M 11/83, D Об B 5/16 / Mitsubishi Materials Corp., Japan Electric Metals Corp., Ltd, Shibuta Daisuke, Imai Hiroyuki, Yokomizo Masahiro. Tsunashima Makoto, Maeda Yusuke, Fumya Nobuo (HOFFMANN — EITLE Patent- und Rechtsanwalte Arabellastrasse 4 81925 Munchen (DE)). – № 030042444 ; заявл 21.11.00 ; опубл. 21.05.03, Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ 12Б. – 2004. – № 1. – С. 5.

27. Для NASA разработана электропроводящая нить : [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа : http:// www.osp.ru / Дата доступа: 25.03.2008.

Витебский государственный технологический университет

28. Электропроводная нить = Elektrisch leitfahiges Gam : заявка 10342787 Германия : МПК[7] D 02 G 3/12, D 02 G 3/32 / заявитель W. Zimmermann GmbH &: Co. KG, Nusko Robert, Parzl Adi, Maier Georg. – № 10242785.2 ; заявл 15.09.03 ; опубл. 13.05.04, Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2004-12Б24П. – № 4. – С. 15.

29. Ткань для специальной одежды : пат. 2229544 Россия : МПК[7] D 03 D 1/00 / Н. М. Левакова, И. П. Лозина, Е. М. Горынина, Р. Х. Фатхутдинов, Л. А. Тарасов, Р. А. Комлев – № 2003107998/12 ; заявл. 26.03.03; опубл. 27.05.04. // Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2004-12Б62П. – № 2. – С. 17.

30. Нить из развальцованного графита = Braiding yarn made of expanded graphite : пат. 6644007 США : МПК[7] D 02 G 3/02, D 02 G 3/22 / заявитель и патентообладатель Nippon Pillar Packing Co., Ltd, Fujiwara Masaru, Veda Takahisa. – № 09/926017 ; заявл. 25.12.00 ; опубл. 11.11.03. // Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2004-12Б22П. – № 3. – С. 13.

31. Neue Moglichkeiten mit leitfahigen Spezialgarnen. Электропроводная армированная нить / Mauch Hans-Peter, Nusko Robert // Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2006. – № 5. – С. 3.

32. Static solution. Электропроводная нить // Textile Mon // Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2000-12Б41. – № 4. – С 27.

33. Зависимость электропроводности нитей из нейлона 12, содержащих углеродную сажу, от условий формования = Yanagizawa Hirofumi, Kodaira Toshiyuki (Faculty of Engineering, University of Fukui, Bunkyo, Fukui, Japan). // Sen'i gakkaishi=Fiber. – 2004. – № 7. – С. 203-212 // Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ – 2005-12Б23П. – № 2. – С 19.

34. Sun, F. A generalized Model for Predicting Load-Extension Properties of Woven Fabrics / F. Sun, A. M. Seyam, B. S. Gupta // Textile Research Journal. – 1997. – Vol. 67. – N. 12. – P. 866-874.

35. Dobnik-Dubrovski, P. The Connection between Woven Fabric Construction Parameters and Air Permeability / P. Dobnik-Dubrovski, M. Žiberna-Šujica // Fibres & Textiles in Eastern Europe. – 1995. – Vol.3.– No.4. – P. 37-41.

36. Рабочая одежда и средства индивидуальной защиты. Ткани от «Моготекс» // Рабочая одежда и средства индивидуальной защиты. – 2005. – № 3. – С.26

37. Электропроводный текстильный материал = Verfahren zur Herstellung von Stoff mit. Elektrisch leitender Heizdrahteinlage und nach diesem hergesttler Stoff : заявка 10257998 Германия : МПК[7] D 03 d 1/10, A 61 F 7/08 / заявитель -a Lai Sporting Goods Enterprises Co., Ltd, Wu Ming-Lai.. – № 10257998.9. ; заявл. 12.12.02 ; опубл. 01.07.04 // Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2005-12Б60П. – № 6. – С. 24.

Витебский государственный технологический университет

38. Ткань, содержащая металлические нити = Tissu incorporant des fils metalliques : заявка 2830539 Франция : МПК[7] D 03 D 15/00, D 03 D 15/02 / заявитель - Tissage et Enduction Serge Ferrari SA, Saiz Carlos (Cabinet Laurent et Charras). – № 0113019 ; заявл. 10.10.01; опубл. 11.04.03 // Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2004-12Б78П. – № 4. – С. 39.

39. Gupta, K. K. Development of electrical conductive fabrics. Разработка электропроводных тканей. / K. K. Gupta, A. K. Yadav // Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2007. – № 1. – С. 17.

40. Aniotczyk, H. Application of electrically conductive textiles as electromagnetic shields in physiotherapy. Применение электропроводных текстильных материалов в качестве электромагнитных экранов / H. Aniotczyk, J. Koprowska, P. Mamrot, J. Lichawska (Nofer's Institute of Occupational Medicine) // Fibres & Textiles in Eastern Europe. – 2004. – № 4, P. 47-50.

41. Ткань из пряжи и электролитически обработанной медной проволоки = Fabric made of yam or the like woven with electrolytically treated copper wires and its manufacturing process : заявка 1550750 ЕПВ : МПК[7] D 03 D 15/00 / заявитель Cecchini Giovanni (Savi, Aiberto c/o CON LOR SPA, Via A ma tore Sciesa, 9 37122 Verona (IT)). – № 04030871.0 ; заявл. 28.12.04 опубл. 06.07.05 // Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2006. – № 9. – С. 7.

42. Электропроводный текстильный материал = Verfahren zur Herstellung von Stoff mit. Elektrisch leitender Heizdrahteinlage und nach diesem hergesttler Stoff : заявка 10257998 Германия : МПК[7] D 03 d 1/10, A 61 F 7/08 / заявитель -a Lai Sporting Goods Enterprises Co., Ltd, Wu Ming-Lai. – №10257998.9 ; заявл. 12.12.02 ; опубл. 01.07.04, Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2005-12Б80П . – № 3. – С. 9.

43. Упругая нить с варьируемым электрическим сопротивлением = Tissu et fit Guipe elasticities presentant une resistance electrique variable en fonction de leur allongement. : заявка 2869047 Франция : МПК[7] D 02 G 3/12, D 02 G 3/38 / заявитель Payen SA, Dieppois Didier (Cabinet Laurent et Charras). – № 0404153 ; заявл. 20.04.04 ; опубл. 21.10.05, Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2006. – № 5. – С. 4.

44. Farshid, P. Spinning Conditions and Characteristics of Open-End Rotor Spun Hybrid Yarns / P. Farshid, F.Satoshi, S. Akio, S. Hideki // Textile Research Journal. – 2002. – № 72(1). – P. 61-70.

45. Cheng, K. B. Electromagnetic shielding effectiveness of stainless steel/polyester woven fabrics / K. B. Cheng, S. Ramakrishna, T. H. Ueng // Textile Research Journal. – 2001.– №71(1). – P. 42-49.

46. Cheng, K. B. Electrostatic discharge properties of stainless steel/polyester woven fabrics / K. B. Cheng, T. H. Ueng, G. Dixon // Textile Research Journal. – 2001. – № 71(8). – P. 732-738.

Витебский государственный технологический университет

47. Chang, P. M. Technical handbook for electrostatic discharge protection / P. M. Chang, W. D. Lin // Publishing House of Electronics Industry, Beijing, China. – 2000. – May. – P. 2-3.

48. Ching-Iuan, S. Effect of Stainless-containing Fabrics on Electromagnetic Shielding Effectiveness / Ching-Iuan Su, Jin-Tsair Chern // Textile Research Journal. – 2004. – № 74(1). – P. 51-54.

49. Защита от электромагнитного излучения : [Электронный ресурс]. – 2009 - Режим доступа : http:// www. Kufner.com. Дата доступа: 10.01.2009.

50. Экранирующая ткань : [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа : http:// www.metakron.ru. Дата доступа: 15.03.2008.

51. Разработать и исследовать технологический процесс получения электропроводных нитей и тканей специального назначения : отчет о НИР (заключ.) / УО «ВГТУ» ; науч. рук. А. Г. Коган. – Витебск, 2007. – 156 с. – № ГР 20062386.

52. Нить с переменным электрическим сопротивлением = Temperature dependent electrically resistive yarn : пат. 6680117 США : МПК^7 D 01 F 8/00 / заявитель и патентообладатель Milliken & Co., DeAngelis Alfred R., Wolynes Earle. – № 10/431125 ; заявл. 07.05.03 ; опубл. 20.01.04, Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2004-12Б32П. – № 5. – С. 44.

53. Гибридная нить = Hybridmonofilament : заявка 10228603 Германия : МПК^7 D 02 G 3/36, D 02 G 3/04 / Bloch ; заявитель- Klaus (Müller-Gerbes, M., Dipl.-lng., Pat.-Anw., 53225 Bonn). – № 10228603.5 ; заявл. 26.06.02 ; опубл. 29.01.04, Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 2004-12Б25П. – № 2. – С. 4.

54. Корабельников, Р. В. Деформационная модель комбинированной нити / Р. В. Корабельников, И. Л. Верняева // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002. – № 4. – С. 160-162.

55. Верняева, И. Л. Исследование свойств комбинированных нитей специального назначения / И. Л. Верняева, И. А. Коржева // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002. – № 6. – С. 9-11.

56. Кудрявин, Л. А. Проблемы создания отражающей поверхности трансформируемых наземных и космических антенн / Л. А. Кудрявин, В. А. Заваруев // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004. – № 4. – С. 19-22.

57. Комбинированный нетканый материал и способ его получения = Composite nonwoven fabric and method for making same : пат. 6502289 Польша : МПК^7 D 04 H _ 1/42, D 04 H 1/46 / заявитель и патентообладатель Global Material Technologies, Inc., Kane Terrence P. – № 09/366895 ; заявл. 07.08.99 ; опубл. 04.01.2003 ; НПК 28/107, Легкая промышленность : РЖ / ВИНИТИ. – 12Б97П. – 2003. – № 1. – С. 22.

Витебский государственный технологический университет

58. Освоить и внедрить технологический процесс производства электропроводных нитей и тканей специального назначения : отчет о НИР (промеж.) / УО «ВГТУ» ; науч. рук. А. Г. Коган. – Витебск, 2008. – 34 с. – № ГР 200799.

59. Борисова, Щ. А. Разработка конструкции электронагревательных устройств / Щ. А. Борисова, О. М. Сладков, А. А. Артеменко // Химические волокна. – 2007. – № 1. – С. 36-38.

60. Российские ученые создали перчатки, нагревающиеся электричеством : [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа : http://www.probuem.ru/style/5832. Дата доступа: 15.03.2007.

61. Мотуляк, О. Б. Дослідження фізико-механічних властивостей еластичних матеріалів / О. Б. Мотуляк, М. П. Березненко // Вісник КНУТД – 2003. – № 2. – С. 15-20.

62. Марков, Б. А. Переработка химических волокон и нитей : справочник / Б. А. Марков, Н. Ф. Сурнина. – Москва : Легпромиздат, 1989. – 744 с.

63. Кукин, Г. Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити) / Г. Н. Кукин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Легпромиздат, 1989. – 352 с.

64. Справочник металлиста. В 5 т. Т. 3. Кн 2. / редкол.: В. Владиславлев, [и др.]. – Москва, 1961. – 160 с.

65. Коццов, А. А. Кольцекрутильные и прядильно-крутильные машины хлопчатобумажного производства : учеб. пособие / А. А. Коццов, С. А. Прицкер. – Москва : Легкая индустрия, 1977. – 328 с.

66. Кориковский, П. К. Прядильно-крутильные машины / П. К. Кориковский, М. М. Моисеенко, О. Г. Острогожский. – Москва : Легкая индустрия, 1969. – 327 с.

67. Щербаков, В. П. Прикладная механика нити / В. П. Щербаков. – Москва : 2001. – 212 с.

68. Treloar, L.R.G. String at a stretching and deformation / L.R.G. Treloar // Journal of the Textile Institute.– 1956. – № 8.– P. 348.

69. Шляхтенко, П. Г. Математическая модель профиля нити / П. Г. Шляхтенко, Г. П. Мещерякова // Текстильная промышленность. – 1997 .– № 1. – С. 16-20.

70. Мигушов, И. И. Механика текстильной нити и ткани : монография / И. И. Мигушов. – Москва : Легкая индустрия, 1980. – 160 с.

71. Якубовский, Ю. В. Основы механики нити / Ю. В. Якубовский [и др.]. – Москва : Легкая индустрия, 1973. – 271 с.

72. Борзунов, И. Г. Прядение хлопка и химических волокон (изготовление ровницы, суровой и меланжевой пряжи, крученых нитей и ниточных изделий) / И. Г. Борзунов [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Легпромбытиздат, 1986. – 392 с.

73. Баранова, А. А. Разработка и исследование технологического

Витебский государственный технологический университет

процесса получения комбинированных нитей большой линейной плотности : автореферат диссертации кандидата технических наук. Спец. 05.19.02 «Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья, технические науки» / А. А. Баранова ; Витебский государственный технологический университет. – Витебск, 1995. – 24 с.

74. Бадяло, Н. Н. Технологический процесс получения комбинированных швейных ниток с использованием волокон малой линейной плотности : автореферат диссертации кандидата технических наук. Спец. 05.19.02 «Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья, технические науки» / Н. Н. Бадяло ; Витебский государственный технологический университет. – Витебск, 2007. – 22 с.

75. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов : учеб. пособие / В. И. Феодосьев. – 9-изд. – Москва, 1986. – 512 с.

76. Анурьев, В. И. Справочник конструктора машиностроителя. В 5 т. Т. 1 / В. И. Анурьев. – 5-е изд. – Москва : Машиностроение 1979.

77. Нити полиэфирные комплексные : ТУ BY 400031289.194 – 2006. – Введ. 06 – 06 – 04. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2006. – 9 с.

78. Нить полиэфирная комплексная в бобинах : ТУ РБ 00204079.021 – 95. – Введ. 95 – 07 – 04. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1995. – 11 с.

79. ГОСТ 24662 – 94. Нить полиэфирная техническая. – Введ. 1994 – 05 – 14. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1994. – 6 с.

80. ГОСТ 15897 – 97. Нить полиамидная для технических тканей. – Введ. 1997 – 11 – 18. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1997. – 8 с.

81. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности». Ч. 1. / ВГТУ ; сост. С. М. Литовский. – Витебск, 1996. – 35 с.

82. Тихомиров, В. Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности) / В. Б. Тихомиров. – Москва : Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

83. Методические указания по использованию прибора ИПП-20 / ВГТУ ; сост. А. Л. Совельев. – Витебск, 1994.– 22 с.

84. ГОСТ 19806 – 74. Метод определения удельного электрического сопротивления химических нитей. Введ. 1974 – 05 –16. –

Витебский государственный технологический университет

Москва : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1974. – 21 с.

85. Кузнецов, А. А. Оценка и прогнозирование механических свойств текстильных нитей : монография / А. А. Кузнецов, В. И. Ольшанский. – Витебск : ВГТУ, 2004. – 226 с.

86. Нити электропроводные : ТУ BY 300031282.038–2007. – Введ. 07 – 09 –01. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2007. – 22 с.

87. Кукин, Г. Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити) : учеб. пособие / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобляков. – 2-е изд. – Москва : Легпромбытиздат, 1989. – 352 с.

88. ГОСТ 19616 – 74. Метод определения удельного поверхностного электрического сопротивления текстильных материалов. – Введ. 1974 – 08. –27. – Москва : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1974. – 16 с.

89. Метод определения уровня напряженности электростатического поля текстильных материалов : СанПиН 9-29.7-95. – Введ. 1995 –04 –30. – Москва : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995. – 12 с.

90. ГОСТ 3811 – 72. Материалы текстильные, ткани, нетканые полотна и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейной, поверхностной плотности. – Введ. 1972 – 03 – 23. – Москва : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1972. – 12 с.

91. ГОСТ 3812 – 72. Материалы текстильные, ткани и штучные изделия. Методы определения плотностей нитей и пучков ворса. – Введ. 1972 – 09 –15. – Москва : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1972. – 11 с.

92. ГОСТ 3813 – 72. Материалы текстильные, ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении. – Введ. 1971 – 12 – 23. – Москва : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1972. – 14 с.

93. ГОСТ 12088 – 77. Методы текстильные и изделия из них. Методы определения воздухопроницаемости. Введ. 1974 – 09 – 12. – Москва : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1974. – 16 с.

94. Прибор для измерения электрического сопротивления текстильных полотен ИЭСТП-2 : паспорт ИЭСТП-2 00.000 ПС 1988. – 10 с.

95. Сергеев, В. Когда рак на горе свиснет, насколько вредны и опасны «мобильники» / В. Сергеев // Основы безопасности жизнедеятельности – 2006. – № 6 – С. 42 – 45.

Витебский государственный технологический университет

96. Фролов, В. Не потонуть бы в этих волнах, электромагнитная грязь страшнее радиации / В. Фролов // Основы безопасности жизнедеятельности. – 2006. – № 5. – С. 32 – 35.

97. Богуш, В. А. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты / В.А. Богуш, А. В. Гусинский. – Минск : Белорус. гос. ун-т инф. радиоэл., 2003. – С. 173 – 180.

98. Методические указания к курсовой работе по курсу «Организация и планирование производства» и экономической части дипломного проекта для студентов специальности Т 17.02.00 «Технология тканей, трикотажных и нетканых материалов» / Л. А. Рипецкая. – Витебск : УО «ВГТУ», 2002 – 26 с.

99. Карпей, Т. В. Экономика, организация и планирование промышленного производства : учеб. пособие / Т. В. Карпей. 4-е изд., испр. и доп. – Минск : Дизайн ПРО, 2001. – 328 с.

100. Углеродные волокна : [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/4640.html. Дата доступа: 16.03.2009

101. «Kuralon EC» : [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : http://rcc.ru/Rus/Chemicals/?ID=470021. Дата доступа: 15.03.2009

102. Электропроводящие нити из многослойных углеродных нанотрубок : [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : http://www.nanometer.ru/2008/11/11/carbon_nanotube_54461.html. Дата доступа: 16.03.2009.

103. Электропроводная нить. Пат. 5881547 США, МПК^6 D 01 G 3/36 / Electrically conductive yarn / Chiou Hsin-Hsiung, Chiu Sheng-Fu, Liu Jung-Kuei, Wu Chi-Chag; China Textile Institute; заявитель и патентообладатель. - № 85833; Заявл. 28.5.98; Опубл. 16.3.99; НПК 057/216.// РЖ: Лёгкая промышленность. – 2000-12Б51П

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРОВ

1–А.Замостоцкий, Е. Г. Комбинированные электропроводящие нити / Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган // Межвузовская научно-практическая конференция аспирантов и студентов с международным участием «Теоретические знания – в практические дела» : сб. ст. : в 3 ч. / Омский гос. ин-т сервиса ; редкол.: Л. В. Ларькина [и др.]. – Омск, 2006. – Ч. 1. – С. 78 – 79.

2–А.Костин, П. А. Технология технологического получения комбинированных электропроводящих нитей на машине ПК-100М3 / П. А. Костин, Е. Г. Замостоцкий // Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», 17-18 апреля 2008 г. : сборник

Витебский государственный технологический университет

материалов / ГУВПО «Белорусско-российский университет». – Могилев, 2008. – С. 4 – 5.

3–А.Костин, П. А. Технологический процесс получения комбинированной электропроводящей пряжи на машине ПК-100М3 / П. А. Костин, Е. Г. Замостоцкий // Вестник Витебского государственного технологического университета / УО «ВГТУ» ; гл. ред. В. С. Башметов. – 2008. – Вып. 14. – С. 63 – 67.

4–А.Замостоцкий, Е. Г. Технология получения комбинированных электропроводящих нитей / Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган, Н. В. Скобова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: тезисы докладов международной научно-практической конференции, 17-18 апреля 2008 г. : сборник материалов / ГУВПО «Белорусско-российский университет» . – Могилев, 2008. – С. 45.

5–А.Замостоцкий, Е. Г. Технологический процесс получения комбинированной электропроводной нити / Е. Г. Замостоцкий, Н. И. Белько, А. Г. Коган // Тезисы докладов 39 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ» ; гл. ред С. М. Литовский. – Витебск, 2006. – С. 106.

6–А.Замостоцкий, Е. Г. Технологический процесс получения на крутильном оборудовании комбинированных электропроводящих нитей и анализ их свойств / Е. Г. Замостоцкий, П. А. Костин, А.Г. Коган // Тезисы докладов 40 научно-технической конференции преподавателей и сотрудников университета / УО «ВГТУ» ; гл. ред. С. М. Литовский. – Витебск, 2007. – С. 76.

7–А.Замостоцкий, Е. Г. Технологический процесс получения комбинированных электропроводящих нитей / Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган // Химические волокна. – 2007. – № 5. – С. 24 – 26.

8–А.Замостоцкий, Е. Г. Способ получения комбинированных электропроводящих нитей / Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган // Современные технологии и оборудование текстильной промышленности: тезисы докладов международной научно-практической конференции / МГТУ А.Н. Косыгина ; пред. ред. коллегии К. И. Корбаков. – Москва, 2006 г. – С. 9.

9–А.Замостоцкий, Е. Г. Методика расчета физико-механических параметров комбинированных электропроводящих нитей / Е. Г. Замостоцкий // Вестник Витебского государственного технологического университета / УО «ВГТУ» ; гл. ред. В. С. Башметов. – 2007. – Вып. 13. – С. 60 – 64.

10–А.Комбинированная электропроводящая нить : пат. № 3213 РБ : МПК7 D 02 G 3/28 / Е. Г. Замостоцкий, А. Г Коган ; заявитель и патентообладатель УО «ВГТУ». – № u 20060329 ; заявл. 24.05.06 ; опубл. 30.12.06. Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 6 (53). – С.186.

Витебский государственный технологический университет

11–А.Замостоцкий, Е. Г. Методика расчета геометрических и прочностных параметров комбинированной углеродной нити / Е. Г. Замостоцкий, Н. В. Скобова, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета / УО «ВГТУ» ; гл. ред. В. С. Башметов. – 2008. – Вып. 14. – С. 57 – 62.

12–А.Замостоцкий, Е. Г. Теоретическое определение прочности комбинированных электропроводящих нитей / Е. Г. Замостоцкий // Вестник Витебского государственного технологического университета / УО «ВГТУ» ; гл. ред. В. С. Башметов. – 2008. – Вып. 15. – С. 26 – 31.

13–А.Замостоцкий, Е. Г. Теоретическое исследование интенсивности нагрузки и натяжения при баллонировании комбинированной электропроводящей нити/ Е. Г. Замостоцкий, В. И. Ольшанский, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2008. – Вып. 15. – С. 110 – 116.

14–А.Замостоцкий, Е. Г. Исследование технологического процесса получения комбинированных электропроводящих нитей на крутильном оборудовании / Е. Г. Замостоцкий, Н. В. Скобова // Вестник Витебского государственного технологического университета / УО «ВГТУ» ; гл. ред. В. С. Башметов. – 2007. – Вып. 13. – С. 81 – 85.

15–А.Замостоцкий, Е. Г. Исследование технологического процесса получения комбинированных электропроводящих нитей на тростильно-крутильных машинах / Е. Г. Замостоцкий, Н. В. Скобова, В. Н. Ковалев // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности: международная научно-техническая конференция (ПРОГРЕСС-2007), 29 – 31 мая 2007 г. : сборник материалов : в 2 ч. / ИГТА. – Иваново, 2007. – Ч. 2. – С. 29 – 30.

16–А.Замостоцкий, Е. Г. Исследование технологического процесса получения комбинированных полиамидсодержащих электропроводящих нитей на крутильном оборудовании / Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган // Техника и технология химволокон : сборник докладов 6 международной научно-практической конференции, 21-25 мая 2007 года / Инженерная Академия Украины ; ОАО «Химтекстильмаш» ; отв. редактор В. И. Ступа. – Чернигов, 2007. – С. 124 – 127.

17–А.Скобова, Н. В. Исследование процесса получения комбинированных электропроводящих нитей на пневмомеханической прядильной машине / Н. В. Скобова, Е. Г. Замостоцкий, Д. Э. Маруневский // Материалы докладов 41 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ» ; редкол.: В. В. Пятов [и др.]. – Витебск, 2008. – С. 102 – 103.

Витебский государственный технологический университет

18–А.Шаркова, М. Ф. Исследование температурной зависимости ткани с комбинированными углеродсодержащими нитями / М. Ф. Шаркова, Е. Г. Замостоцкий, Д. В. Смелков, А. Г. Коган // Сборник научных трудов по текстильному материаловедению (посвященный 100-летию со дня рождения Г. Н. Кукина) / МГТУ им. А. Н. Косыгина ; редкол.: Ю. С. Шустов [и др.]. – Москва, 2007. – С. 238 – 244.

19–А.Замостоцкий, Е. Г. Исследование защитных свойств текстильных материалов с комбинированными электропроводящими нитями / Е. Г. Замостоцкий // Научно-технические проблемы развития производства химических волокон в Беларуси (с международным участием): материалы третьей Белорусской научно-практической конференции, Могилев, 13-15 декабря 2006 г. / Концерн «Белнефтехим»; отв. ред. Б. Э. Геллер. – Могилев. – 2007. – С. 256 – 259.

20–А.Скобова, Н. В. Комплексный анализ свойств комбинированных электропроводящих нитей / Н. В. Скобова, Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган // Химические волокна. – 2007. – № 6 – С. 29 – 31.

21–А.Скобова, Н. В. Оценка комплексных показателей качества комбинированных электропроводных нитей / Н. В. Скобова, Е. Г. Замостоцкий // 17 Петербургские чтения по проблемам прочности : сборник материалов, Санкт-Петербург, 10 – 12 апреля 2007 г. / Санкт-Петербургский государственный университет ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН. – Санкт- Петербург, 2007. – Ч. 2. – С. 72.

22–А.Замостоцкий, Е. Г. Определение комплексных показателей качества комбинированных электропроводящих нитей / Е. Г. Замостоцкий, Н. В. Скобова // Актуальные проблемы проектирования и технологии изготовления текстильных материалов специального назначения (Текстиль 2007): всероссийская научно-техническая конференция, 18-19 октября 2007 г. : сборник материалов / Димитровградский ин-т технологии, управления и дизайна Ульяновского гос. техн. ун-та ; редкол.: В. В. Павутницкий [и др.]. – Димитровград, 2007. – С. 101 – 102.

23–А.Замостоцкий, Е. Г. Ткани специального назначения со встроенными электропроводящими нитями / Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация / редкол. В. Б. Альгин [и др.] . – 2006. – № 2. – С. 71 – 75.

24–А.Замостоцкий, Е. Г. Исследование и оптимизация электрофизических свойств тканей с комбинированными электропроводящими нитями / Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета / УО «ВГТУ» ; гл. ред. В. С. Башметов. – 2007. – Вып. 12. – С. 6–9.

Витебский государственный технологический университет

25–А.Ткань специального назначения : пат № 3271 РБ : МПК7 D 02 G 3/28, 3/44 / Е. Г. Замостоцкий, А. Г Коган, Т. П. Иванова ; заявитель и патентообладатель УО «ВГТУ». – № u 20060460 ; заявл.10.07.06 ; опубл. 30.12.06, Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 6(53) – С. 187.

26–А.Коган, А. Г. Ткани с комбинированными электропроводящими нитями / А. Г. Коган, Е. Г. Замостоцкий, Т. П. Иванова // Сборник научных статей по ткачеству / МГТУ им. А. Н. Косыгина ; редкол.: К. И. Кобраков [и др.]. – Москва, 2006. – С. 193-196.

27–А.Замостоцкий, Е. Г. Свойства и применение комбинированных электропроводящих нитей и текстильных материалов / Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган, Т. П. Иванова // Молодежь – производству: сборник статей международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов, 21-22 ноября 2006 г. / УО «ВГТУ» ; редкол.: С. М.Литовский [и др.]. – Витебск, 2006. – С. 20-22.

28–А.Павлович, М. А. Разработка трикотажных экранирующих материалов / М. А. Павлович, Е. Г. Замостоцкий, В. Н. Ковалев // Материалы докладов 41 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ» ; редкол.: В. В. Пятов [и др.]. – Витебск, 2008. – С.133-134.

29–А.Ковалев, В.Н. Разработка трикотажных электропроводных материалов специального назначения / В. Н. Ковалев, О. В. Береснева, М. Ф. Шаркова, Е. Г. Замостоцкий // Актуальные проблемы проектирования и технологии изготовления текстильных материалов специального назначения: dсероссийская научно-техническая конференция (Текстиль 2007), 18-19 октября 2007 г. : сборник материалов / Димитровградский ин-т технологии, управления и дизайна Ульяновского гос. техн. ун-та ; редкол.: В. В. Павутницкий [и др.]. – Димитровград, 2007. – С. 87-88.

30–А. Замостоцкий, Е. Г. Исследования прохождения СВЧ-волны через металлизированную ткань / Е. Г. Замостоцкий, М. Ф. Шаркова, Д. В. Смелков, А. Г. Коган // Текстильная промышленность: спецвыпуск «Научный альманах». – 2007. – № 8. – С. 40 – 42.

31–А.Замостоцкий, Е. Г. Защитные свойства текстильных материалов с комбинированными электропроводными нитями / Е. Г. Замостоцкий // Молодежь и наука в XXI веке : сборник статей молодых ученых / Отдел по делам молодежи Витебского горисполкома ; редкол.: Г. И. Михасев [и др.]. – Витебск, 2006. – Вып. 2. – С. 25-27.

32–А.Экранирующая ткань специального назначения : пат. № 4793 МПК7 D 02 G 3/44 / Е. Г. Замостоцкий, А. Г Коган ; заявитель и патентообладатель УО «ВГТУ». – № u 20080293 ; заявл. 08.04.08. опубл.

Витебский государственный технологический университет

30.10.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 5(64) – С.184.

33–А. Замостоцкий, Е. Г. Теоретическое определение прочности комбинированной электропроводящей пряжи большой линейной плотности для ковровых изделий / П. А. Костин, А. Г. Коган // Химические волокна. – 2010. – №6. – С. 34-38.

Витебский государственный технологический университет

Учебное издание

Замостоцкий Евгений Геннадьевич, Коган Александр Григорьевич

КОМБИНИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ НИТИ

Монография

Редактор А.Г. Коган
Технический редактор Е.Г. Замостоцкий
Корректор Е.М. Богачева
Компьютерная верстка Е.Г. Замостоцкий

Подписано к печати_____ Формат _____ Бумага офсетная №1.
Гарнитура «Таймс». Усл. печ. листов. ____Уч.-изд.листов____.
Тираж ____экз. Заказ №___.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет» 210035, г.Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждение образования «Витебский государственный технологический университет».
Лицензия № 02330/0494384 от 16 марта 2009 г.

Витебский государственный технологический университет