

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

**“Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство.)”**

На правах рукописи

Пивкина Светлана Ивановна

**Разработка технологии трикотажных полотен и изделий из титановых нитей
для эндопротезов**

**Специальность 05.19.02 – Технология и первичная обработка
текстильных материалов и сырья**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор Заваруев Владимир Андреевич**

Москва – 2016 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ В МЕДИЦИНЕ ИМПЛАНТАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	12
1.1 Особенности имплантационных конструкций из синтетических материалов.....	13
1.2 Особенности имплантационных материалов, полученных с применением металлических нитей.....	15
1.3 Особенности структур и механических свойств применяемых имплантационных материалов.....	19
1.4 Особые эргономические и медицинские требования, предъявляемые к разрабатываемым полотнам и изделиям медицинского назначения.....	22
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1.....	25
2 РАЗРАБОТКА ОСНОВОВЯЗАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СВЕРХЛЕГКИХ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ГЕРНИОЛОГИИ, ВЫРАБОТАННЫХ ИЗ ТИТАНОВЫХ НИТЕЙ	27
2.1 Особенности переработки титановых нитей в вязальной технологии.....	27
2.1.1 Исследование свойств комбинированной титановой нити.....	33
2.2 Основовязальный способ выработки сверхлегких сетчатых материалов.....	35
2.3 Исследования влияния режимов вязания полотна на обрывность комбинированной титановой нити.....	40
2.4 Прогнозирование параметров процесса вязания в зависимости от требуемых выходных параметров основовязаного полотна.....	41
2.5 Испытания образцов сверхлегких сетчатых материалов, выработанных на базе основовязанных переплетений.....	51
2.5.1 Методика измерения показателей, характеризующих физико- механические свойства полотен.....	52

2.5.2 Методика определения структурных параметров с применением компьютерно-диагностического комплекса «Диаморф».....	54
2.5.3 Расчет поверхностной плотности.....	70
2.5.4 Расчет пористости материала.....	71
2.5.5 Оценка устойчивости полотна к разрезанию.....	72
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2.....	76
3 РАЗРАБОТКА КУЛИРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭНДОПРОТЕЗОВ ИЗ ТИТАНОВЫХ НИТЕЙ.....	78
3.1 Анализ особенностей кулирных переплетений разрабатываемых для использования в эндопротезировании.....	79
3.1.1 Проектирование процессов выработки кулирных трикотажных полотен, рекомендуемых для использования в эндопротезировании.....	87
3.2 Апробация разработанных процессов петлеобразования и исследование свойств кулирных гладких ячеистых полотен.....	91
3.2.1 Анализ видов форм и размеров ячеек кулирных гладких полотен	106
3.3 Разработка процессов вязания цельновязаных изделий сложной формы, используемых в эндопротезировании.....	109
3.3.1 Формы эндопротезов, используемых при выполнении различных видов операций.....	111
3.3.2 Разработка технологии первого ряда участка зарботки при вязании медицинских цельновязаных изделий.....	113
3.3.3 Разработка выполнения операции закрытия края для изделий медицинского назначения.....	114
3.4 Разработка технологии выполнения контура цельновязаных изделий.....	116
3.4.1 Разработка технологии изменения ширины цельновязаных изделий путем выполнения сбавок петель.....	117
3.4.2 Разработка технологии изменения ширины изделий путем выполнения прибавок петель.....	120
3.4.3 Разработка технологии изменения ширины изделия путем вязания	

неполных петельных рядов.....	124
3.4.4 Разработка программ вязания сетчатых эндопротезов заданной формы и размеров.....	127
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3.....	146
4 РАЗРАБОТКА СТРУКТУР И ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАБОТКИ ПЛЮШЕВОГО ТРИКОТАЖА ДЛЯ ГЕРНИОПЛАСТИКИ.....	150
4.1 Разработка структур и технологии плюшевых переплетений с использованием комплексной титановой нити.....	150
4.2 Особенности выработки структур плюшевых переплетений известными способами из комбинированной титановой нити.....	154
4.2.1 Разработка структуры плюшевого переплетения с усиленным закреплением плюшевой нити в грунте полотна.....	159
4.3. Разработка технологии плюшевых полотен с использованием петельной титановой нити.....	164
4.3.1 Разработка способа выработки петельной титановой нити.....	165
4.3.2 Разработка петельной титановой нити по основовязальной технологии.....	165
4.3.3 Разработка петельной титановой нити сочетанием кулирной и основовязальной технологий.....	169
4.4 Исследование структуры плюшевого трикотажа образованного с использованием петельной титановой нити.....	176
ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 4.....	181
5 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ КУЛИРНОГО ПОЛОТНА ОТ ОСНОВНЫХ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА.....	183
5.1 Исследование влияния параметров процесса на поверхностную плотность материала с использованием бинарной причинно-следственной теории информации.....	183
5.2 Прогнозирование параметров процесса вязания от требуемых	

параметров кулирного полотна.....	190
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5.....	199
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	200
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	202
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	212

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня трикотажные технологии широко применяются не только при изготовлении одежды, но и используются при создании технических материалов для различных отраслей промышленности.

Интенсивное развитие технологий переработки различных видов металлических нитей на вязальном оборудовании позволяет расширить область применения трикотажных изделий в сфере реконструктивно-восстановительной хирургии. Наиболее используемыми в хирургической практике на сегодняшний день являются основовязанные сетчатые эндопротезы из полипропиленовых (ПП) мононитей [3.8].

Однако при использовании синтетических полимеров часто возникает рост послеоперационных осложнений, который связан с реакцией организма на инородное тело – формированием вокруг протеза сером, патологического фиброза, хронических болей, сморщивания протеза, образованием свищей и выраженным спаечным процессам [3.1].

Использование в качестве сырья для сетчатых эндопротезов титановых сплавов высокой степени очистки ВТ-6 позволит значительно повысить биосовместимость материала с живыми тканями и снизить рост послеоперационных осложнений.

В результате, сегодня **актуальной является задача** технологической переработки титановых нитей на трикотажных машинах с целью создания вязаных полотен и изделий для применения их в реконструктивно-восстановительной хирургии в виде сетчатых эндопротезов.

Потребность расширения области применения эндопротезов в хирургии приводит к необходимости решения новых задач: разработки технологии трикотажных сетчатых полотен и изделий на базе титановых нитей, как для использования в качестве эндопротезов, так и для применения в качестве армирующей составляющей композиционных медицинских материалов.

Цель работы – разработка технологии трикотажных полотен и изделий, имеющих сетчатую гладкую или плюшевую поверхность, для использования в герниологии в качестве эндопротезов, выполненных из титановых нитей.

В соответствии с указанной целью были поставлены и решены следующие задачи:

- выполнен ассортиментный анализ используемых материалов для эндопротезирования;
- разработана технология переработки титановых нитей на вязальном оборудовании;
- обоснован выбор структур, и разработаны технологические процессы их выработки, для получения новых перспективных сверхлегких сетчатых титановых трикотажных материалов с заданными свойствами;
- разработаны структуры и технологические процессы их выработки на плосковязальном оборудовании, для получения цельновязаных изделий для заданных форм и размеров, применяемых в качестве эндопротезов;
- разработана технология выработки петельной титановой нити применяемой для создания трикотажных полотен с двухсторонним хаотически расположенным ворсом;
- выполнен анализ разработанных трикотажных материалов на разрыв и эластические свойства;
- на основе численных методов решены прямая и обратная задачи прогнозирования выходных структурных параметров (поверхностная плотность, петельный шаг, высота петельного ряда) по входным технологическим параметрам оборудования, для получения гладких ячеистых основовязаных и кулирных трикотажных полотен с заданными размерами ячей при использовании титановых нитей и установлены причинно-следственные связи.
- выработаны образцы сетчатых полотен и изделий для эндопротезирования;

Методы исследования:

Поставленные задачи, решены экспериментальными и теоретическими методами. Нарботка образцов основовязаных ССМ выполнялась на

основовязальном оборудовании “Кокетт” 18 класса, наработка образцов цельновязанных изделий, а также петельной нити и плюшевых полотен выполнялась на плосковязальном оборудовании «Vesta» 130-Е 7 класса.

Выработка экспериментальных образцов разработанных структур полотен выполнялась на оборудовании кафедры проектирования и художественного оформления текстильных изделий и предприятия ООО «ТРИИНВЕСТ» инжинирингового центра РГУ им. А.Н.Косыгина. Выработанные экспериментальные образцы цельновязанных эндопротезов сложных форм и плюшевых полотен переданы на предприятие ООО НПФ «ТЕМП» г. Екатеринбург, ведутся экспериментальные исследования.

Образцы ССМ, выработанные по основовязальной технологии, переданы в ЦКБ РАН и ФГБУ институт хирургии им. А.В. Вишневского.

Механические свойства используемых нитей, разработанных полотен и изделий с ячеистой структурой определены на электронном диагностическом комплексе “Диаморф”, модернизированной разрывной машине “INSTRON”, и электронного курвиметра.

Результаты испытаний обработаны методами математической статистики с использованием программ MathCAD, MS Excel, ДиаМорф, THEORY, EUREKA.

Научная новизна диссертационных исследований заключается в том, что автором получены следующие результаты:

- впервые сформирована комбинированная титановая нить (титан + химическая нить), обеспечивающая возможность переработки титановой нити на вязальном оборудовании;
- численными методами определены значения параметров титаново-химических (комбинированных титановых) нитей в расчетах сверхлегких сетчатых материалов, изготавливаемых по основовязальной технологии;
- на основании анализа и синтеза структур участков заработка, а также способов контурного вязания, разработан новый вид эластичного нераспускающегося края и предложена технология прибавки петель с использованием структурного «сплит-элемента», что обеспечивает возможность выработки эндопротезов

заданной формы и размеров на плосковязальном автоматизированном оборудовании;

- разработаны новые вязаные структуры петельных комбинированных титановых нитей основовязаным, сочетанием кулирного и основовязаного способов выработки, позволяющие вырабатывать плюшевые полотна с двухсторонним хаотически расположенным ворсом на базе любых трикотажных переплетений;

- установлена аналитическая взаимосвязь между параметрами технологических процессов оборудования при использовании комбинированной титановой нити и параметрами структуры трикотажа из чистой титановой нити по основовязальной и кулирной технологиям;

Практическая значимость полученных результатов диссертационного исследования заключается:

в разработке новых трикотажных структур из титановых нитей для использования в эндопротезировании:

- цельновязаных изделий заданной формы и размеров;

-петельной титановой нити, используемой для создания плюшевых полотен с двухсторонним хаотически расположенным ворсом;

в разработке новых технологий выработки:

- сверхлегких сетчатых материалов из титановых нитей на основовязальном оборудовании;

- цельновязаных изделий заданной формы и размеров из титановых нитей с использованием плосковязального оборудования;

- петельной титановой нити, основовязальным и сочетанием кулирного и основовязального способов выработки;

в исследовании наработанных полотен в ЦКБ РАН, ФГБУ Институте хирургии им. А.В. Вишневского и цельновязаных изделий в ООО НПФ «ТЕМП».

Реализация результатов работы проведена на предприятиях ООО НПФ «ТЕМП», экспериментальные образцы ССМ, выработанные по основовязальной технологии, переданы в ЦКБ РАН и ФГБУ Институт хирургии им. А.В. Вишневского для экспериментальных исследований.

Степень достоверности и апробация результатов работы:

Достоверность полученных результатов обеспечена применением современных методов исследования с использованием сертифицированного оборудования, экспериментальной проверкой основных положений работы, основанной на удовлетворительном совпадении аналитических и численных расчетов с результатами эксперимента. Апробация основных положений работы, производилась в научной периодической печати и конференциях.

Апробация работы:

По результатам исследований опубликовано 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ; представлено 5 докладов на научных конференциях.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав с выводами, общих выводов по диссертационной работе и библиографического списка использованной литературы включающего 88 наименований. Работа изложена на 211 страницах машинописного текста, содержит 61 рисунок, 51 таблица.

Приложение представлено на 14 страницах, включая программу расчета причинно-следственных связей в среде THEORY и EUREKA.

Положения, выносимые на защиту:

- комбинированная титановая нить, состоящая из титановой и химической нити, предназначенная для переработки на вязальном оборудовании;
- разработка основовязальной технологии сверхлегких сетчатых материалов, имеющих гладкую ячеистую структуру, из титановых нитей для эндопротезирования;
- разработка кулирной технологии цельновязаных изделий заданной формы, имеющих ячеистую гладкую или плюшевую структуру, из титановых нитей для эндопротезирования;
- разработка новой вязаной структуры петельной титановой нити используемой для получения трикотажных полотен, с двухсторонним хаотично направленным плюшевым ворсом, применяемых в качестве армирующей составляющей композиционных медицинских материалов, а также обладающих возможностью самофиксации на раневой поверхности;

- использование аналитических связей для определения зависимостей между входными параметрами процессов (комбинированная титановая нить) и выходными параметрами полотен (чистая титановая нить), получаемых на основовязальных и плосковязальных машинах.

1 АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ В МЕДИЦИНЕ ИМПЛАНТАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Трикотаж широко используется не только для практически всех видов изделий одежды, для технических целей, но и в медицине [1.36].

Область применения технического трикотажа постоянно расширяется, благодаря новым возможностям технологии и использования на современном трикотажном оборудовании разнообразных нетрадиционных для трикотажной отрасли видов сырья. На сегодняшний день возможна переработка углеродистых, стеклянных, термопластических, металлических и других видов нитей. Одними из наиболее востребованных в различных областях промышленности, являются технические материалы, изготавливаемые с применением металлических нитей [3.7, 3.10]. Полотна из металлотрикотажа применяются в различных областях производства, например, для отражающих поверхностей космических и наземных антенн [2.17]; различных фильтров тонкой и грубой очистки жидкостей и газов; катализаторов в химической промышленности; защитной одежде от электромагнитного излучения и от высокого напряжения; защитных кабелей от электростатического электричества; гибких электронагревателей, для соединения деталей [3.6] и для многого другого.

Особое место среди всех трикотажных изделий занимают трикотажные изделия медицинского назначения. Преимуществом трикотажных полотен, применяемых в медицине, является возможность получить в полотнах необходимые деформационные свойства, а также создать структуры с определенными заданными свойствами целевого назначения.

Трикотажные изделия применяются в различных областях медицины от перевязочных, фиксирующих, компрессионных материалов, накладываемых на поверхность тела человека, до имплантационных материалов, вживляемых внутрь человеческого тела.

На сегодняшний день трикотажные технологии используются в эндопротезировании для реконструкции элементов сердечнососудистой системы, реконструкции мягких тканей и внутренних органов.

Целью настоящей работы является разработка технологий выработки полотен и изделий, применяемых в качестве имплантатов в герниологии, обладающих антиаллергенными свойствами и высокой степенью обрастания биоматериалом, из титановых нитей.

Для достижения поставленной цели необходимо изучить имплантаты, применяемые в настоящее время, определить требования к материалам для эндопротезирования, рассмотреть особенности технологий применяемых в трикотажной промышленности.

1.1 Особенности имплантационных конструкций из синтетических материалов

На сегодняшний день хирургическая пластика собственными тканями человека почти не применяется из-за достаточно высокого процента рецидивов заболеваний. Подавляющее большинство операций герниопластики выполняется с использованием дополнительных материалов [3.1]. В качестве дополнительных материалов в герниологии используются в основном синтетические материалы из инертных полимеров. Ранее использовались сетки из капрона и нейлона, что позволило уменьшить число рецидивов, но привело к развитию послеоперационных осложнений, которые связывают с реакцией организма человека на инородное тело. Сетку из полиэтилена, впервые применил F.C. Usher в 1958 году [2.3, 2.4]. Им же, через несколько лет, был разработан и имплантирован новый пластический материал на основе химической сетки [2.15, 2.16] (Marlex mesh, фирмы Bard, США).

В 1997 году Amid PK описал проблемы послеоперационных последствий применения протезов из химически инертных полимеров, на основе которых был сделан вывод о том, что важным в приживаемости материала является размер пор [2.7]. Оказалось, что протезы с макропористой структурой обладают высокой способностью к тканевой интеграции, а побочные эффекты макропористой структуры минимальны. Следует отметить, что протезы, отнесенные к макропористому типу, имели трикотажную структуру и состояли из монофиламентных полипропиленовых (ПП) нитей [3.1].

До середины 90-х годов выпускались хирургические сетки из ПП с поверхностной плотностью $> 100 \text{ г/м}^2$. Они относились к категории тяжелых конструкций, имели малый размер пор и вызывали ряд послеоперационных осложнений, часто связанных с формированием рубцовой ткани. Для устранения данных недостатков, необходимо было снизить удельный вес и расширить размер ячеек [2.18].

В конце 90-х годов удалось создать облегченные конструкции сеток с поверхностной плотностью $< 90 \text{ г/м}^2$, что привело к улучшению послеоперационных последствий и стимулировало продолжение исследований по пути облегчения конструкций с увеличением пористости материала. В последующие годы были созданы легкие конструкции с поверхностной плотностью $< 45 \text{ г/м}^2$, но последующие исследования выявили осложнения, которые связаны с несоответствием механических свойств легких сеток и действующих на них нагрузок [2.19].

В последние 10-15 лет для хирургических сеток используются следующие материалы: полипропилен, полиэтилентерифтолат, политетрафторэтилен и поливинилиденфторид, а также из комбинаций абсорбируемого и неабсорбируемого материала, например, с добавлением викрила (Vicril (полиглактин 910)) или монокрила (Monocril (полиглекапрон 25)) [1.1]. Как правило, это крупнопористые конструкции.

Из послеоперационных осложнений при применении данных конструкций в ряде случаев остаются бактериальные инфекции, а также реакция организма на

инородное тело. Для снижения последствий разрабатываются различные покрытия, содержащие в своем составе антибиотики для предотвращения возникновений инфекций. В работе Едоминой Н.А. [3.8], разрабатываются структуры и технологические процессы получения сетчатых основывязанных эндопротезов с противоспаечными свойствами, на базе использования ПП мононитей с возможностью нанесения противоспаечной мембраны на поверхность эндопротеза, что позволило значительно снизить образование спаечных процессов, но полностью не решены другие проблемы, связанные с реакцией организма на инородное тело – формирование вокруг протеза сером, патологического фиброза, хронических болей, сморщивания протеза, образования свищей [2.8].

Таким образом, основным недостатком известных синтетических эндопротезов является недостаточная биосовместимость синтетического материала с тканями человека.

1.2 Особенности имплантационных материалов, полученных с применением металлических нитей

Первым материалом, полученным на основе использования металлов, примененным в хирургии, стало серебро. Впервые применять серебряную нить предложил Глюк в 1888 году [2.1]

Но, данный материал не обладал достаточной эластичностью, а также наблюдалась недостаточная инертность материала по отношению к тканям человека. [1.2]

В последующем для металлических имплантатов использовались тантал и нержавеющая сталь [2.1].

В 1980 году в России в качестве хирургических материалов был разработан сплав из титана и никеля (никилид), который принципиально отличался от металлических гибких протезов предыдущего поколения. [1.2]

Применение металлических эндопротезов, на сегодняшний день, в основном связано с использованием сеток из никелида титана (НТ), которым отдают предпочтение перед всеми синтетическими материалами.

Известно использование титана и его сплавов в качестве покрытия контактной поверхности имплантатов из синтетических полимеров. Это немецкие сетки TiMesh (фирма PFM Medical), и TiO₂Mesh с покрытием в виде оксида титана [2.5].

Принципиально новой можно считать разработку хирургических сеток из металлических титановых нитей высокой степени очистки (сплав ВТ 6.00). До настоящего времени, нити из сплава ВТ в трикотажных имплантатах не применялись. Сплав ВТ имеет уникальную особенность обрастать тканью с формированием полноценного соединительно-тканого рубца. Может применяться в герниологии, травматологии, реконструктивной хирургии.

Преимуществом титановых нитей является прочность, сопротивление коррозии и отсутствие аллергии на данный металл.

Использование титановых нитей малого диаметра на трикотажных машинах позволит получить хирургические сетки, которые можно будет отнести к классу «суперлегких» с поверхностной плотностью $< 30\text{г/м}^2$, при сохранении необходимых прочностных характеристик.

Возможность получения структур трикотажа с размером пор более 1мм^2 , позволит обеспечить дополнительные пути оттока для крови и серозной жидкости, что будет содействовать дренированию операционной раны и придаст материалу протеза мягкость и легкость.

Шероховатость поверхности титановой нити будет способствовать лучшему обрастанию материала тканями организма [6.1].

Известно о разработке ООО НПФ «ТЕМП» титановой сетки под брендом «Титановый шелк». Данная сетка изготавливается ручным способом с

применением ручного плетения титановых нитей трикотажным способом. Имеются патентные документы на полезную модель имплантатов, изготовленных тканым и трикотажным переплетением титановых нитей и применяемых в реконструктивной медицине [4.1,4.2].

Экспериментальные образцы хирургической сетки из титановой нити с тканеподобным переплетением показали хорошую биологическую совместимость титановых поверхностей с живой тканью [6.1].

Медицинские исследования по изучению прочностных характеристик формирующейся соединительной ткани в зоне имплантации синтетических и титаносодержащих эндопротезов в ходе выполнения протезирующей пластики брюшной стенки проводились на базе Института биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук (Москва) [2.12] и Московского государственного университета дизайна и технологий. «Работа проведена с разрешения Этического комитета Центральной клинической больницы РАН, в соответствии с законодательством РФ («Правила гуманного обращения с лабораторными животными», «Деонтология медико-биологического эксперимента») и этическими принципами, установленными Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей (принятой в Страсбурге 18.03.1986 г. и подтвержденной в Страсбурге 15.06.2006 г.). На кроликах моделировали протезирующую пластику брюшной стенки. В 1-й группе имплантированы синтетические сетки из легкого полипропилена (волокно 90 мкм), во 2-й — сверхлегкие титаносодержащие (из легкого полипропилена с титановым покрытием, волокно 65 мкм), в 3-й — эндопротезы из титановых нитей (волокно 65 мкм). Результаты исследования показали, что прочность соединительной ткани во 2-й группе была выше (13,12 Н/см), чем в 1-й (9,2 Н/см). В 3-й группе указанный показатель был максимальным (15,89 Н/см), то есть применение в ходе пластики брюшной стенки титаносодержащих эндопротезов сопровождается формированием более прочной соединительной ткани, чем при использовании синтетических эндопротезов». [2.12]. Как показали исследования, при

применении сеток из титановых нитей наблюдается снижение послеоперационных осложнений. Все перечисленное позволило принять решение о разработке трикотажных полотен из титановых нитей для создания из них имплантатов.

Недостатком технологии ручного плетения имплантатов является длительность и дороговизна изготовления протезов ручным способом, а также недостаточная пластичность тканеподобного материала. Создание технологии машинного вязания имплантатов позволит значительно удешевить процесс их изготовления.

Сегодня фирмой ООО «ТРИИНВЕСТ» совместно с ФГБОУ ВО «МГУДТ» по заданию ООО НПФ «ТЕМП» ведутся исследования по разработке технологии выработки на трикотажном оборудовании, основываясь на способе, сверхлегких сетчатых материалов (ССМ) на основе титановых нитей, обеспечивающих регенерацию тканей, а также по разработке структур трикотажа, позволяющих обеспечить дополнительную плюшевую поверхность имплантата, для обеспечения наилучшей степени его вживляемости в биологические ткани человека, а также возможностью создания самофиксирующихся сеток, не требующих применения шовных операций.

В качестве основного сырья для изготовления эндопротезов, применяемых при хирургических операциях, основной заказчик протезов ООО НПФ «ТЕМП» предложил использовать титановую микропроволоку из сплава ВТ-6 высокой степени очистки с параметрами, представленными в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Параметры титановой нити для эндопротезов

Показатель	Значение показателя
Диаметр проволоки, d, мм	0,06
Линейная плотность, T, Текс	12,99
Разрывная нагрузка, P, кг	0,178
Относительное удлинение, ε, %	12,8
Коэффициент трения по стали, μ	0,3 -0,65

Следует отметить, что использование титановых нитей, имеющих такой высокий коэффициент трения, может приводить к резкому увеличению натяжения титановых нитей при взаимодействии с металлическими рабочими органами вязальной машины, что приведет к неизбежному обрыву нитей, а также быстрому износу игл, нитепроводников и других металлических и резиновых деталей.

Таким образом, применение титановых нитей требует разработки технологии их использования на вязальном оборудовании.

Помимо используемых материалов, большое влияние на тканевую интеграцию и риск развития послеоперационных осложнений оказывают структурные и механические свойства разрабатываемых имплантационных материалов.

Для комплексного подхода к разработке материалов для эндопротезирования проанализируем их структурные требования.

1.3 Особенности структур и механических свойств применяемых имплантационных материалов

A. Coda, R. Lamberti, S. Martorano [2.20] классифицировали самую большую группу трикотажных и тканых эндопротезов по поверхностной плотности, разделив всю анализируемую группу на четыре категории. Данные по поверхностной плотности сетчатых полотен приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Поверхностная плотность полотен, г/м²

Поверхностная плотность, г/м ²	Категория полотна
менее35	сверхлегкие
35÷70	легкие
70÷140	стандартные
более140	тяжелые

По виду поверхности эндопротезы могут быть гладкими или ворсовыми, которые в свою очередь могут различаться на сверхлегкие, легкие, стандартные и тяжелые рисунок 1.1.

Каждый из текстильных эндопротезов может изготавливаться трикотажным способом, на современных основовязальных или плосковязальных машинах, исходя из возможностей трикотажных машин и известных свойств трикотажа. Следует отметить, что сетчатый материал для эндопротезов, получаемый на основовязальных машинах, изготавливается в виде полотна и обладает возможностью моделирования при операции. Аналогично ворсовые полотна для эндопротезов, независимо от способа их изготовления, могут обеспечивать возможность моделирования протезов при операции.

На рисунке 1.1, выделены двойной рамкой эндопротезы и способы их изготовления, которые предполагается разрабатывать в данной работе.

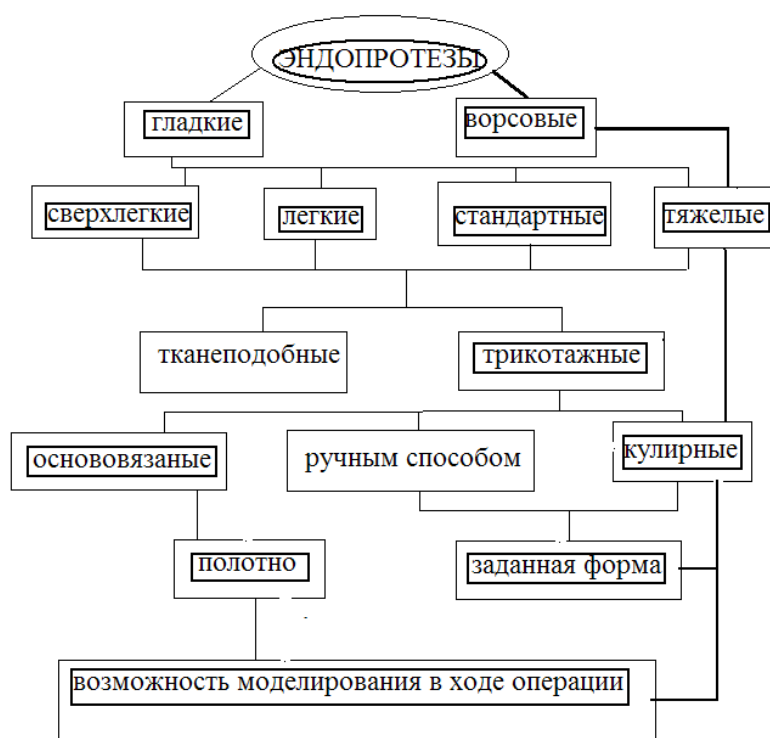


Рисунок 1.1 - Текстильные эндопротезы и способы их изготовления

Степень вживления эндопротеза зависит от степени пористости материала. Так в работе [3.1] доказано, что увеличение размера пор может повысить

биосовместимость поверхности эндопротеза с живой тканью. Но, также существуют ограничения по размеру пор в зависимости от вида операции. Данные исследований медиков по степени вживляемости и росту соединительной ткани представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Рост соединительной ткани в зависимости от размера пор [3.1]

Размер пор, мкм ²	Результаты исследований
<100	Недостаточны для построения новой ткани
<200	Могут препятствовать движению жидкостей
>200-300	Достаточны для восстановления костных дефектов
>500-600	Не препятствует росту соединительной ткани
1000-1200	Стандартный минимум
3000-6000	Оптимальный размер

Помимо размеров пор и поверхностной плотности материала для эндопротезирования особо важными остаются механические свойства материала, такие как прочность и эластичность.

На 30 международном конгрессе европейского общества герниологов, было сделано заключение [3.1], что предел прочности на разрыв в 16 Н/см является достаточным для укрепления брюшной стенки, но для замещения больших дефектов необходима прочность до 32 Н/см. При этом необходимым условием является гибкость и эластичность сетки в продольном и поперечном направлениях. Современные крупнопористые материалы обладают эластичностью 20-35% при нагрузке 16 Н/см. Мелкопористые материалы, как правило, более тяжелые обладают эластичностью всего 4-16 % при той же нагрузке.

Кроме этих требований, для разработки экспериментальных образцов ССМ, установлены особые эргономические требования.

1.4 Особые эргономические и медицинские требования, предъявляемые к разрабатываемым полотнам и изделиям медицинского назначения

Образцы полотен должны иметь следующие эргономические характеристики: образцы гладких ячеистых структур, выработанные по основовязаной технологии, должны легко моделироваться путем подрезания или растяжения; при разрезании ножницами структура полотна не должна меняться; иметь нераспускаемые практически незакручивающиеся края; образцы гладких ячеистых структур, выработанные по кулирной технологии, должны иметь практически незакручивающуюся структуру изделия; края имплантата должны иметь растяжимость близкую к растяжимости полотна и не должны распускаться при наложении на рану и в процессе выполнения операций; образцы плюшевых (ворсовых) ячеистых структур, выработанные по кулирной технологии, должны легко моделироваться путем подрезания или растяжения; при разрезании ножницами структура полотна не должна меняться, иметь практически незакручивающуюся структуру; ворс на полотне трикотажа может располагаться как на одной, так и обеих сторонах полотна трикотажа, иметь достаточно жесткую структуру и хаотическую направленность плюшевых петель, для обеспечения возможности самофиксации имплантата на тканевой поверхности во время операции.

Общие медицинские требования ко всем разрабатываемым образцам:

1. При контакте с хирургическими инструментами имплантат не должен оставлять царапин на их поверхности.
2. Края имплантата не должны оставлять царапин на коже оперируемых;
3. При контакте с хирургическими инструментами имплантат не должен оставлять царапин на их поверхности.

Экспериментальные образцы полотен и цельновязаных изделий используемых в эндопротезировании должны обладать следующими медицинскими свойствами:

1. Быть устойчивыми к основным видам медицинской стерилизации;
2. Не обладать ферро-магнитными свойствами и не препятствовать проведению магнитно-резонансной томографии;
3. Обеспечивать регенерацию органов и тканей человека и оказывать влияние на процессы пролиферации и дифференцировки клеток.

В соответствии с поставленными требованиями разработку трикотажных протезов целесообразно выполнять в следующих направлениях:

1. Разработка основязальной технологии выработки ССМ;
2. Разработка кулирной технологии выработки цельновязанных имплантатов;
3. Разработка технологии выработки полотен с ворсовой поверхностью на трикотажном оборудовании;
4. Исследование свойств разработанных полотен и сравнение их с показателями, установленными требованиями.

Для разработки основязальной и кулирной технологий выработки ССМ полотен и цельновязанных изделий, а также кулирных полотен с ворсовой поверхностью, для получения оптимальных параметров и свойств, соответствующих требованиям, необходимо изучить особенности существующих технологий применяемых на основязальных и плосковязальных машинах и решить следующие задачи:

1. Разработать структуры гладких основязанных и кулирных трикотажных переплетений для использования в герниологии отвечающих заданным эргономическим требованиям.
2. Разработать технологию выработки гладких основязанных и кулирных полотен, отвечающих заданным эргономическим требованиям для основязального и кулирного оборудования.
3. Разработать структуру кулирных плюшевых полотен, отвечающих заданным эргономическим требованиям.
4. Разработать технологию выработки кулирных плюшевых полотен используемых в герниологии для плосковязального оборудования.

5. Определить технологические пути возможных преобразований элементов структуры трикотажа или изменений установочных параметров процесса для получения необходимых размеров ячеек, поверхностной плотности и параметров полотен, вырабатываемых на основовязальных и плосковязальных машинах.
6. Разработать технологию цельновязанных имплантатов на базе разработанных гладких кулирных полотен для плосковязальных машин с электронным управлением.
7. Исследовать параметры и свойства разработанных гладких основовязанных и кулирных, а также плюшевых полотен, рекомендуемых для изготовления эндопротезов, с использованием современных методов измерения: электронного диагностического комплекса “Диаморф”, разрывной машины “INSTRON”, электронного курвиметра и известных ГОСТ для измерения параметров полотен.
8. С помощью использования численных методов получить уравнения для прогнозирования входных параметров в зависимости от требуемых показателей основовязанных, кулирных и ворсовых полотен, а также решить обратную задачу прогнозирования показателей полотен, исходя из известных входных показателей процессов.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. На основе анализа материалов, применяющихся в герниологии, установлено, что используемые в основном для изготовления гибких эндопротезов синтетические материалы: полипропилен, полиэтилентерифтолат, политетрафторэтилен и поливинилиденфторид и другие часто приводят к негативной реакции организма на инородное тело, вызывая послеоперационные осложнения.

2. Установлено, что использование титановых нитей высокой степени очистки (сплав ВТ 6.00) позволяет получить материал для эндопротезирования, обладающий уникальной особенностью обрастать тканью с формированием полноценного соединительного тканого рубца, при достаточно высокой прочности, а также высоким сопротивлением коррозии и отсутствием аллергических реакций на материал, что позволило рекомендовать титановые нити для изготовления трикотажных полотен для эндопротезов.

3. Применяемые в настоящее время готовые протезы, изготовленные из титановых нитей по заданной форме, вырабатываются вручную, что удорожает их стоимость, а протезы имеют практически нерастяжимую тканеподобную структуру, что является их недостатками.

4. Установлено, что высокий коэффициент трения титановой нити по стали, равный 0,7 может приводить к обрыву нити и к быстрому износу игольно-платинных и нитепроводящих деталей.

5. По результатам анализа работ медицинского направления, выявлены основные требования, предъявляемые к разрабатываемым трикотажным сетчатым полотнам, которые могут использоваться в герниопластике и других областях медицины.

6. На основе технических требований, предъявляемых медиками к технологическим и эргономическим параметрам разрабатываемых образцов, определены особые требования к их медицинским свойствам.

7. Для разработки технологии выработки сверхлегких сетчатых материалов, цельновязаных изделий и плюшевых полотен на вязальных машинах из титановых нитей с заданными свойствами, предложено использовать как основовязаный, так и кулирный способы выработки для чего предложено решить ряд технологических задач.

2 РАЗРАБОТКА ОСНОВОВЯЗАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СВЕРХЛЕГКИХ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ГЕРНИОЛОГИИ, ВЫРАБОТАННЫХ ИЗ ТИТАНОВЫХ НИТЕЙ

В рамках проводимого исследования разработки отечественных технологий по созданию сверхлегких сетчатых материалов (ССМ), необходимо проанализировать возможность их выработки с использованием основовязальной технологии и установить особенности переработки на вязальном оборудовании титановой нити.

2.1 Особенности переработки титановой нити в вязальной технологии

Сегодня на современном вязальном оборудовании перерабатывается широкий диапазон разнообразного по составу сырья, изучены технологии применения натуральных, синтетических, угольных, металлических нитей [3.6, 1.44], стекловолокон. Переработка титановых нитей на трикотажных машинах выполняется впервые.

Известно, что титановая нить имеет шероховатость поверхности и высокий коэффициент трения о сталь, порядка 0,65, что осложняет ее переработку на вязальном оборудовании. При трении титановой нити о иглы и нитепроводящие металлические глазки может происходить износ игл, нитепроводителей и других изготавливаемых из стали деталей контактирующих с титановой нитью. Кроме того, известно, что высокий коэффициент трения приводит к увеличению натяжения нитей на всех стадиях переработки, что приводит к обрыву нити и делает затруднительным ее использование в качестве сырья для вязальной машины [3.4]. Для обеспечения процесса вязания титановой нити, необходимо увеличить ее

скольжение по рабочим органам машины: иглам, ушковинам, нитеводителям, путем снижения ее коэффициента трения. Для решения поставленной задачи была использована комбинированная титановая нить, содержащая в своей структуре титановую основу покрытую оболочкой из текстильной нити с меньшим коэффициентом трения, с последующим удалением оболочки в готовом полотне. Текстильная нить при этом играет роль смазочного материала, снижающего коэффициент трения и увеличивающего скольжение нити в ходе процесса вязания, обеспечивая стабильность процесса петлеобразования.

Коэффициенты трения ряда перерабатываемых на вязальном оборудовании текстильных и металлических нитей составляют [2.9, 1.12]: Капроновая нить - 0,1; полиэфирная нить - 0,16; шелковая нить - 0,23; хлопковые волокна - 0,28; шерстяные волокна - 0,26; нитроновое волокно - 0,36; сталь - 0,3; титановая нить 0,3 - 0,65.

Так как одной из задач использования дополнительных нитей с низким коэффициентом трения является их последующее удаление, то наиболее подходящими нитями, в качестве оболочки титановой нити, являются например, водорастворимые химические многофиламентные нити, с коэффициентом трения 0,23. Для использования в качестве оболочки титановой нити была использована водорастворимая химическая комплексная нить из 25 филаментов, линейной плотности 11 Текс, позволяющая снизить коэффициент трения титановой нити в 2,8 раза. Линейная плотность комбинированной титановой нити (титан + две химические нити) составила 35 текс.

Подобная переработка комбинированной титановой нити позволяет использовать эту нить на двух типах вязального оборудования: основовязального и плосковязального [1.33].

Для определения возможности переработки комбинированной титановой нити, линейной плотности 35 текс, на основовязальном оборудовании с разными классами вязальной машины, необходимо рассмотреть возможность свободного прохода нити в ниточных промежутках при выполнении двух операций петлеобразования [1.17] основовязального процесса: кулирования и

прокладывания, при которых в ниточный промежуток X_n , рисунок 2.1а,б, может попасть с учетом узла на нити $2,5$ условных диаметра нити $d_{ук}$, но при выполнении операции кулирования $2,5 d_{ук}$ находятся в ниточном промежутке относительно платины и головки крючка иглы рисунок 2.1а, а при выполнении операции прокладывания $2,5 d_{ук}$ находятся в промежутке между платинами и стержнем иглы рисунок 2.1б, а как известно стержень иглы всегда имеет большую толщину по сравнению с толщиной головки иглы, поэтому расчет максимально возможного значения условного диаметра используемой нити, в зависимости от класса основовязальной машины, необходимо выполнять по процессу прокладывания.

Выполним расчет максимального условного диаметра нити проходящей в ниточный промежуток при операциях кулирования и прокладывания нити в процессе ПО .

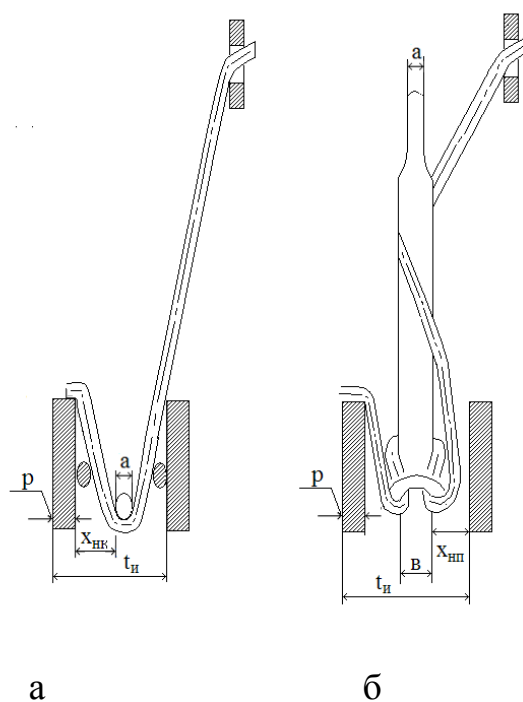


Рисунок 2.1 – Операции кулирования и прокладывания нити при основовязаном способе ПО

Исходя из рисунка 2.1а, при кулировании, ниточный промежуток будет равен:

$$X_{\text{нк}} = \frac{t_{\text{и}} - (p + a)}{2}, \quad (2.1)$$

где $t_{\text{и}}$ – игольный шаг;

p – толщина платины;

a – толщина головки иглы.

Исходя из рисунка 2.1б, при прокладывании ниточный промежуток будет равен:

$$X_{\text{нп}} = \frac{t_{\text{и}} - (p + b)}{2}, \quad (2.2)$$

где b – толщина стержня иглы.

Условный диаметр комбинированной нити, будет равен [1.15,1.14]:

$$d_{\text{ук}} = 0,0357 \sqrt{T\gamma^{-1}} \quad (2.3)$$

Следует учитывать, что в комбинированной титановой нити содержатся одна титановая нить и две химические нити разных линейных плотностей $T_{\text{т}}=13$ Текс, $T_{\text{п}}=11$ Текс. Суммарная линейная плотность комбинированной титановой нити составит:

$$T_{\text{к}} = T_{\text{т}} + 2T_{\text{п}} = 13 + 2 \times 11 = 35 \text{ Текс}$$

Для определения плотности вещества комбинированной нити $\gamma_{\text{к}}$ рассчитаем доли каждой из нитей в используемой комбинации, при $X_{\text{к}}=1$ учитывая линейную плотность каждой из нитей.

$$X_{\text{к}} = X_{\text{п}} + X_{\text{т}} = 1$$

где $X_{\text{т}}$ – доля титановой нити;

$X_{\text{п}}$ – доля химической нити.

В свою очередь

$$X_{\text{т}} = \frac{T_{\text{т}} \times X_{\text{к}}}{T_{\text{к}}}; \quad X_{\text{п}} = \frac{T_{\text{п}} \times X_{\text{к}}}{T_{\text{к}}}$$

тогда, $X_{\text{т}}=0,37$, $X_{\text{п}}=0,63$

Плотность вещества комбинированной титановой нити составит:

$$\gamma_B = 0,63 \times \gamma_{\Pi} + 0,37 \times \gamma_T = 0,63 \times 1,9 + 0,37 \times 4,6 = 2,89 \text{ Г/см}^3;$$

где γ_T – плотность титановой нити $4,6 \text{ г/см}^3$

γ_{Π} – плотность химической нити $1,9 \text{ г/см}^3$

Таким образом, условный диаметр комбинированной нити из формулы 2.3 будет равен:

$$d_{\text{ук}} = 0,0357 \sqrt{35 \times 2,89^{-1}} = 0,12 \text{ мм}$$

Ниточный промежуток $X_{\text{нк}}$ при кулировании, например, для используемой основовязальной машины 18 класса, при известных параметрах игольно-платинных изделий рассчитанный по формуле 2.1, будет равен

$$X_{\text{нк}} = \frac{1,41 - 0,1 - 0,3}{2} = 0,51 \text{ мм}$$

Как видим, исходя из значения условного диаметра $d_{\text{ук}}=0,12$ мм перерабатываемой нити, ниточный промежуток $X_{\text{нк}} > 2,5d_{\text{ук}}$, так как $0,51 > 2,5 \times 0,12 = 0,3$, что подтверждает возможность переработки комбинированной титановой нити 35 Текса на машине 18 класса.

В свою очередь расчетный максимальный диаметр $d_{\text{ук}}$, который возможно перерабатывать на машине 18 класса, рассчитывается по формуле 2.4 и равен 0,20 мм

$$d_{\text{ук}} < \frac{X_{\text{нк}}}{2,5} \quad (2.4)$$

Теперь рассчитаем значения максимальных диаметров нити $d_{\text{ун}}$, для операции кулирования, для других классов основовязального оборудования, используя формулы 2.1 и 2.4. Полученные значения сведем в таблицу 2.1

Ниточный промежуток $X_{\text{нт}}$ при прокладывании, например, для используемой основовязальной машины 18 класса, рассчитанный по формуле 2.2, будет равен

$$a = \frac{1,41 - 0,15 - 0,65}{2} = 0,31 \text{ мм}$$

Таблица 2.1 – Значения максимальных диаметров нити $d_{ун}$ с учетом ниточного промежутка при выполнении операции кулирования

Класс машины, К	Игольный шаг, t_n	Толщина платины, р, мм	Толщина головки иглы, а, мм	Ниточный промежуток, X_n , мм	Условный диаметр нити, $d_{ун}$, мм, меньше или равен
12	2,11	0,3	0,5	0,66	0,26
14	1,81	0,3	0,4	0,56	0,22
16	1,59	0,2	0,3	0,55	0,22
18	1,41	0,15	0,3	0,51	0,20
22	1,15	0,1	0,2	0,43	0,17
24	1,06	0,1	0,15	0,41	0,16

Как видим, исходя из значения условного диаметра $d_{ук}=0,12$ мм перерабатываемой нити, ниточный промежуток $X_{nn} > 2,5d_{ук}$, так как $0,31 \geq 2,5 \times 0,12 = 0,3$, что подтверждает возможность переработки комбинированной титановой нити 35 Текса на машине 18 класса.

В свою очередь расчетный максимальный диаметр $d_{ук}$, который возможно перерабатывать на машине 18 класса, будет равен 0,12мм

Теперь рассчитаем значения максимальных диаметров нити $d_{ун}$, по процессу прокладывания, для других классов основязального оборудования, используя формулы 2.2 и 2.4. Полученные значения сведем в таблицу 2.2

Таблица 2.2 – Значения максимальных диаметров нити $d_{ун}$ с учетом ниточного промежутка при выполнении операции прокладывания

Класс машины, К	Игольный шаг, t_n	Толщина платины, р, мм	Толщина головки иглы, а, мм	Ниточный промежуток, X_n , мм	Условный диаметр нити, $d_{ун}$, мм, меньше или равен
12	2,11	0,3	0,8	0,51	0,20
14	1,81	0,3	0,7	0,41	0,16
16	1,59	0,2	0,7	0,37	0,15
18	1,41	0,15	0,65	0,31	0,12

22	1,15	0,1	0,6	0,23	0,09
24	1,06	0,1	0,5	0,23	0,09

Таким образом, исходя из таблиц 2.1 и 2.2, можно видеть, что анализируя возможность прохождения нити по ниточному промежутку при выполнении операции кулирования, используемый диаметр перерабатываемой комбинированной титановой нити $d_{ук}$ равный 0,12 мм может быть использован на любом из представленных в таблице классов основязального оборудования, а анализируя возможность прохождения нити в ниточный промежуток в процессе прокладывания нити на иглы, можно видеть, что 18 класс является предельным. При использовании оборудования более высокого класса при операции прокладывания возможен обрыв нити из-за непрохождения нити в ниточный промежуток.

На основе анализа таблиц 2.1 и 2.2 видим, что для основязального оборудования определяющей операцией для оценки диаметра перерабатываемой нити является не операция кулирования, а операция прокладывания нити.

2.1.1 Исследование свойств комбинированной титановой нити

Исследование прочностных характеристик титановой нити в оболочке и без нее проводились на модернизированной испытательной разрывной машине INSTRON 1122 [6.3], в состав которой включен цифровой осциллограф, позволяющий производить запись характеристик исследуемых электрических сигналов на цифровые носители [1.27].

Испытания проводились при чувствительности 5 В/кг, скорость движения зажима 200 мм/мин, зажимная длина 500мм.

В ходе испытаний определены следующие показатели: разрывная нагрузка на нить $F_{разр}$, В (вольт); разрывное удлинение $\Delta L,с$ (секунды); записаны

диаграммы «нагрузка-удлинение», представленные в приложении П на рисунке 1.

Результаты проводимых испытаний с расчетными усредненными показателями разрывной нагрузки $F_{\text{разр}}$, кг, разрывного удлинения ΔL , мм и процента деформации ε ,% сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Характеристики испытаний «нагрузка-удлинение» титановой и комбинированной титановой нитей

Вид нити	Разрывная нагрузка, $F_{\text{разр}}$, В	Разрывная нагрузка, $F_{\text{разр}}$, кг	Разрыв. удлинение ΔL , с	Разрыв. удлинение, ΔL , мм	Относительное удлинение, ε , %
Титановая нить	0,89±0,008	0,1787±0,0007	12,3±2,6	41,0±8,7	8,2±1,7
Комбинированная титановая нить	4,39±0,4	0,88±0,035	19,4±0,5	64,6±1,7	12,9±0,4

Результаты испытаний титановой и комбинированной титановой нитей показали, что с применением оболочки из синтетических нитей, значение разрывной нагрузки на нить увеличилось в 5,6 раза, при этом растяжимость нити уменьшилась в 1,3 раза, что повлияло в свою очередь на снижение деформации нити. Комбинированная титановая нить легко перерабатывается на любом виде вязального оборудования и может использоваться при различных технологиях выработки сверхлегких сетчатых материалов (ССМ).

2.2 Осново-вязальный способ выработки сверхлегких сетчатых материалов

Различают кулирную и осново-вязальную технологии выработки трикотажных полотен [1.25, 1.21]. Осново-вязальная технология отличается продольным способом образования структуры из системы нитей $H_1, H_2 \dots H_n$, рис.2.2. Параметры структуры трикотажа характеризуются петельным шагом A и высотой петельного ряда B .

Разработка сверхлегких сетчатых материалов ССМ, предполагает использование гладких максимально облегченных переплетений.

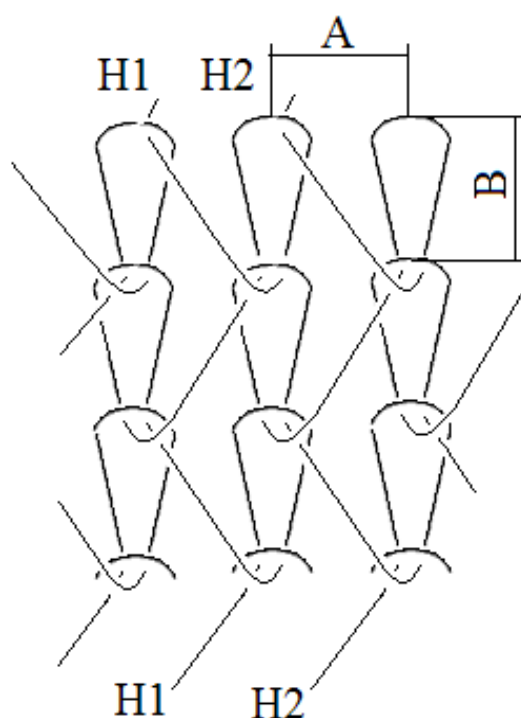


Рисунок 2.2 – Структура осново-вязаного трикотажа

Полотна на базе осново-вязаного трикотажа, можно получить, как используя только главные или только производные осново-вязанные переплетения, так и комбинируя последовательно в одном раппорте главные и производные переплетения, применяя при этом полную и неполную проборки гребенок.

К главным одинарным основовязаным переплетениям относятся: цепочка, трико, атлас; к производным: сукно, шарме, производный атлас[1.3].

Наиболее характерной структурой для сетчатой поверхности трикотажа является основовязаный трикотаж филейных переплетений, который образуется при неполной проборке гребенок [2.11,2.14]. При этом можно применять различные комбинации переплетений в раппорте и, как правило, симметричные кладки, по крайней мере, двух систем нитей.

В таблице 2.4 приведены некоторые варианты двухгребеночных филейных переплетений, образующих ячейки на поверхности полотна при неполной проборке гребенок. Гребенки заправлены одинаково имеют встречное направление кладок.

Таблица 2.4 – Варианты филейных двухгребеночных переплетений, образующие ячейки на поверхности полотна

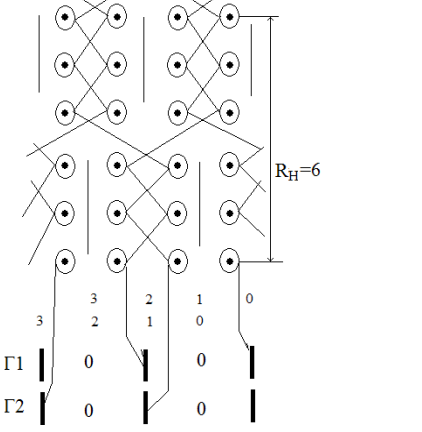
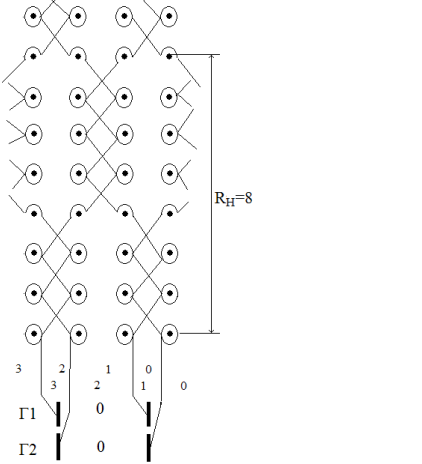
№вар.	Двухгребеночные филейные переплетения
1	Сукно+сукно
2	Сукно+сукно со сдвигом
3	атлас+атлас
4	трико с атласным переходом
5	трико с суконным переходом
6	цепочка с суконным переходом
7	цепочка с триковым переходом
8	цепочка с атласным переходом

Известно, что филейные переплетения, образованные на базе цепочки, имеют менее устойчивые структуры. Поэтому для дальнейших исследований примем филейные переплетения – варианты 1-5, представленные в таблице 2.4, с устойчивой формой ячейки. Переплетения в комбинации с цепочкой - варианты 6-8, имеющие менее устойчивую форму ячейки, в работе рассматриваться не будут.

Графические и цифровые записи выбранных для исследования переплетений представлены в таблице 2.5

Таблица 2.5 Графические и цифровые записи филейных переплетений, принятых к дальнейшим исследованиям

№ вар	Наименование структуры	Графическая запись	Цифровая запись
1	2	3	4
1	Сукно+сукно филейное		$\underline{\Gamma 1}$ $\underline{\Gamma 2}$ 2-3 1-0 <u>1-0</u> <u>2-3</u>
1	2	3	<u>4</u>
2	Сукно+сукно со сдвигом		$\underline{\Gamma 1}$ $\underline{\Gamma 2}$ 2-3 1-0 <u>1-0</u> <u>2-3</u>
3	Атлас-атлас		$\underline{\Gamma 1}$ $\underline{\Gamma 2}$ 1-0 2-3 1-2 2-1 2-3 1-0 <u>2-1</u> <u>1-2</u>

4	Трико суконным переходом		<u>Г1</u> 2-3 2-1 2-3 1-0 1-2 <u>1-0</u>	<u>Г2</u> 1-0 1-2 1-0 2-3 2-1 <u>2-3</u>
5	Трико - атласным переходом		<u>Г1</u> 2-3 2-1 2-3 2-1 1-0 1-2 1-0 <u>1-2</u>	<u>Г2</u> 1-0 1-2 1-0 1-2 2-3 2-1 2-3 <u>2-1</u>

В таблице 2.5 вариант 1 и 2 для разработки выбрано двухгребеночное филейное переплетение сукно-сукно, отличающееся проборкой гребенок. В обоих вариантах используется встречная кладка гребенок и неполная их проборка. Как можно видеть по цифровой записи процесса, совпадает даже набор плашек, используемых для выработки данного переплетения. Но в варианте 2, переплетения сукно-сукно гребенки пробраны со смещением нитей относительно друг друга, в результате чего структуры получаемых полотен совсем разные. Вариант 1 переплетение классическое филейное сукно-сукно, в котором ячейки образованы в шахматном порядке в местах поворотных петель. Сукно-сукно по варианту 2 имеет сдвоенный ряд петель и не участвующие в работе иглы, на месте которых располагаются перекрещивающиеся удлиненные протяжки. Ячейки образованы в местах, не работающих игл, и расположены строго вдоль выключенных игл.

Вариант три – классическое филейное двухгребеночное переплетение четырехрядный атлас-атлас с открытой переходной петлей. В данном варианте используются две гребенки с неполной проборкой при встречной кладке. Ячейки ромбовидной формы, располагаются в шахматном порядке. Для увеличения размеров ячеек возможно использование четырехрядного атласа на базе сукна.

Вариант четыре – комбинированное филейное двухгребеночное переплетение трико с суконным переходом. Также используются две гребенки с неполной проборкой и встречной кладкой. Ячейки шестигранной формы расположены в шахматном порядке. Размер ячеек может регулироваться по высоте и по ширине ячейки. Высота ячейки зависит от количества рядов, образованных триковой кладкой нити, чем их больше, тем более вытянуты по высоте ячейки на полотне трикотажа. Ширина ячейки может регулироваться использованием, для перехода между триковыми кладками нитей, переплетения шарме.

Вариант пять – комбинированное филейное двухгребеночное переплетение трико с атласным переходом. Ячейки расположены в шахматном порядке и имеют шестигранную форму, вытянутую по длине. Размер ячеек может регулироваться как по длине, с помощью использования большего числа рядов триковой кладки, так и по ширине с помощью использования атласного перехода на базе производных переплетение сукно, шарме.

Для представленных в таблице 2.5 основовязанных переплетений, используемых для получения ССМ, необходимо отработать режимы вязания, а затем произвести испытания свойств разработанных полотен [1.28].

2.3 Исследования влияния режимов вязания полотна на обрывность комбинированной титановой нити

Образцы ССМ на базе двухгребеночных филейных переплетений с неполной проборкой гребенок были получены на основовязальной машине «Кокетт» 18 класса [1.32].

Материал для вязания был использован в виде комбинированных титановых нитей сплава ВТ-6, линейной плотностью 35 Текс.

Для отработки режимов вязания образцов основовязаного трикотажа скорость вязания варьировалась в диапазоне 150-300 ряд/мин, натяжение нитей основы составляло $T=0,15-0,18$ Н/нить и $T=0,22 - 0,27$ Н/нить.

Для каждого из пяти выбранных основовязанных вариантов переплетений, наладка проводилась отдельно.

Выбор режимов вязания проводился по оценке обрывности комбинированной титановой нити при различных режимах вязания, представленных в таблице 2.6.

В ходе эксперимента по отработке режимов вязания было установлено, что частота обрывов в малой степени зависит от переплетения, а в большей степени от скорости и натяжения нитей.

Таблица 2.6 – Обрывность комбинированной титановой нити при различных режимах вязания в расчете на 1 м² металлотрикотажа

№ вар.	Название филейных двухгребеночных переплетений	Частота обрывности при вязании					
		Натяжение					
		T=0,15-0,18 Н/нить			T=0,22-0,27 Н/нить		
		Скорость 150ряд/мин.	Скорость 200ряд/мин.	Скорость 300ряд/мин.	Скорость 150ряд/мин.	Скорость 200ряд/мин.	Скорость 250ряд/мин.
1	Сукно-сукно	3	4	7	1	5	7
2	Сукно-сукно со сдвигом	2	3	7	1	3	5

3	Атлас-атлас	1	5	14	1	9	14
4	Трико с суконным переходом	3	8	12	2	11	12
5	Трико с атласным переходом	2	7	15	2	10	13

Например, выявлено, что при увеличении скорости в 2 раза количество обрывов возрастало в среднем в 2 раза при натяжении нити $T=0,15-0,18$ Н/нить и в 5 раз, при натяжении нити $T=0,22 - 0,27$ Н/нить. Установлено, что наименьшее число обрывов происходило при минимальной скорости вязания с натяжением нити $T=0,22$ Н/нить.

2.4 Прогнозирование параметров процесса вязания в зависимости от требуемых выходных параметров основовязаного полотна

Прогнозирование параметров процесса вязания от требуемых выходных параметров полотна медицинского назначения выполним с использованием ризоматического метода [1.30].

Ризоматический метод исследования [2.2], дает возможность составить систему матричных уравнений, позволяющую не только установить степень влияния факторов друг на друга, но и прогнозировать результаты выходных параметров при изменении входящих.

Ризоматический метод исследования используется как для установления степени взаимного влияния регулируемых входных и получаемых выходных параметров трикотажа, так и для установления коэффициентов зависимости между входными и выходными параметрами, что позволит вырабатывать полотна с заранее заданными характеристиками структуры.

Данный метод исследования основан на построении N – мерной числовой матрицы, числовыми значениями которой являются исследуемые факторы, причем, факторы могут иметь различную природу и размерность.

Причем, входящие элементы являются независимыми между собой и подвержены наличию случайных факторов, представляющих собой интервальный параметр, зависящий от настройки вязальной машины и внешних условий. На выходе параметры могут быть зависимы друг от друга, что даёт дополнительное искажение выходных данных, и позволяет продолжить их матричные представления. Следует отметить, что часть элементов матрицы P могут быть нулевыми. Размер матрицы зависит от числа входящих и исходящих параметров

Для трех входящих и исходящих параметров, обобщенная матрица будет содержать 9 элементов, и иметь вид:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{pmatrix}$$

При этом,

$$(\text{ВХОД}) * P = (\text{ВЫХОД})$$

$$(X1 ; X2 ; X3) * \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{pmatrix}$$

Представленная матрица, выражается системой уравнений:

$$\left\{ \begin{pmatrix} (X1P_{11} + X2P_{21} + X3P_{31}); \\ (X1P_{12} + X2P_{22} + X3P_{32}); \\ (X1P_{13} + X2P_{23} + X3P_{33}); \end{pmatrix} \right.$$

Решение уравнения с 9 неизвестными, выполняется путем дальнейшей трансформации матрицы [1.11].

Так в начале, определяются элементы первого столбца, по результатам проводимого эксперимента, получая три системы линейных уравнений с девятью неизвестными, причем, каждая система уравнений соответствует элементам своего столбца матрицы. Каждая из систем решается изолированно методами Крамера [1.9], или Гаусса [1.10]. Результаты решения сводятся в одну матрицу P , которая полностью определяет процесс вязания и позволяет решать как прямую так и обратную задачи, определяя взаимосвязь входящих и исходящих параметров.

Для проведения исследования проводилась экспериментальная выработка образцов при минимальном натяжении нити основы $T_{\text{мин}} = 0,15$ Н/нить; при среднем натяжении $T_0 = 0,21$ Н/нить; и максимальном $T_{\text{макс}}^+ = 0,27$ Н/нить. Оттяжка полотна обеспечивалась определенной комбинацией набора шестерен механизма оттяжки полотна, по которым был рассчитан коэффициент передачи, который составил $K_{п1} = 1,26$; $K_{п2} = 1,02$; $K_{п3} = 0,91$; Значение параметра скорости вязания выражалось через частоту вращения главного вала n и составило: $n_{\text{мин}}^- = 150$ мин⁻¹; $n^0 = 200$ мин⁻¹; $n_{\text{макс}}^+ = 250$ мин⁻¹.

Значения входных и выходных параметров для переплетения атлас-атлас – представлены в таблице 2.7

Таблица 2.7 – значения входных и выходных параметров

Входящие параметры	Натяжения нити основы T , Н/нить	Образец 1 0,15	Образец 2 0,21	Образец 3 0,27
	Коэффициент передачи шестерен механизма оттяжки, K_p	1,26	1,02	0,91
	Частота вращения главного вала n , мин ⁻¹	250	200	150
Выходящие параметры	Петельный шаг A , мм	1,31	1,25	1,11

	Высота петельного ряда В, мм	0,83	0,71	0,64
	Поверхностная плотность ρ , г/м ²	52,31	61,77	70,09

Для значений, представленных в таблице 2.7, матрица P , описывающая процесс ризоматического исследования, будет иметь размер три на три.

$$(T; Kп, ; n;) * \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{vmatrix}$$

Система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} A = (T_{11} + KпP_{21} + nP_{31}); \\ B = (TP_{12} + KпP_{22} + nP_{32}); \\ \rho = (TP_{13} + KпP_{23} + nP_{33}). \end{cases} \quad (2.5)$$

Теперь, в соответствии с тремя вариантами исследований, запишем каждое из полученных уравнений в виде системы, сначала для параметра A , потом для параметров B и ρ .

$$\begin{cases} A_1 = (T_1P_{11} + Kп_1P_{21} + n_1P_{31}) \\ A_2 = (T_2P_{11} + Kп_2P_{21} + n_2P_{31}) \\ A_3 = (T_3P_{11} + Kп_3P_{21} + n_3P_{31}) \end{cases} \quad (2.6)$$

Для доказательства, что система имеет единственное решение, найдем значение определителя матрицы:

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} 0,15 & 1,26 & 250 \\ 0,21 & 1,02 & 200 \\ 0,27 & 0,91 & 150 \end{vmatrix} = \\ &= (0,15 \times 1,02 \times 150) + (0,27 \times 1,26 \times 200) + (0,21 \times 0,91 \times 250) \\ &\quad - (250 \times 1,02 \times 0,27) - (0,21 \times 1,26 \times 150) - (200 \times 0,91 \times 0,15) = 2,925 \\ &\neq 0 \end{aligned}$$

Если определитель матрицы не равен нулю, то система уравнений имеет единственное решение.

Систему уравнений 2.6 запишем с числовыми значениями в виде расширенной матрицы. Решим систему методом Гаусса [6.5]

$$\begin{pmatrix} 0,15 & 1,26 & 250 \\ 0,21 & 1,02 & 200 \\ 0,27 & 0,91 & 150 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1,31 \\ 1,25 \\ 1,11 \end{pmatrix}$$

Запишем коэффициенты решения матрицы

$$X_3 = \frac{-0,182}{-26,2} = 0,007$$

$$X_2 = \frac{[-0,497 - (-107,1X_3)]}{-0,40} = \frac{[-0,497]}{-0,40} = -0,63$$

$$X_1 = \frac{1,11 - (0,91X_2 + 150X_3)}{0,27} = \frac{1,11 - (0,91 \times -0,63 + 150 \times 0,007)}{0,27} = 2,345$$

Повторим результаты вычислений для каждого параметра.

$$\left\{ \begin{array}{l} B_1 = T_1 P_{11} + K_{п1} P_{21} + n_1 P_{31} \\ B_2 = T_2 P_{11} + K_{п2} P_{21} + n_2 P_{31} \\ B_3 = T_3 P_{11} + K_{п3} P_{21} + n_3 P_{31} \end{array} \right. \quad (2.7)$$

Запишем систему 2.7 в виде расширенной матрицы числовых значений:

$$\begin{pmatrix} 0,15 & 1,26 & 250 \\ 0,21 & 1,02 & 200 \\ 0,27 & 0,91 & 150 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,82 \\ 0,7 \\ 0,63 \end{pmatrix}$$

Решим систему методом Гауса:

$$X_3 = \frac{-0,028}{-26,2} = 0,001$$

$$X_2 = \frac{[-0,27 - (-107,1X_3)]}{-0,40} = \frac{[-0,27 - (-107,1 \times 0,001)]}{-0,40} = 0,407$$

$$X_1 = \frac{0,63 - (0,91X_2 + 150X_3)}{0,27} = \frac{0,63 - (0,91 \times (0,407) + 150 \times 0,001)}{0,27} = 0,406$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_1 = T_1 P_{11} + K_{П1} P_{21} + n_1 P_{31} \\ \rho_2 = T_2 P_{11} + K_{П2} P_{21} + n_2 P_{31} \\ \rho_3 = T_3 P_{11} + K_{П3} P_{21} + n_3 P_{31} \end{array} \right. \quad (2.8)$$

Запишем 2.8 в виде расширенной матрицы числовых значений:

$$\begin{pmatrix} 0,15 & 1,26 & 250 \\ 0,21 & 1,02 & 200 \\ 0,27 & 0,91 & 150 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 52,3 \\ 61,77 \\ 70,09 \end{pmatrix}$$

Запишем систему уравнений:

$$X_3 = \frac{-3,167}{-26,2} = 0,12$$

$$X_2 = \frac{[-9,35 - (-107,1X_3)]}{-0,40} = \frac{[-9,35 - (-107,1 \times 0,12)]}{-0,40} = -8,755$$

$$X_1 = \frac{70,09 - (0,91X_2 + 150X_3)}{0,27} = \frac{70,09 - (0,91 \times (-8,755) + 150 \times 0,12)}{0,27}$$

$$= 222,434$$

Результаты вычислений сведем в таблицу 2.8

Таблица 2.8 – Результаты вычислений матриц 2.6, 2.7, 2.8

	Петельный шаг, А, мм	Высота петельного, В, мм	Поверхностная плотность, ρ, г/м ²
X1	2,345	0,406	222,434
X2	-0,63	0,407	-8,755
X3	0,007	0,001	0,12

Обобщенная матрица примет вид:

$$P = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} 2,345 & 0,406 & 222,434 \\ -0,63 & 0,407 & -8,785 \\ 0,007 & 0,001 & 0,12 \end{pmatrix}$$

$$(T; K_{п}; n) * \begin{vmatrix} 2,345 & 0,406 & 222,434 \\ -0,63 & 0,407 & -8,785 \\ 0,007 & 0,001 & 0,12 \end{vmatrix}$$

Используя матрицу P , можно записать систему уравнений 2.9

$$\begin{cases} A = TP_{11} + K_{п} P_{21} + nP_{31} = 2,345T - 0,63K_{п} + 0,007n \\ B = TP_{12} + K_{п} P_{22} + nP_{32} = 0,406T + 0,407K_{п} + 0,001n \\ \rho = TP_{13} + K_{п} P_{23} + nP_{33} = 222,434T - 8,785K_{п} + 0,12n \end{cases} \quad (2.9)$$

Система уравнений 2.9, позволит установить взаимосвязь между входными и выходными параметрами, и задаваясь условиями выработки, регулируемые на вязальной машине, можем определить будущие параметры вырабатываемого полотна, такие как, петельный шаг A , высота петельного ряда B и поверхностная плотность ρ , а значит заранее определять соответствие данного полотна заданным условиям.

При этом можно установить степень взаимного влияния параметров друг на друга. Так можно видеть, что наименьшее значение на выходные параметры полотна оказывает скорость вращения главного вала. На значения петельного шага A и поверхностной плотности ρ , наибольшее влияние оказывает натяжение полотна, а на значение параметра высоты петельного ряда, натяжение и скорость оттяжки полотна, оказывают почти равнозначное значение.

Получение обратных уравнений, позволит регулировать условия выработки трикотажа на вязальном оборудовании для получения заданных параметров полотна: петельного шага A , высоты петельного ряда B и поверхностной плотности ρ .

При построении обратной матрицы, необходимо вычислить величину определителя. Если определитель матрицы не равен нулю, то матрица имеет единственное решение.

Составим обратную матрицу и найдем значение определителя.

$$P^{-1} = R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

Система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} T = Ar_{11} + Br_{21} + \rho r_{31} \\ K_n = Ar_{12} + Br_{22} + \rho r_{32} \\ n = Ar_{13} + Br_{23} + \rho r_{33} \end{cases} \quad (2.10)$$

Запишем матрицу 2.10 в числовом значении для нахождения определителя матрицы.

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} 1,31 & 0,82 & 52,3 \\ 1,25 & 0,7 & 61,77 \\ 1,11 & 0,63 & 70,09 \end{vmatrix} = \\ &= (1,31 \times 0,7 \times 70,09) + (1,11 \times 0,82 \times 61,77) + (52,3 \times 1,25 \times 0,63) \\ &\quad - (1,11 \times 0,7 \times 52,3) - (70,9 \times 1,25 \times 0,82) - (1,31 \times 0,63 \times 61,77) \\ &= -2,61 \neq 0 \end{aligned}$$

Запишем матрицу 2.10 для параметра глубины натяжение основы T:

$$\begin{cases} T_1 = A_1 r_{11} + B_1 r_{21} + \rho_1 r_{31} \\ T_2 = A_2 r_{11} + B_2 r_{21} + \rho_2 r_{31} \\ T_3 = A_3 r_{11} + B_3 r_{21} + \rho_3 r_{31} \end{cases} \quad (2.11)$$

В числовом значении матрица примет вид:

$$\begin{pmatrix} 1,31 & 0,82 & 52,3 \\ 1,25 & 0,7 & 61,77 \\ 1,11 & 0,63 & 70,09 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,15 \\ 0,21 \\ 0,27 \end{pmatrix}$$

Для решения матрицы воспользуемся также методом Гауса.

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 16,454 \\ 0 & 0,0084 & 15,238 \\ 1,11 & 0,63 & 70,09 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,090 \\ 0,0835 \\ 0,27 \end{pmatrix}$$

Запишем систему уравнений:

$$\begin{aligned} X_3 &= \frac{0,090}{16,454} = 0,0055 \\ X_2 &= \frac{0,0835 - (15,238 \times 0,0055)}{0,0084} = -0,0367 \end{aligned}$$

$$X_1 = \frac{0,27 - (0,63X_2 + 70,09X_3)}{1,11} = \frac{0,27 - (0,63 \times (-0,0367) + 70,09 \times 0,005)}{1,11} \\ = -0,083$$

Запишем матрицу 2.10 для параметра силы оттяжки выраженной коэффициентом передачи K_n :

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{п1} = A_1 r_{11} + B_1 r_{21} + \rho_1 r_{31} \\ K_{п2} = A_2 r_{11} + B_2 r_{21} + \rho_2 r_{31} \\ K_{п3} = A_3 r_{11} + B_3 r_{21} + \rho_3 r_{31} \end{array} \right. \quad (2.12)$$

В числовом значении матрица примет вид:

$$\begin{pmatrix} 1,31 & 0,82 & 52,3 \\ 1,25 & 0,7 & 61,77 \\ 1,11 & 0,63 & 70,09 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1,26 \\ 1,02 \\ 0,91 \end{pmatrix}$$

Запишем систему уравнений:

$$X_3 = \frac{-0,014}{16,454} = -0,00087 \\ X_2 = \frac{0,00424 - (15,238X_3)}{0,0084} = \frac{0,00424 - (15,238 \times (-0,00087))}{0,0084} = 2,0829 \\ X_1 = \frac{0,91 - (0,63X_2 + 70,09X_3)}{1,11} = \frac{0,91 - (0,63 \times 2,0829 + 70,09 \times (-0,00087))}{1,11} \\ = -0,307$$

Запишем матрицу 2.10 для параметра числа вращения оттяжных валов, n , мин^{-1} :

$$\left\{ \begin{array}{l} n_1 = A_1 r_{11} + B_1 r_{21} + \rho_1 r_{31} \\ n_2 = A_2 r_{11} + B_2 r_{21} + \rho_2 r_{31} \\ n_3 = A_3 r_{11} + B_3 r_{21} + \rho_3 r_{31} \end{array} \right. \quad (2.13)$$

В числовом значении матрица примет вид:

$$\begin{pmatrix} 1,31 & 0,82 & 52,3 \\ 1,25 & 0,7 & 61,77 \\ 1,11 & 0,63 & 70,09 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 250 \\ 200 \\ 150 \end{pmatrix}$$

Запишем систему уравнений:

$$X_3 = \frac{-31,5424}{16,454} = -1,917$$

$$X_2 = \frac{-27,6 - (15,238X_3)}{0,0084} = \frac{-27,6 - (15,238 \times (-1,917))}{0,0084} = 191,815$$

$$X_1 = \frac{150 - (0,63X_2 + 70,09X_3)}{1,11} = \frac{150 - (0,63 \times 191,815 + 70,09 \times (-1,917))}{1,11} = 147,31$$

Результаты вычислений сведем в таблицу 2.9

Таблица 2.9 – Результаты вычислений системы уравнений 2.11, 2.12 и 2.13

	Натяжение нити, Т, Н/нить	Коэффициент передачи шестерен механизма оттяжки, Кп	Частота вращения главного вала, n, мин ⁻¹
X1	-0,083	-0,307	147,31
X2	-0,0367	2,0829	191,815
X3	0,005	-0,00087	-1,917

Обобщенная матрица примет вид:

$$P = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{vmatrix}$$

$$(hk; V_k; n;) * \begin{vmatrix} -0,083 & -0,307 & 147,31 \\ -0,0367 & 2,0829 & 191,815 \\ 0,005 & -0,00087 & -1,917 \end{vmatrix}$$

Используя матрицу P , можно записать систему уравнений 2.14

$$\begin{cases} T = AP_{11} + B P_{21} + \rho P_{31} = -0,083A - 0,0367B + 0,005\rho \\ K_n = AP_{12} + B P_{22} + \rho P_{32} = -0,307A + 2,0829B - 0,00087\rho \\ n = AP_{13} + B P_{23} + \rho P_{33} = 147,31A + 191,815B - 1,917\rho \end{cases} \quad (2.14)$$

Система уравнений 2.14, позволяет отрегулировать параметры вязания T , K_n и n для получения на полотне заданных выходных параметров A , B , ρ .

Ризоматический метод исследования зависимости входных и выходных параметров полотна трикотажа представлен для переплетения атлас-атлас, являющимся одним из вариантов исследуемых структур.

2.5 Испытания образцов сверхлегких сетчатых материалов, выработанных на базе основовязанных переплетений

С учетом проведенного исследования, при установленном режиме вязания на пониженной скорости 150 ряд/мин, была выработана серия образцов с использованием пяти переплетений, представленных в таблице 2.5.

Для выработанных образцов определялись следующие показатели: поверхностная плотность, разрывные характеристики, растяжимость, пористость, а также исследования на устойчивость материала к разрезанию [1.22, 5.5, 5.1].

Испытания образцов проводились после удаления оболочки из химической нити.

Для определения основных параметров и свойств основовязанных полотен использовалось сертифицированное измерительное оборудование: модернизированная разрывная машина Instron 1122, весы лабораторные, наибольший предел взвешивания 1 кг, 4 класса точности, все испытания проведены в соответствии с ГОСТ 10681-75 [5.1], 427-75 [5.2], 24104-80 [5.3].

Для исследования были выбраны образцы согласно таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Образцы, представленные на исследование

Образец	Наименование	Диаметр титановой нити, мкм	Количество образцов
№ 1 ВТ-6	Сукно-сукно (филейное)	60	15
№ 2 ВТ-6	Сукно-сукно со сдвигом	60	15
№ 3 ВТ-6	Атлас-атлас	60	15
№ 4 ВТ-6	Трико с суконным переходом	60	15
№ 5 ВТ-6	Трико с атласным переходом	60	15

Перед проведением испытаний [1.5] по определению разрывных характеристик, и растяжимости, образцы были подготовлены, в соответствии с ГОСТ8847-85[5.4, 5.5].

2.5.1 Методика измерения показателей, характеризующих физико-механические свойства полотен

Основными показателями, характеризующими физико-механические свойства полотен, являются их разрывные характеристики [1.5, 1.7], разрывная нагрузка и растяжимость.

При использовании трикотажных эндопротезов следует учитывать анизотропные свойства фасциальных тканей человека, поэтому необходимо правильно располагать хирургические сетчатые эндопротезы во время операции. Поэтому для разработанных полотен необходимо было исследовать разрывные характеристики, как по длине, так и по ширине трикотажа.

Для измерения разрывных характеристик образец в условиях разрывной машины INSTRON 1122 [6.3,1.34] растягивали со скоростью 200 мм/мин до полного разрыва, при зажимной длине 100мм. Одновременно осциллографом проводилась запись электрического сигнала в виде диаграммы растяжения, по которым выполнялся анализ прочностных характеристик образцов. На рисунке 2

приложения П. представлены диаграммы растяжения, в продольном и поперечном направлениях образцов выработанных переплетением сукно-сукно со сдвигом. На рисунке 3 приложения представлены диаграммы растяжения, в продольном и поперечном направлениях образцов выработанных переплетением сукно-сукно филейное.

Результаты усредненных значений исследований представлены в таблице 2.11 .

Таблица 2.11 – Результаты экспериментов по определению физико-механических свойств экспериментальных филейных образцов

№в ар	Наименование	растяжимость, %		Прочность, Н/см	
		в продоль ном направл ении	в поперечно м направлени и	в продоль ном направл ении	в поперечно м направлен ии
1	Сукно-сукно	56,95	55,07	48,85	61,7
2	Сукно-сукносо сдвигом	62,9	60,6	61,75	68,7
3	Атлас-атлас	61,4	63,2	42,75	46,17
4	Трико с суконным пер-м.	63,6	65,7	44,5	47,2
5	Трико с атласным переходом	65,2	67,6	44,7	52,1

Образцы для испытаний были выработаны на основовязальной машине Кокетт 18 класса из комбинированной титановой нити, диаметр титановой нити составил 60 мкм, испытания проводились после удаления химической составляющей нити.

Анализ диаграмм растяжения образцов разработанных переплетений показал, что характер растяжения полотен по ширине и длине практически одинаков.

2.5.2 Методика определения структурных параметров с применением компьютерно-диагностического комплекса «Диаморф»

Определение основных структурных параметров проводилось с использованием электронно-компьютерного комплекса «Диаморф» [1.13, 6.4], предназначенного как для получения увеличенного изображения структуры, так и для анализа всех элементов этой структуры [2.13]. Данный комплекс содержит цифровую телекамеру, установленную на оптическом микроскопе, позволяющем увеличивать изображение структуры. Соответствующее программное обеспечение позволяет максимально точно измерять основные параметры полотна, такие как петельный шаг A , высота петельного ряда B , длина нити в петле, площадь ячейки полотна, заносить измерения в базу данных программы для дальнейшей статистической обработки.

Для точности определения размеров изображения в программе имеется возможность геометрической калибровки, в которой задается длина эталона. Эталоном, как правило, служит масштабная линейка с ценой деления 0,1мм, сфотографированная с тем же увеличением, что и исследуемый образец. Для точности калибровки, можно увеличить масштаб изображения. Определение расстояний между заданными точками выполняется автоматически с использованием функции «вставка рулетки». После выполнения необходимых измерений, проводился анализ ячеек в исследуемой структуре, для этого была использована функция бинарной сегментации, позволяющая получить четкое черно-белое изображение структуры с возможностью его дальнейшей обработки. Одним цветом (черным) задаются границы ячеек, второй цвет (белый) определяет пространство внутри ячеек. Таким образом, программа может анализировать различные формы ячеек, образованные как между петельными столбиками и протяжками, так и между остовами и дугами самих петель. Анализ форм и размеров ячеек проводился с определением морфологических параметров

структуры, таких как: периметр объекта, площадь объекта, диаметр круга, фактор формы.

Объектом анализа являлась ячейка структуры. Под диаметром круга понимается диаметр круга, равный по площади измеряемой ячейке. Под фактором формы понимается отношение: $4\pi S/p^2$, где S – площадь ячейки; p – периметр ячейки.

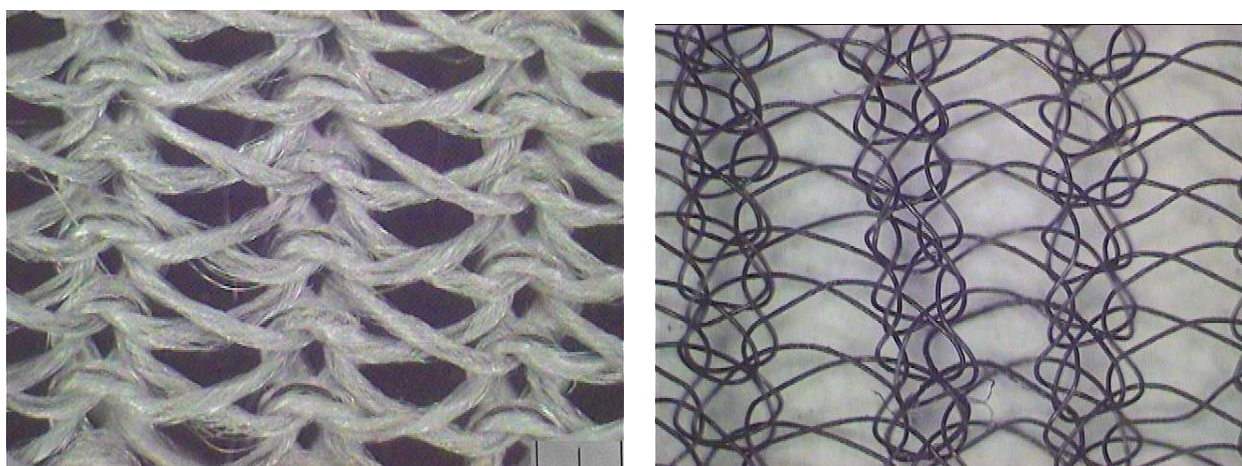
Соответственно отношение будет равно 1, чем ближе форма ячейки будет приближена к кругу, и наоборот [2.13].

В результате обработки сегментированной фотографии структуры программное обеспечение позволило получить информацию в виде:

- Структуры исследуемого образца, в которой выделенные ячейки закрашены в разные цвета;
- Структуры исследуемого образца, в которой выделенные ячейки пронумерованы;
- Гистограммы распределения числа объектов по выбранным характеристикам объекта.

Пример полного исследования приведен для переплетений сукно-сукно со сдвигом и сукно-сукно филейное, для других исследуемых переплетений приведено только увеличенное изображение структуры и гистограммы распределения.

На рисунке 2.3 приведена фотография полотна филейного переплетения сукно-сукно со сдвигом проборки гребенок. На рисунке 2.3а, фотография образца представлена сразу после снятия его с машины, структура полотна образована комбинированной титановой нитью. На рисунке 2.3,б, фотография образца представлена после удаления оболочки из химической комплексной нити, таким образом, структура полотна образована из титановой нити.



а

б

Рисунок 2.3 а,б – Фотография структуры полотна переплетения сукно-сукно со сдвигом

Дальнейшее исследование проводились с полотном из титановой нити.

На рисунке 2.4 представлено увеличенное изображение структуры титанового полотна полученного с помощью электронно-компьютерного комплекса «Диаморф» и указаны следующие размеры: петельный шаг A , мм; высота петельного ряда B , мм; длина нити в петле l , мм; площадь ячейки S , мм².

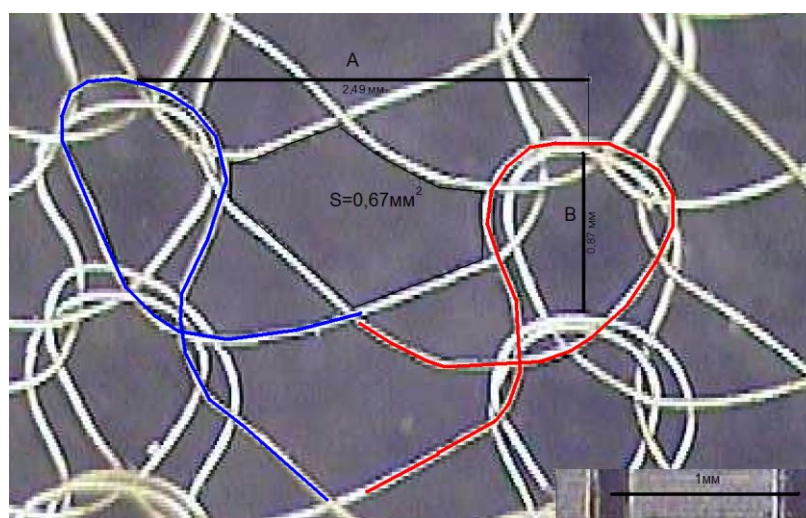


Рисунок 2.4 – Увеличенная структура переплетения сукно-сукно со сдвигом

Данная фотография сегментировалась, и по данному изображению была получена следующая информация:

- Рисунок 2.5 – Структура исследуемого образца, в которой выделенные ячейки закрашены в разные цвета;
- Рисунок 2.6 – Структура исследуемого образца, в которой выделенные ячейки пронумерованы;
- На рисунке 2.7 а,б,в, приведены гистограммы распределения числа объектов по площади, диаметру круга и фактору формы соответственно.

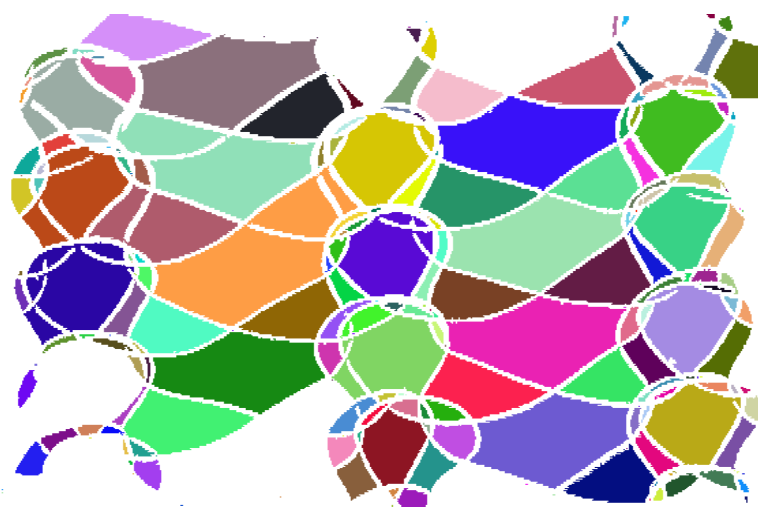


Рисунок 2.5 – Структура исследуемого образца, в которой выделенные ячейки закрашены в разные цвета

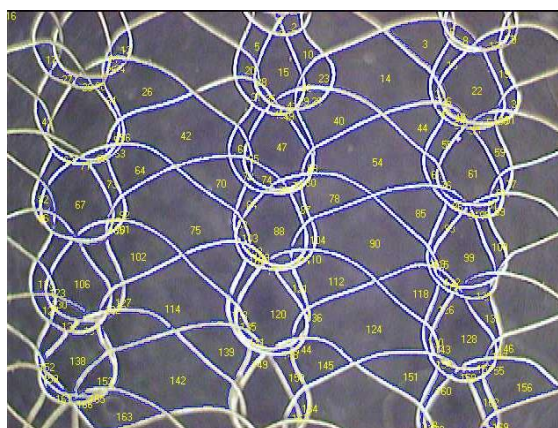
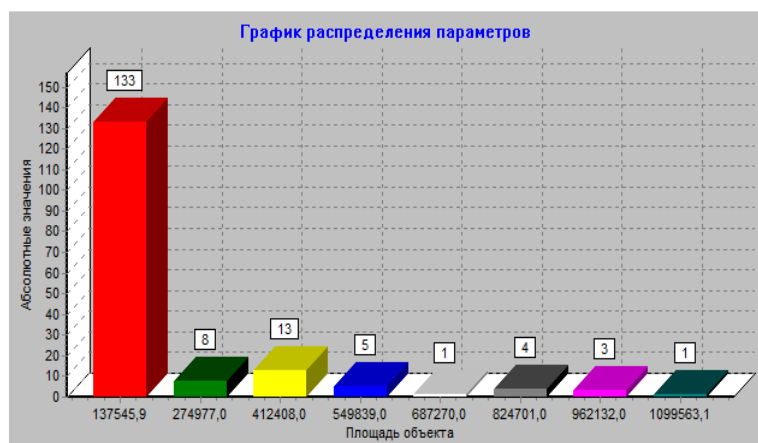


Рисунок 2.6 – Структура исследуемого образца, в которой выделенные ячейки пронумерованы

Данные статистики

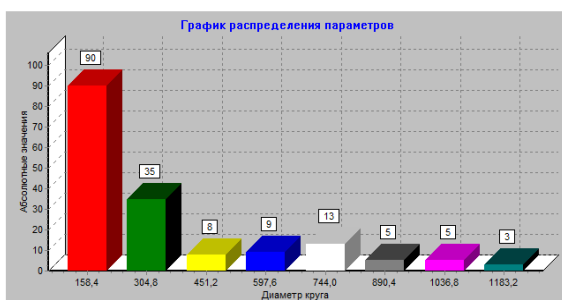
Количество объектов:	168	Стандартная ошибка:	16013,35
№ макс. класса:	1	Медиана:	14716,03
Макс. значение:	1099563,12	Ср. кв. отклонение:	207556,71
Мин. значение:	114,97	Среднее значение:	110411,94



а

Данные статистики

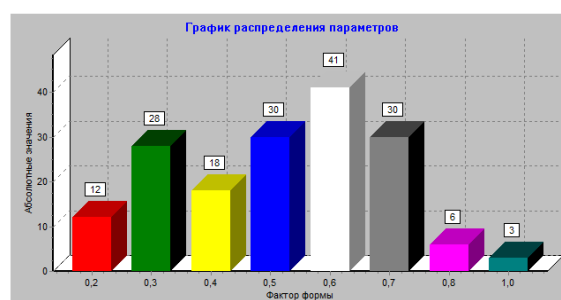
Количество объектов:	168	Стандартная ошибка:	20,91
№ макс. класса:	1	Медиана:	136,88
Макс. значение:	1183,22	Ср. кв. отклонение:	271,08
Мин. значение:	12,10	Среднее значение:	259,03



б

Данные статистики

Количество объектов:	168	Стандартная ошибка:	0,01
№ макс. класса:	5	Медиана:	0,55
Макс. значение:	1,00	Ср. кв. отклонение:	0,18
Мин. значение:	0,15	Среднее значение:	0,53



в

Рисунок 2.7а,б,в – Гистограммы распределения числа объектов по площади, диаметру круга и фактору формы соответственно

Одной из важнейших исследуемых характеристик является площадь ячеек, проанализируем гистограмму распределения площади ячеек, построенную в автоматическом режиме.

Гистограммы распределения строятся по каждому заданному параметру. Они делятся на 8 интервалов, вверху каждой гистограммы приводятся данные статистической обработки.

Общее количество ячеек в рассматриваемом участке переплетения сукно-сукно со сдвигом – 168, общая площадь ячеек после суммирования всех площадей составляет 36319206 мкм^2 ($36,31 \text{ мм}^2$).

По гистограмме, показанной на рис. 2.7а, можно видеть, что площади ячеек разделены на 8 интервалов с периодом $0-1,37545,9 \text{ мкм}^2$ до максимального значения $1099563,1 \text{ мкм}^2$ ($1,1 \text{ мм}^2$). 133 ячейки (79% от общего числа ячеек в объекте) площадью в среднем $0,137 \text{ мм}^2$ каждая, занимают 50,18% всей площади ячеек(пор); восемь ячеек (4,8%) имеют площадь в среднем $0,274 \text{ мм}^2$, что составляет (6,04 % от общей площади ячеек), тринадцать ячеек (7,7%) имеют площадь $0,411 \text{ мм}^2$ (14,7 % от общей площади ячеек), пять ячеек (2,9%) - площадью каждая примерно $0,55 \text{ мм}^2$ (7,57 % от общей площади ячеек), одна ячейка (0,6%) – площадь $0,68 \text{ мм}^2$ (1,87 % от общей площади ячеек), четыре ячейки (2,4%) – площадью $0,817 \text{ мм}^2$ каждая (9 % от общей площади ячеек), три ячейки (1,8%) – площадь $0,95 \text{ мм}^2$ (7,85 % от общей площади ячеек), одна ячейка (0,6%) – площадь $1,08 \text{ мм}^2$ (2,97 % от общей площади ячеек).

Аналогично обрабатываются и другие параметры.

Данные по площади ячеек сведем в таблицу 2.12

Таким образом, опираясь на данные таблицы 1.3, можно сделать вывод, что ячеек площадью менее $0,1 \text{ мм}^2$, размер которых недостаточен для построения новой ткани в образце нет (размер минимальной ячейки $0,14 \text{ мм}^2$).

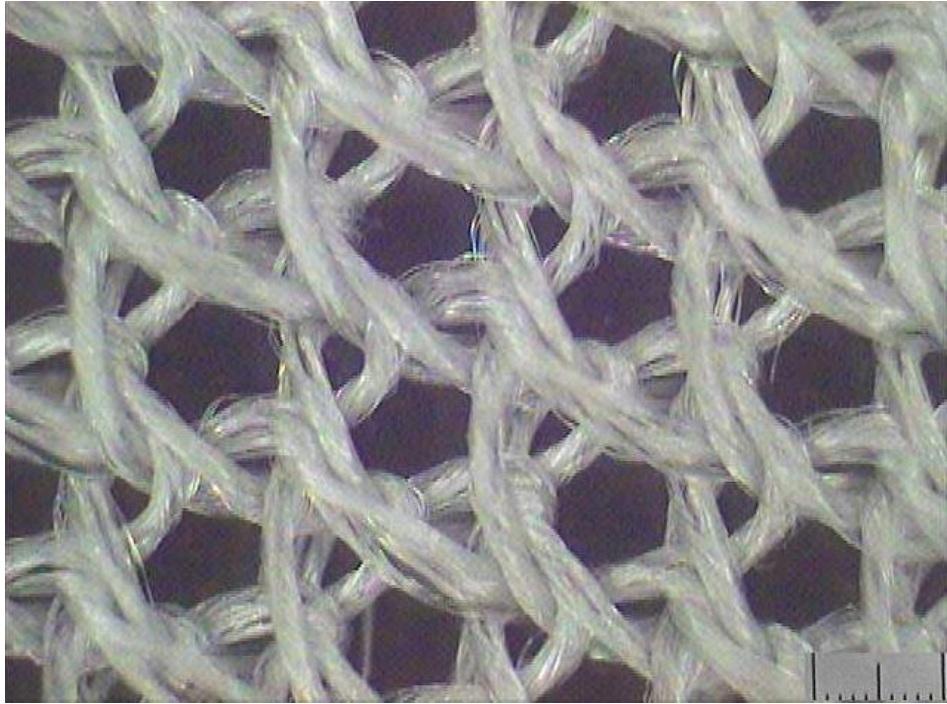
Таблица 2.12 - Площадь ячеек образца переплетения сукно-сукно со сдвигом

Количество групп ячеек	Количество ячеек в группе	Процентное содержание общего числа ячеек в объекте, %	Площадь каждой ячейки в группе S , мм ²	Площадь каждой группы ячеек $S_{гр}$, мм ²	Процентное содержание общей площади ячеек в объекте, %
1	133	79	0,137	18,22	50,18
2	8	4,8	0,3	2,4	6,04
3	13	7,7	0,4	5,2	14,7
4	5	2,9	0,55	2,75	7,57
5	1	0,6	0,68	0,68	1,87
6	4	2,4	0,8	3,2	9
7	3	1,8	0,95	2,85	7,85
8	1	0,6	1,08	1,08	2,97
Σ	168	100		36,31	100

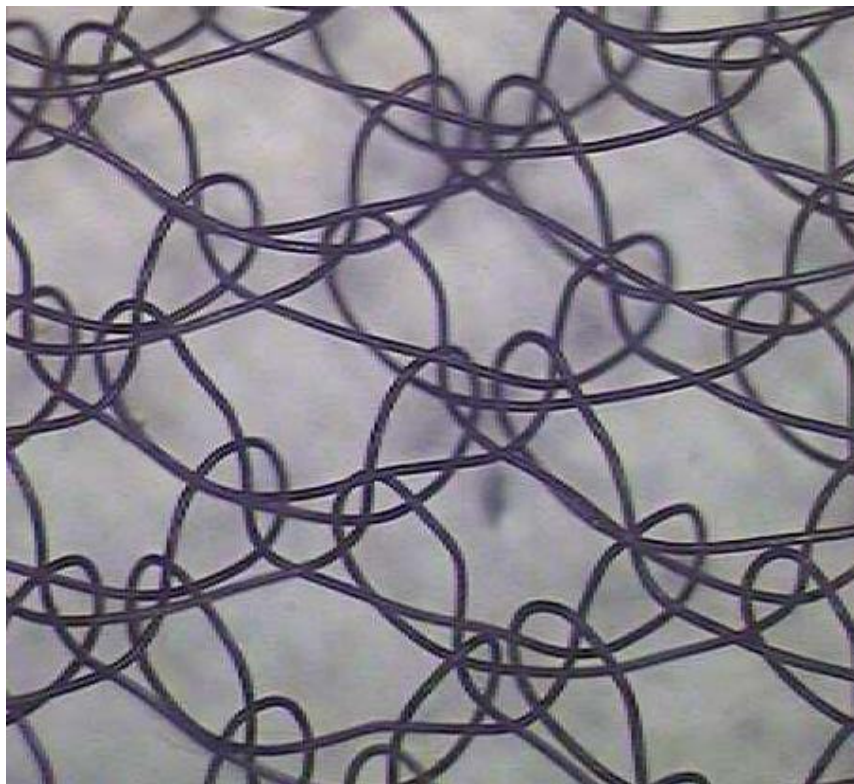
Ячейки размером менее 0,2 мм² – которые могут препятствовать движению жидкостей, расположены в сочетании с ячейками более крупными позволяющими проходить жидкостям и не препятствовать росту соединительной ткани. Средняя площадь ячеек (без учета минимальных) составляет 0,517 мм², что является приемлемым для использования в таких полотнах в качестве эндопротезов.

На рисунке 2.8 приведена фотография филейного переплетения сукно-сукно. На рисунке 2.8а фотография образца представлена сразу после снятия его с машины, структура полотна образована комбинированной титановой нитью. На рисунке 2.8б фотография образца представлена после удаления оболочки из химической комплексной нити, таким образом, структура полотна образована из титановой нити.

Дальнейшее исследование проводилось с полотном из титановой нити.



а



б

Рисунок 2.8 – Фотография структуры полотна филейного переплетения
сукно-сукно

На рисунке 2.9 представлено увеличенное изображение структуры титанового полотна полученного с помощью электронно-компьютерного комплекса «Диаморф». На рисунке 2.9 указаны следующие размеры: высота петельного ряда B , мм; длина нити в петле l , мм; площадь ячейки S , мм².

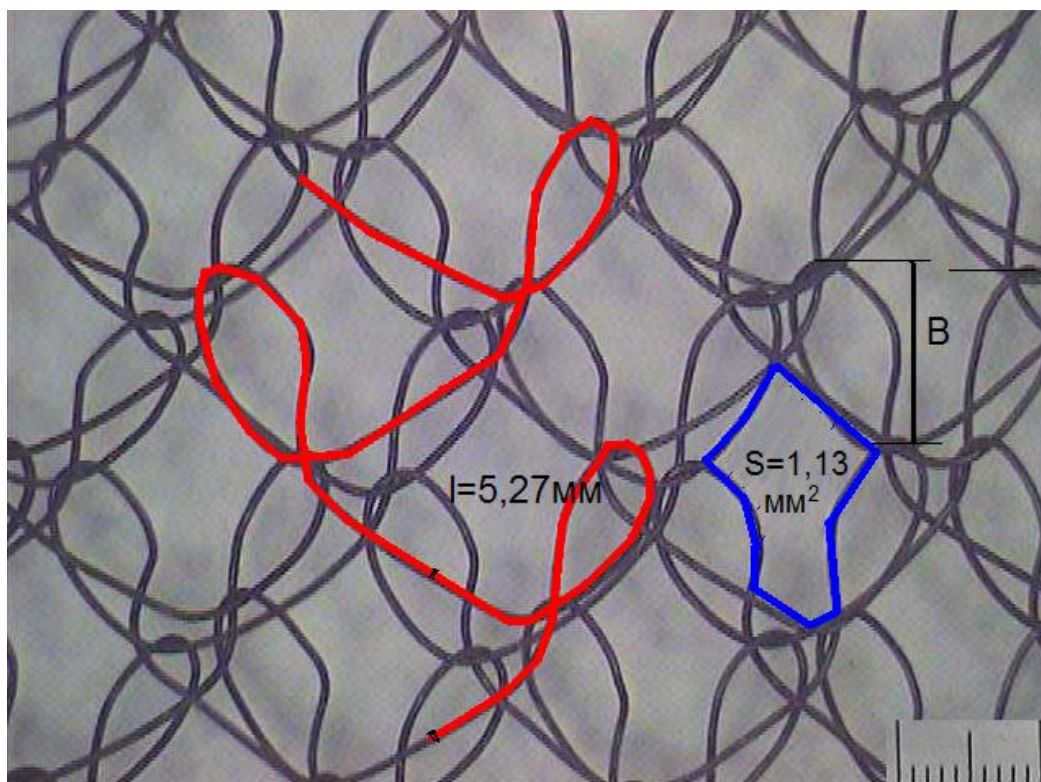


Рисунок 2.9 – Увеличенная структура филейного переплетения сукно-сукно

Данная фотография сегментировалась, по данному изображению была получена следующая информация:

- Рисунок 2.10 – Структура исследуемого образца, в которой выделенные ячейки закрашены в разные цвета;
- Рисунок 2.11 – Бинарное изображение структуры;

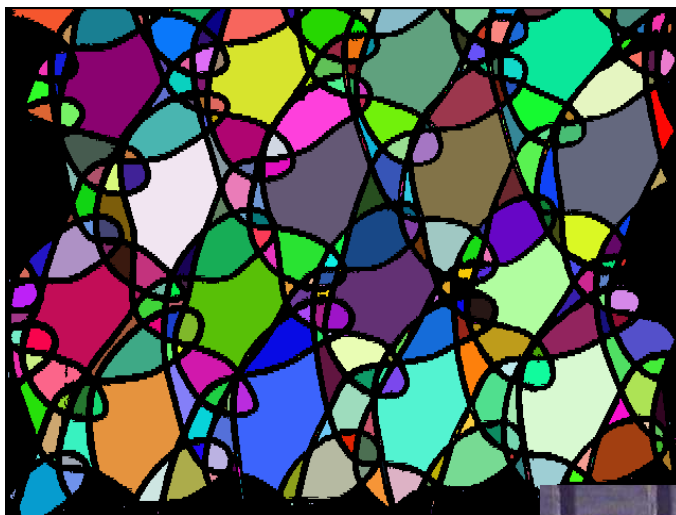


Рисунок 2.10 – Структура исследуемого образца, в которой выделенные ячейки закрашены в разные цвета

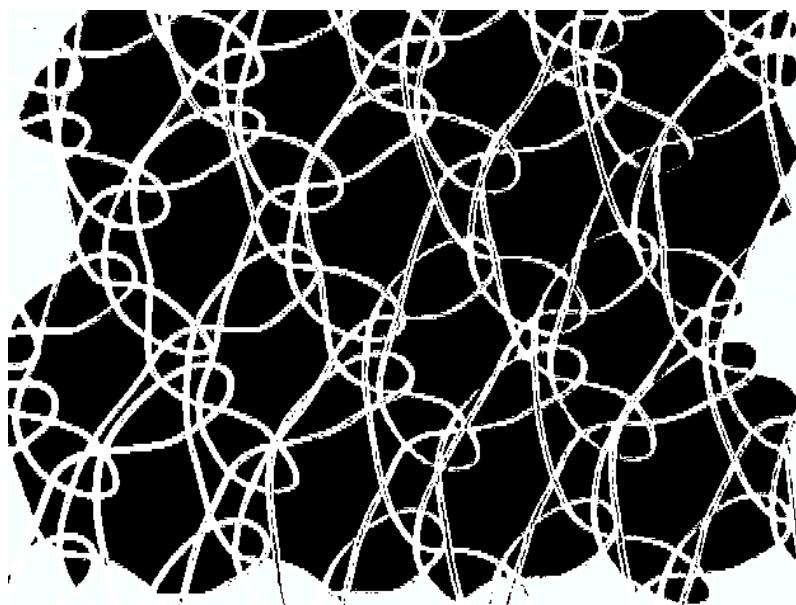
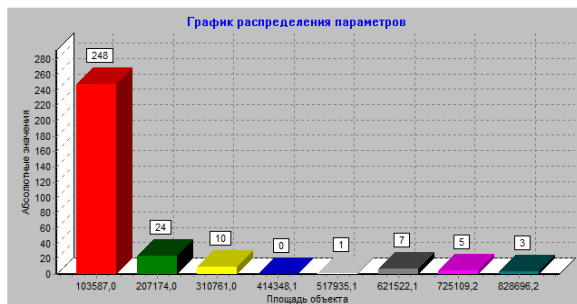


Рисунок 2.11 – Бинарное изображение структуры исследуемого образца.

- На рисунке 2.12 а,б,в, приведены гистограммы распределения числа объектов по площади, диаметру круга и фактору формы соответственно.

Данные статистики

Количество объектов:	298	Стандартная ошибка:	8627,84
№ макс. класса:	1	Медиана:	14716,03
Макс. значение:	828696,25	Ср. кв. отклонение:	148939,64
Мин. значение:	0,00	Среднее значение:	69044,65



а

Данные статистики

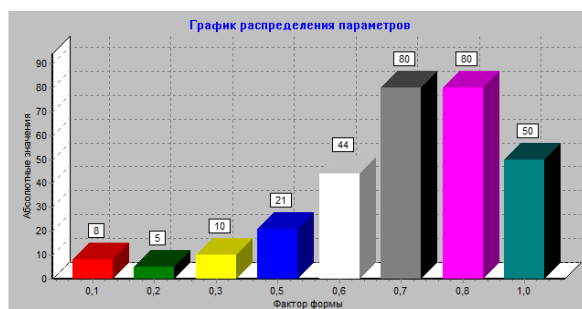
Количество объектов:	298	Стандартная ошибка:	12,19
№ макс. класса:	1	Медиана:	136,88
Макс. значение:	1027,19	Ср. кв. отклонение:	210,52
Мин. значение:	0,00	Среднее значение:	208,79



б

Данные статистики

Количество объектов:	298	Стандартная ошибка:	0,01
№ макс. класса:	6	Медиана:	0,72
Макс. значение:	1,00	Ср. кв. отклонение:	0,21
Мин. значение:	0,00	Среднее значение:	0,69



в

Рисунок 2.12 а,б,в.— Гистограммы распределения числа объектов по площади, диаметру круга и фактору формы соответственно

Общее количество ячеек в рассматриваемом участке переплетения сукно-сукно филейное – 298, общая площадь ячеек после суммирования всех площадей составляет 44283304, 66 мкм² (44,28 мм²).

По гистограмме, показанной на рисунке 2.15а, можно видеть, что площади ячеек разделены на 8 интервалов с периодом 0-103587,031 мкм² до максимального значения 828696,25 мкм² (0,8 мм²). 248 ячеек (83% от общего числа ячеек в объекте) площадью в среднем 0,103 мм² каждая, занимают 57,41% всей площади ячеек(пор). Двадцать четыре ячейки (8,05%) имеют площадь в среднем 0,205 мм² (11,1 % от общей площади ячеек), десять ячеек (3,46%) имеют площадь 0,3075 мм² (6,94 % от общей площади ячеек), одна ячейка (0,34%) - площадью каждая примерно 0,5125 мм² (1,16 % от общей площади ячеек), семь ячеек (2,35%) – площадь 0,615 мм² (9,72 % от общей площади ячеек), пять ячеек (1,68%) – площадью 0,7175 мм² каждая (8,1 % от общей площади ячеек), три ячейки (1%) – площадь 0,82 мм² (5,56 % от общей площади ячеек). Аналогично можно обработать и другие параметры. Для наглядности результаты значений распределения площадей сведем в таблицу 2.13

Таблица 2.13 – Результаты распределения площадей ячеек образца образованного переплетением сукно-сукно филейное.

Количество групп ячеек	Количество ячеек в группе	Процентное содержание общего числа ячеек в объекте, %	Площадь каждой ячейки в группе S, мм ²	Площадь каждой группы ячеек S _{гр} , мм ²	Процентное содержание общей площади ячеек в объекте, %
1	248	83,22	0,1025	25,42	57,41
2	24	8,05	0,205	4,92	11,1
3	10	3,46	0,3075	3,075	6,94
4	0	0	0	0	0
5	1	0,34	0,5125	0,5125	1,16
6	7	2,35	0,615	4,305	9,72
7	5	1,68	0,7175	3,5875	8,10
8	3	1,0	0,82	2,46	5,56
Σ	298	100		44,28	99,99

Таким образом, опираясь на данные таблицы 1.3, можно сделать вывод, что ячеек площадью менее 0,1 мм², размер которых недостаточен для построения

новой ткани в образце нет (размер минимальной ячейки $0,103 \text{ мм}^2$). Ячейки размером менее $0,2 \text{ мм}^2$ – которые могут препятствовать движению жидкостей, расположены с сочетанием с ячейками более крупными позволяющими проходить жидкостям и не препятствовать росту соединительной ткани. Средняя площадь ячеек (без учета минимальных) составляет $0,38 \text{ мм}^2$, что является достаточным для восстановления костных тканей и является приемлемым для использования в таких полотнах в качестве эндопротезов.

На рисунке 4 приложения представлено увеличенное изображение структуры титанового полотна переплетением трико с атласным переходом.

Гистограммы распределения числа объектов по площади, диаметру круга и фактору формы приведены соответственно на рисунке 5 приложения.

По данным гистограмм общее количество ячеек в рассматриваемом участке переплетения трико с атласным переходом составляет – 436, общая площадь ячеек после суммирования всех площадей составляет $390432432,756 \text{ мкм}^2$ ($390,4 \text{ мм}^2$).

По гистограмме, показанной на рис. 5а, приложения, можно видеть, что площади ячеек разделены на 8 интервалов с периодом $0-0,8 \text{ мм}^2$ до максимального значения $828696,25 \text{ мкм}^2$ ($0,8 \text{ мм}^2$). 426 ячеек (97,7% от общего числа ячеек в объекте) площадью в среднем $0,8 \text{ мм}^2$ каждая, занимают 87,3% всей площади ячеек(пор). Две ячейки (0,5%) имеют площадь в среднем $1,6 \text{ мм}^2$ (0,82 % от общей площади ячеек), одна ячейка (0,2%) - площадью каждая примерно $4,8 \text{ мм}^2$ (1,22 % от общей площади ячеек), четыре ячейки (0,92%) – площадь $5,6 \text{ мм}^2$ (5,74 % от общей площади ячеек), три ячейки (0,69%) – площадь $6,4 \text{ мм}^2$ (4,92 % от общей площади ячеек).

Результаты значений распределения площадей сведем в таблицу 2.14

Таким образом, опираясь на данные таблицы 1.3, можно сделать вывод, что образец переплетения трико с атласным переходом на 97% состоит из ячеек площадью $0,8 \text{ мм}^2$, размер которых не препятствует росту соединительной ткани. Средняя площадь ячеек составляет $0,89 \text{ мм}^2$, что является достаточным для

восстановления костных тканей и является приемлемым для использования в таких полотнах в качестве эндопротезов.

Таблица 2.14 – Результаты распределения площадей ячеек образца образованного переплетением трико с атласным переходом.

Количество групп ячеек	Количество ячеек в группе	Процентное содержание общего числа ячеек в объекте, %	Площадь каждой ячейки в группе S , мм ²	Площадь каждой группы ячеек $S_{гр}$, мм ²	Процентное содержание общей площади ячеек в объекте, %
1	426	97,7	0,8	340,8	87,3
2	2	0,5	1,6	3,2	0,82
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	1	0,2	4,8	4,8	1,22
7	4	0,92	5,6	22,4	5,74
8	3	0,69	6,4	19,2	4,92
Σ	436	100		390,4	100

На рисунке 6 приложения, представлено увеличенное изображение структуры титанового полотна образованного переплетением трико с суконным переходом. На рисунке 7 а,б,в,г приложения, приведены гистограммы распределения числа объектов по площади, периметру, диаметру круга и фактору формы соответственно.

Общее количество ячеек в рассматриваемом участке сетеполотна трико с суконным переходом составляет – 320, общая площадь ячеек после суммирования всех площадей составляет 252455344,628 мкм² (252,5 мм²). По гистограмме, показанной на рисунке 7а, приложения, можно видеть, что площади ячеек разделены на 8 интервалов с периодом 0-0,675 мм² до максимального значения 5400249,38 мкм² (5,4 мм²). 311 ячеек (97,2% от общего числа ячеек в объекте) площадью в среднем 0,675 мм² каждая, занимают 83% всей площади ячеек(пор). Одна ячейка (0,31%) - площадью каждая примерно 1,35 мм² (0,53 % от общей площади ячеек), три ячейки (0,94%) – площадь 4,725 мм² (5,6 % от общей

площади ячеек), пять ячеек (1,56%) – площадь 5,4 мм² (10,7 % от общей площади ячеек). Аналогично можно обработать и другие параметры. Для наглядности результаты значений распределения площадей сведем в таблицу 2.15

Таблица 2.15 – Результаты распределения площадей ячеек образца образованного переплетением трико с суконным переходом.

Количество групп ячеек	Количество ячеек в группе	Процентное содержание общего числа ячеек в объекте, %	Площадь каждой ячейки в группе S, мм ²	Площадь каждой группы ячеек S _{гр} , мм ²	Процентное содержание общей площади ячеек в объекте, %
1	311	97,2	0,675	209,93	83
2	1	0,31	1,35	1,35	0,53
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	3	0,94	4,725	14,175	5,6
8	5	1,56	5,4	27	10,7
Σ	320	100		252,5	100

Таким образом, данный образец на 97% состоит из ячеек площадью 0,67 мм², размер которых не препятствует росту соединительных тканей.

Средняя площадь ячеек составляет 0,79 мм², что является достаточным для восстановления костных тканей и является приемлемым для использования в таких полотнах в качестве эндопротезов.

На рисунке 8 приложения, представлено увеличенное изображение структуры титанового полотна образованного переплетением атлас-атлас.

На рисунке 9 а,б,в,г приложения, приведены гистограммы распределения числа объектов по площади, периметру, диаметру круга и фактору формы соответственно.

Общее количество ячеек в рассматриваемом участке переплетения атлас-атлас составляет – 155, общая площадь ячеек после суммирования всех площадей составляет 41684535,67мкм² (41,68 мм²).

По гистограмме, показанной на рисунке 9а, приложения, можно видеть, что площади ячеек разделены на 8 интервалов с периодом 0-0,21 мм² до

максимального значения 1764626,00 мкм² (1,7 мм²). 142 ячейки (91,6% от общего числа ячеек в объекте) площадью в среднем 0,21 мм² каждая, занимают 71,5% всей площади ячеек(пор). Восемь ячеек (5,16%) - площадью каждая примерно 0,42 мм² (8,06 % от общей площади ячеек) и пять ячеек (3,23%) – площадь 1,7 мм² (20,39 % от общей площади ячеек).

Данные по гистограмме площади ячеек сведем в таблицу 2.16

Таблица 2.16 – Результаты распределения площадей ячеек образца образованного переплетением атлас-атлас.

Количество групп ячеек	Количество ячеек в группе	Процентное содержание общего числа ячеек в объекте, %	Площадь каждой ячейки в группе S, мм ²	Площадь каждой группы ячеек S _{гр} , мм ²	Процентное содержание общей площади ячеек в объекте, %
1	142	91,6	0,21	29,82	71,5
2	8	5,16	0,42	3,36	8,06
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	5	3,23	1,7	8,5	20,39
Σ	155	100		41,68	100

Таким образом, сравнивая полученные результаты по параметру площади ячеек с данными таблицы 1.3, можно сделать вывод, что данный образец переплетения атлас-атлас на 72% состоит из ячеек площадью 0,21 мм², размер которых является достаточным для восстановления костных тканей. Средняя площадь ячеек составляет 0,39 мм², что и является приемлемым для использования в таких полотнох в качестве эндопротезов.

Результаты замеров структурных параметров и площадей ячеек пяти экспериментальных образцов сведем в таблицу 2.17

Таблица 2.17 –Параметры экспериментальных филейных образцов трикотажа

№ва р.	Наименование	Плотн ость по горизо нтали, Пг	Плотнос ть по вертика ли Пв	Петель ный шаг, А, мм	Высота петельн ого ряда, В,мм	Площадь ячейки мм ²
1	Сукно-сукно	95	86	1,05	1,16	0,38
2	Сукно-сукно со сдвигом	40	116	2,5	0,86	0,517
3	Атлас-атлас	80	140	1,25	0,7	0,4
4	Трико с суконным переходом	70	134	1,43	0,75	0,79
5	Трико с атласным переходом	81	120	1,23	0,83	0,89

2.5.3 Расчет поверхностной плотности

Для измерения поверхностной плотности, образец взвешивался на прецизионных весах, определялась его масса в граммах. Впоследствии рассчитывалась поверхностная плотность ρ по формуле

$$\rho = \frac{m \times 10^6}{L \times B}$$

где m - масса образца полотна, г;

L - длина образца полотна, мм;

B - ширина образца полотна, мм.

2.5.4 Расчет пористости материала

Пористость материала рассчитывалась по формулам:

$$L = \frac{\rho}{T}, (\text{м})$$

$$S_n = L \times d, (\text{м}^2)$$

$$П = (S_m - S_n) \times 100, \%$$

где: L – длина нити в квадратном метре полотна;

ρ – поверхностная плотность полотна, г/м²;

T – линейная плотность нити, г/км;

S_n – площадь нити, м²;

S_m – площадь квадратного метра, м²;

d – диаметр нити, м;

Исследования проводились с группами полотен по 10-15 образцов, выбранных переплетений, в таблицу 2.18 внесены усредненные значения.

Анализ значений параметров и свойств в таблице 2.18 приведен для филейных образцов трикотажа после удаления оболочки комбинированной титановой нити, то есть для образцов, выработанных из титановой нити диаметром 60 мкм.

Следует обратить внимание, что многие позитивные особенности имплантата связаны с ключевыми показателями, такими как поверхностная плотность, прочность, пористость, растяжимость [3.1].

Дополнительным испытанием была проверка образцов на устойчивость к разрезанию.

Таблица 2.18 – Значения параметров поверхностной плотности и пористости материала

№в ар	Наименование	Поверхностная плотность, г/м ²	Пористость, %
1	Сукно-сукно	55,8	74,04
2	Сукно-сукно со сдвигом	73,32	65,9
3	Атлас-атлас	61,77	71,3
4	Трико с суконным переходом	51,48	76,06
5	Трико с атласным переходом	51,43	76,08

2.5.5 Оценка устойчивости полотна к разрезанию

Исследование производилось путем подрезания края материала на 1-1,5 см. Впоследствии края разреза растягивались с усилием, не превышающим прочность сетки. Если при этом структура материала изменялась, материал признавался не соответствующим требованиям.

По результатам данного исследования, все образцы основовязаного трикотажа были признаны соответствующими требованиям.

Фотографии обрезанных краев полотна выработанного на базе основовязанных переплетений представлены на рисунке 2.13 [6.6]. Как видно роспуск краев образцов отсутствует.



Рисунок 2.13 – фотографии исследования образца на устойчивость структуры к разрезанию

Сравнение заданных значений и данных по результатам пористости структур таблица 2.19, растяжимости и прочности таблица 2.11, соответствуют заданным медиками требованиям. Данные по результатам поверхностной плотности таблица 2.19, показывают, что все разработанные основовязаные полотна, выработанные из титановой нити 60 мкм, кроме полотна сукно-сукно со сдвигом можно отнести к категории легких трикотажных полотен имеющих поверхностную плотность от 35 до 70 г/м².

Одним из направлений снижения материалоемкости трикотажа является использование титановой нити меньшего диаметра, полученного путем холодного вытяжения титановой проволоки. Однако данный процесс является очень сложным и существует возможность обрыва вытягиваемой титановой нити из-за потери ее прочности.

Другим направлением уменьшения материалоемкости разработанных полотен может быть применение операции травления титановых нитей из выработанных полотен, при котором часть металла удаляется с поверхности химическим способом.

Так как при травлении металла в готовых полотнах, основные структурные параметры такие как - петельный шаг А, высота петельного ряда В и длина нити в петле 1, практически не меняются, то можно выполнить расчет показателей поверхностной плотности, пористости и прочности при изменении диаметра титановой нити, но при сохранении основных параметров полотен.

Данные расчета показателей представлены в таблице 2.19, при этом для каждого варианта плотности приведена категория вида полотна: ССМ, легкие и стандартные зависящие от значений поверхностной плотности.

Таблица 2.19 – Расчет поверхностной плотности, прочности и пористости в зависимости от изменения диаметра титановой нити

№ образца	Диаметр нити после травления, мкм	Поверхностная плотность, г/м ²	Прочность, Н/см	Прочность, Н/см	Соответствие категории сеток
1	60	55,8	55,3	74,04	легкие
	50	39,02	38,67	78,3	легкие
	40	24,96	24,7	82,7	ССМ
	30	14,06	13,9	87,02	ССМ
2	60	73,32	61,75	65,9	стандартные
	50	51,23	43,14	71,6	легкие
	40	32,77	27,59	77,3	ССМ
	30	18,46	15,54	82,96	ССМ
3	60	61,77	44,46	71,3	легкие
	50	43,21	31,10	76,05	легкие
	40	27,64	19,89	80,84	ССМ
	30	15,57	11,2	85,63	ССМ
4	60	51,48	45,85	76,06	легкие
	50	35,99	32,06	80,05	легкие
	40	23,02	20,50	84,04	ССМ
	30	12,97	11,55	88,03	ССМ
5	60	51,43	48,4	76,07	легкие
	50	35,99	33,8	80,05	легкие
	40	23,02	21,6	84,04	ССМ
	30	12,97	12,2	88,03	ССМ

По данным таблицы 2.19, можно сделать вывод о том, что наиболее подходящим сырьем для изготовления ССМ основязальным способом производства из титановых нитей является титановая нить диаметром 40 мкм. При использовании титановой нити диаметром 40 мкм, все экспериментальные образцы основязаного трикотажа имеют физико-механические показатели, соответствующие заданным параметрам.

Полотна, выработанные из титановой нити диаметрами от 50÷60 мкм, относящиеся к серии легких, могут быть также использованы для изготовления эндопротезов, требующих большей прочности.

При невозможности получения нити малых диаметров 30÷40 мкм, рекомендуется понижать диаметр используемых нитей непосредственно после выработки образцов методом травления титана.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. Установлено, что использование химической нити в качестве составляющей комбинированной титановой нити, позволяет снизить коэффициент трения титановой нити в 2,8 раза и обеспечить возможность ее переработки на вязальном оборудовании различного типа.
2. Впервые разработана технология выработки сверхлегких сетчатых материалов из титановой нити на базе двухгребеночных филейных переплетений основвязальным способом производства.
3. Исследование режимов вязания ССМ, показало, что изменение скорости вязания в диапазоне 150-300ряд/мин, натяжения нити в диапазонах 0,15 – 0,18 Н/нить и 0,22 – 0,27 Н/нить приводят к увеличению обрывности комбинированной титановой нити.
4. Установлено, что минимальная обрывность комбинированной титановой нити достигается при скорости вязания 150 ряд./ мин., натяжении нити $T=0,22$ Н/нить.
5. Установлена зависимость, позволяющая прогнозировать структурные параметры полотна от выбранных режимов вязания. Установлено, что наименьшее значение на выходные параметры полотна A, B, ρ , оказывает частота вращения главного вала n , при этом наибольшее влияние на выходные параметры оказывают натяжение нитей основы T и частота вращения оттяжных валов, выраженная через передаточные отношения шестерен K_p .
6. Установлена обратная зависимость, позволяющая регулировать режимы вязания полотна от заданных структурных параметров.
7. Исследование физико-механических показателей образцов, проведенные с помощью компьютерно-диагностического комплекса «Диаморф» позволили установить, что все разработанные полотна основвязаного трикотажа, выработанные из титановых нитей диаметром 60 мкм удовлетворяют требованиям медицины по разрывным характеристикам, растяжимости, прочности и пористости материала.

8. Установлено, что структуры полотен разработанных переплетений, выработанные из титановых нитей диаметром 40 мкм соответствуют сверхлегким сетчатым материалам.

3 РАЗРАБОТКА КУЛИРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭНДОПРОТЕЗОВ ИЗ ТИТАНОВЫХ НИТЕЙ

Кулирная технология выработки отличается от основовязаной тем, что имеет поперечный способ образования структуры из одной нити H_1 [1.14], рисунок 3.1

На рисунке 3.1 представлена структура трикотажа, образованного с использованием кулирной технологии. Параметры структуры трикотажа характеризуются петельным шагом A и высотой петельного ряда B [1.14].

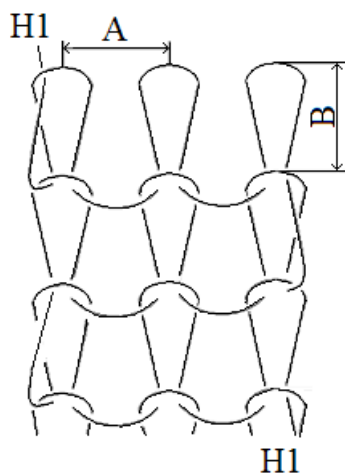


Рисунок 3.1 – Структурное изображение кулирного способа выработки трикотажа

Основным преимуществом кулирной технологии является отсутствие сложной подготовительной операции снования нитей перед процессом вязания. Кроме того, при использовании кулирной технологии, процесс подготовки машины к вязанию более легкий, а рисунчатые и технологические возможности кулирного оборудования более разнообразны, что позволяет не только выработать полотна определенного размера и плотности, но и вывязывать практически любой контур заданного изделия и получать 3d изделия. Также использование кулирной технологии позволяет быстрее и проще менять ассортимент. Все перечисленное делает кулирную технологию более экономичной, так как сокращает расходы сырья на изделия и удешевляет процесс выработки.

Недостатком кулирной технологии является легкость деформирования материала при частичном повреждении структуры. Особенностью использования кулирной технологии для эндопротезирования является необходимость применения регулярного способа выработки изделий соответствующей формы и заданных размеров с закрытием петель последнего ряда.

3.1 Анализ особенностей кулирных переплетений разрабатываемых для использования в эндопротезировании

Рассмотрим особенности и свойства кулирных переплетений с точки зрения возможности их использования в эндопротезировании.

Известно, что любое трикотажное переплетение состоит из элементов структуры трикотажа (ЭСТ) петля, набросок, протяжка, соединяемых между собой в раппорте структуры переплетения. Структура переплетения определяет параметры и свойства будущего изделия. Для возможности использования структуры, разрабатываемой по кулирной технологии выработки в эндопротезировании, структура должна быть гладкой, равномерной, не содержать утолщенных участков, не должна закручиваться, иметь ячеистую конструкцию.

Такой элементарной структурой может быть структура двухизнаночной глади. Раппорт структуры при этом может быть различен, то есть лицевые и изнаночные петли могут чередоваться в любой последовательности.

Классическое двухизнаночное переплетение состоит из чередующихся изнаночных и лицевых петельных рядов [1.3, 1.23,]. Такое переплетение не закручивается ни по петельным рядам, ни по петельным столбикам, так как стремление одного петельного ряда повернуть трикотаж в одном направлении нейтрализуется стремлением другого ряда повернуть полотно в противоположном направлении. На рис.3.2 представлен продольный разрез двухизнаночного трикотажа, в котором лицевые и изнаночные петли чередуются по рядам [1.14]. Изнаночные петли I_1 и I_2 стремятся разогнуться в одну сторону соответственно

по стрелкам S_1 и S_3 , а лицевые петли L_1 и L_2 стремятся разогнуться в другие стороны по стрелкам S_2 и S_4 . В результате точки 1 и 2 трикотажного полотна выйдут из области полотна и создадут рельефность вдоль петельного ряда, а трикотаж при этом укоротится по длине. Полученная рельефность, расположенная по горизонтальному направлению полотна нарушит основное требование к медицинским протезам по гладкости полотна.

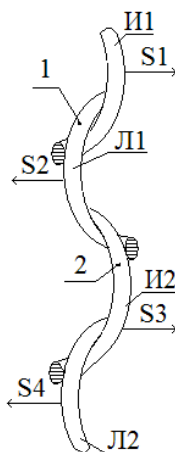


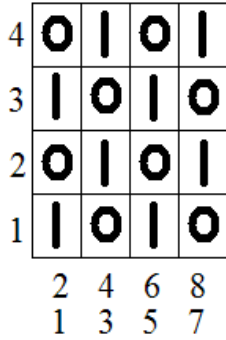
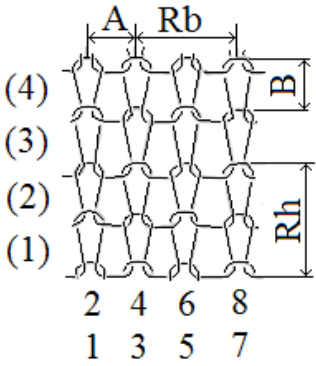
Рисунок 3.2 – Продольный разрез двухизнаночного трикотажа

Для исключения горизонтальной рельефности было предложено использовать чередование лицевых и изнаночных петель не только по петельным рядам, но и по петельным столбикам, например, с раппортами переплетений, представленными в таблице 3.1, варианты 1 и 2, где лицевые петли обозначены в виде палочек – I, а изнаночные в виде кружочков – O.

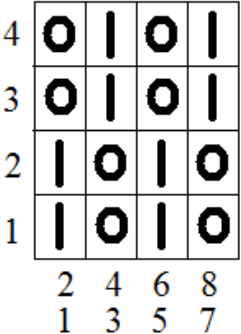
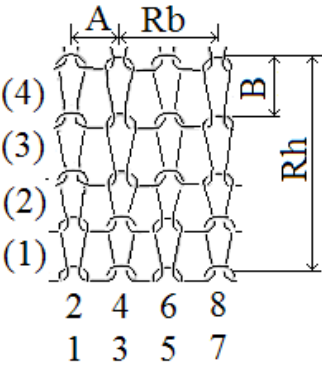
Для определения степени закручиваемости или образования рельефности предлагаемых структур выполним вертикальные и горизонтальные разрезы по петельным столбикам и петельным рядам: рисунки 3.3 а,б и рис. 3.4 соответственно, для вариантов 1 и 2.

Как видим, на вертикальном разрезе полотна рис. 3.3а, с чередованием лицевых и и изнаночных петель И1, Л1и И2, Л2 поочередно по одной, по петельным рядам, возникают моменты М1,М2 и М3,М4 закручивающие лицевые и изнаночные петли полотна, в противоположные стороны, которые будут уравновешиваться, следовательно, закручиваемость полотна по горизонтали будет отсутствовать.

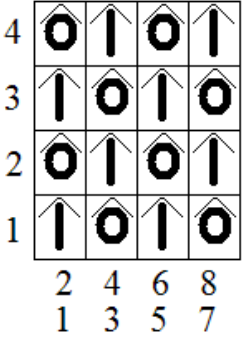
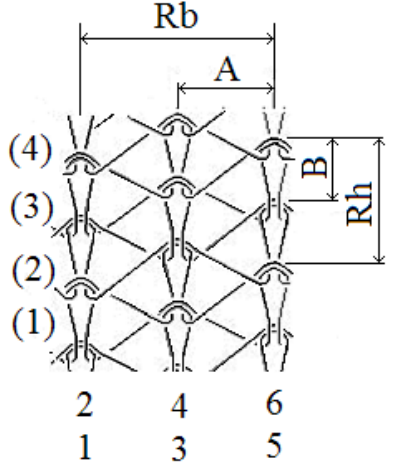
Таблица 3.1 – Структуры трикотажа и описание процессов их выработки

№	Патрон узора	Структура трикотажа	Описание процесса ПО для раппорта структуры
1	2	3	4
1			$\begin{cases} AC_{11} = Z_1 * A P_1 * K_1; \\ AC_{14} = Z_1 * A P_1 * K_1 \end{cases}$ $\begin{cases} \tilde{N}_2 = \frac{\tilde{N}_{2,2}}{\tilde{N}_{2,1}} = \frac{Z_2 * A P_1 * K_2}{Z_0 * O P_0 * K_2} \uparrow; \\ \tilde{N}_2 = \frac{\tilde{N}_{2,4}}{\tilde{N}_{2,3}} = \frac{Z_0 * O P_0 * K_2}{Z_2 * A P_1 * K_2} \downarrow \end{cases}$ $\begin{cases} BC_{32} = Z_1 * B P_1 * K_1; \\ BC_{33} = Z_1 * B P_1 * K_1 \end{cases}$ $\begin{cases} \tilde{N}_4 = \frac{\tilde{N}_{4,2}}{\tilde{N}_{4,1}} = \frac{Z_0 * O P_0 * K_2}{Z_2 * B P_1 * K_2} \downarrow \\ \tilde{N}_4 = \frac{\tilde{N}_{4,4}}{\tilde{N}_{4,3}} = \frac{Z_2 * B P_1 * K_2}{Z_0 * O P_0 * K_2} \uparrow \end{cases}$

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
2			$\begin{cases} AC_{11} = Z_1 * A P_1 * K_1; \\ AC_{14} = Z_1 * A P_1 * K_1; \end{cases}$ $\begin{cases} BC_{21} = Z_1 * B P_1 * K_1; \\ BC_{24} = Z_1 * B P_1 * K_1; \end{cases}$ $\begin{cases} \tilde{N}_3 = \frac{\tilde{N}_{3,2}}{\tilde{N}_{3,1}} = \frac{Z_2 * B P_1 * K_2}{Z_0 * O P_0 * K_2} \uparrow \\ \tilde{N}_3 = \frac{\tilde{N}_{3,4}}{\tilde{N}_{3,3}} = \frac{Z_0 * O P_0 * K_2}{Z_2 * B P_1 * K_2} \downarrow \end{cases}$ $\begin{cases} CC_{42} = Z_1 * C P_1 * K_1; \\ CC_{43} = Z_1 * C P_1 * K_1 \end{cases}$ $\begin{cases} DC_{52} = Z_1 * D P_1 * K_1; \\ DC_{53} = Z_1 * D P_1 * K_1 \end{cases}$ $\begin{cases} \tilde{N}_6 = \frac{\tilde{N}_{6,2}}{\tilde{N}_{6,1}} = \frac{Z_0 * O P_0 * K_2}{Z_2 * D P_1 * K_2} \downarrow \\ \tilde{N}_6 = \frac{\tilde{N}_{6,4}}{\tilde{N}_{6,3}} = \frac{Z_2 * D P_1 * K_2}{Z_0 * O P_0 * K_2} \uparrow \end{cases}$

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
3			$\begin{cases} AC_{12} = Z_1 * A P_1 * K_1; \\ AC_{13} = Z_2 * A P_2 * K_1; \end{cases}$ $\begin{cases} BC_{21} = Z_2 * B P_2 * K_1; \\ BC_{24} = Z_1 * B P_1 * K_1; \end{cases}$ $\begin{cases} \tilde{N}_3 = \frac{\tilde{N}_{3,2}}{\tilde{N}_{3,1}} = \frac{Z_2 * B P_1 * K_2}{Z_0 * O P_0 * K_2} \uparrow \\ \tilde{N}_3 = \frac{\tilde{N}_{3,4}}{\tilde{N}_{3,3}} = \frac{Z_0 * O P_0 * K_2}{Z_2 * B P_1 * K_2} \downarrow \end{cases}$ $\begin{cases} CC_{41} = Z_1 * C P_1 * K_1; \\ CC_{44} = Z_2 * C P_2 * K_1 \end{cases}$ $\begin{cases} BC_{52} = \mathcal{Y}_2 * B \mathcal{Z}_2 * K_1 \text{ж} \\ BC_{53} = \mathcal{Y}_1 * B \mathcal{Z}_1 * K_1 \end{cases}$ $\begin{cases} \tilde{N}_6 = \frac{\tilde{N}_{6,2}}{\tilde{N}_{6,1}} = \frac{Z_0 * O P_0 * K_2}{Z_2 * D P_1 * K_2} \downarrow \\ \tilde{N}_6 = \frac{\tilde{N}_{6,4}}{\tilde{N}_{6,3}} = \frac{Z_2 * D P_1 * K_2}{Z_0 * O P_0 * K_2} \uparrow \end{cases}$

Чередование лицевых и изнаночных петель вдоль петельных рядов рис.3.3б, приведет к возникновению в головках лицевых Л и изнаночных петлях И усилий S_1 и S_2 , стремящихся выпрямить игольные дуги петель в плоскости полотна к этому будут стремиться и платинные дуги Π_p под действием усилий S_3 , S_4 . Сказанное будет способствовать к минимизации толщины полотна и обеспечения его гладкости.

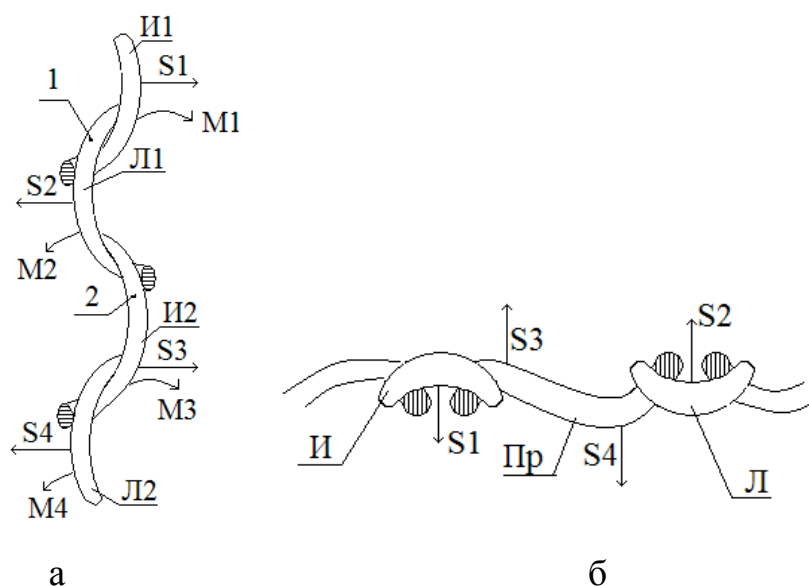


Рисунок 3.3 – Продольные и поперечные разрезы структуры двухизнаночного трикотажа с чередованием лицевых и изнаночных петель по одной по петельным рядам и петельным столбикам

Крутящие моменты (на рисунке 3.3б не указаны), возникающие в каждой из последовательно расположенных лицевых и изнаночных петлях и способствующие закручиванию полотна будут также иметь противоположные направления и, следовательно, уравниваться. Таким образом, разработанная структура двухизнаночного переплетения с чередованием лицевых и изнаночных петель через одну по петельным рядам и петельным столбикам должна обеспечить требуемые незакручиваемость и гладкость.

Рассмотрим вторую разработанную структуру с чередованием лицевых и изнаночных петель по две по петельным столбикам и по одной по петельным

рядам. Разрез этой структуры трикотажа, выполненный по вертикали вдоль петельного столбика представлен на рисунке 3.4.

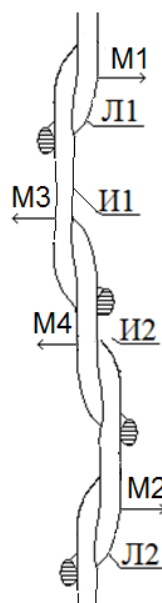


Рисунок 3.4 – Продольный разрез структуры двухизнаночного трикотажа с чередованием лицевых и изнаночных петель по две по петельным столбикам

Как видим лицевые петли Л1 и Л2 будут закручиваться под действием моментов М1 и М2 в одну сторону, а изнаночные петли И1 и И2 будут закручиваться под действием моментов М3 и М4 в другую сторону, что приведет к их уравниванию и не даст закручиваться такому трикотажу вдоль петельных рядов. Однако возможен некоторый заход лицевых петель за изнаночные в плоскости трикотажа, что приведет к нежелательной горизонтальной рельефности в трикотаже. Горизонтальный разрез данного трикотажа полностью соответствует горизонтальному разрезу, представленному на рисунке 3.3б, а, следовательно, вдоль петельных столбиков данный трикотаж также не будет закручиваться.

Приведенные ранее две структуры двойных двухизнаночных переплетений состоят только из элементов петель, но в трикотажных полотнах могут быть использованы помимо петель другие виды ЭСТ, например, наброски.

Патрон узора с отображением получаемых в структуре переплетений ЭСТ представлен в варианте 3 таблицы 3.1. Рисунок получаемой структуры, приведенный также в варианте 3 показывает, что петли, получаемые по петельным столбикам и петельным рядам и имеющие наброски должны быть то лицевыми, то изнаночными, что может быть получено только при их переносе с одной игольницы на другую. Сказанное говорит о том, что базой разрабатываемого прессового переплетения является двухизнаночная гладь, которая обеспечит незакручиваемость полотна. Наличие набросков на каждой петле приведет к некоторому утолщению в зоне игольных дуг петель. При рассмотрении структуры переплетения можно заметить, что ячейки на полотне, вероятно, будут ограничиваться протяжками набросков, при этом ячейки будут иметь ромбовидную форму и делиться петлями на два треугольника (таблица 3.1, вариант 3). Как можно заметить, по патрону узора, для получения надежной незакручиваемости, наброски образуются как и петли, то на одной, то на другой игольнице, что должно дополнительно обеспечивать вертикальное положение петель и незакручиваемость структуры, таким образом, разработанную третью структуру трикотажа, получаемую на базе двухизнаночного прессового трикотажа, можно также отнести к группе гладких ячеистых структур.

На первый взгляд все три достаточно простые разработанные структуры весьма сложны по технологии выработки, так как для их вязания требуется не только образование элементов петель, но и изменение их вида: изменение лицевой петли на изнаночную и обратно, а также для третьего полотна соединение петли с наброском. Такое изменение может быть выполнено только за счет процесса переноса петли с одной игольницы на другую.

Таким образом, для выработки таких структур трикотажа используемая вязальная машина должна иметь:

- а) две игольницы;
- б) механизм переноса ЭСТ с одной игольницы на другую и обратно.

Таковыми возможностями обладают современные плосковязальные машины с электронным отбором игл.

3.1.1 Проектирование процессов выработки кулирных трикотажных полотен, рекомендуемых для использования в эндопротезировании

При разработке процессов вязания структур кулирного трикотажа, для сокращения описания процессов петлеобразования (ПО), воспользуемся логико-аналитическим методом, разработанным проф. Колесниковой Е.Н. [3.2, 1.16,1.37].

Прежде чем выполнять математическое описание процессов ПО [1.43], опишем используемые в формулах обозначения.

Для язычковых игл, используемых на плосковязальных машинах, определяющими операциями ПО являются операции заключения Z_δ , прокладывания P_σ и кулирования K_λ рисунок 3.5а,б.

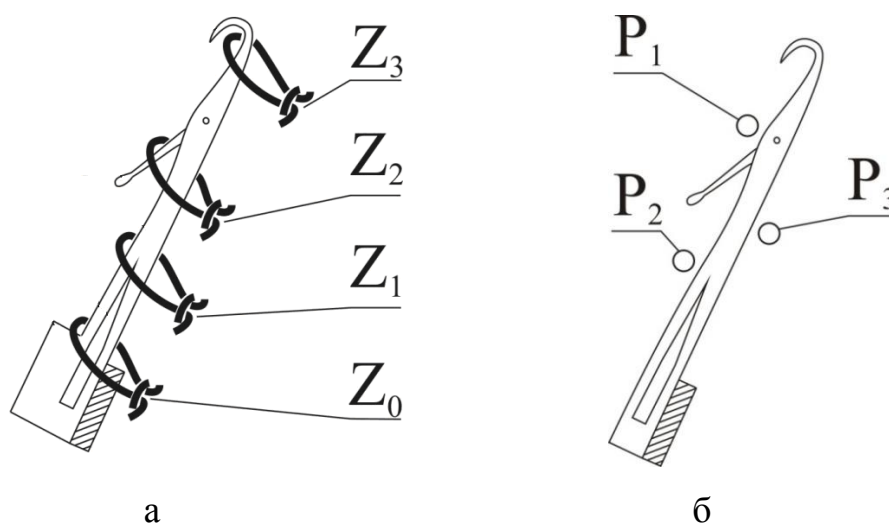


Рисунок 3.5 – Операции заключения и прокладывания на язычковой игле

Известно, что уровень заключения рис.3.5а -это уровень поднятия иглы над отбойной плоскостью в процессе ПО. На современных плосковязальных машинах используется замковая система, управляющая высотой подъема игл в процессе ПО. Иглы имеют четыре уровня подъема (уровня заключения) и, соответственно, операция заключения Z_δ может выполняться в четырех вариантах [1.18].

Z_1 – уровень заключения, при котором игла поднимается так, чтобы ЭСТ, образованный в предыдущем цикле ПО, сошел с открытого язычка иглы на ее стержень. При этом прокладывание новой нити осуществляется под крючок иглы.

Z_2 – уровень неполного заключения, при котором ЭСТ, проложенный в предыдущем цикле, не сходит с открытого язычка иглы, новая нить также прокладывается под крючок в зону открытого язычка иглы, таким образом исключается сброс ЭСТ, образованного в предыдущем цикле ПО на новую нить, что приводит к образованию из новой нити на игле наброска.

Z_3 – уровень без заключения, при котором игла с ЭСТ, образованным в предыдущем цикле ПО и находящимся под крючком, остается без изменения, а новая нить прокладывается за спинку иглы.

Z_0 – максимальный уровень заключения, используемый для выполнения процесса переноса ЭСТ на иглу противоположной игольницы;

В зависимости от высоты уровня заключения, операция прокладывания может выполняться тремя способами рис.2.5б:

P_1 – прокладывание нити под крючок иглы;

P_2 – прокладывание нити на стержень иглы;

P_3 – прокладывание нити за спинку иглы;

OP_0 – отсутствие прокладывания нити на иглу.

Прокладывание нити под крючок иглы, всегда приводит к образованию петли или наброска, в зависимости от высоты подъема иглы. Прокладывание нити на стержень иглы, приводит к образованию наброска или протяжки. Прокладывание нити за спинку иглы приводит всегда к образованию протяжки.

Операция кулирования имеет два варианта выполнения:

K_1 – кулирование выполняется. (используется для получения в трикотаже петель или набросков, образующихся из нити, проложенной в предыдущем цикле ПО);

Величина кулирования влияет на размер получаемого ЭСТ;

K_2 – кулирование не выполняется (условие получения наброска, образующегося из нити, проложенной в текущем цикле ПО);

Как известно, вид образуемых структурных элементов зависит не только от изменения одной из операций ПО выполняемого процесса, но и от процесса ПО, используемого в предыдущих циклах на той же игле или на соседних иглах.

Формулы процессов получения различных ЭСТ, выполняемых на язычковых иглах, в общем виде можно записать:

$$WC_{ij} = Z_{\delta} * W P_{\sigma} * K_{\lambda}, \quad (3.1)$$

где: W – множество видов используемых нитей;

Z_{δ} , P_{σ} , K_{λ} - множество вариантов выполнения процессов заключения, прокладывания и кулирования соответственно.

C_{ij} – процесс ПО, выполняемый в цикле i , на игле j .

Для трех разработанных структур трикотажа запишем необходимые процессы ПО в таблицу 3.1. Запись процессов выполним для каждой иглы, участвующей в раппорте переплетения и для каждого петельного ряда раппорта.

Так структура переплетения по варианту 1 образуется в двух петельных рядах за четыре цикла ПО при интерлочной расстановке игл.

Циклом ПО называется совокупность операций, выполняемых в одной вязальной системе, обеспечивающей либо образование новых ЭСТ на иглах, либо совокупность дополнительных операций, выполняемых с ЭСТ, находящихся на иглах [1.16].

Для варианта 1, в первом петельном ряду, в первом цикле ПО C_{1j} на иглах 1 и 4 образуются, соответственно, лицевая и изнаночная петли из нити А. Во втором цикле C_{2j} осуществляется дополнительная технологическая операция петлепереноса, соответственно, с игл 1 и 4 на иглы 2 и 3. Отметим, что иглы с четными номерами принадлежат дополнительной (задней) игольнице, что приводит к образованию на них изнаночных петель, а иглы с нечетными номерами принадлежат основной (передней) игольнице, что приводит к образованию на них петель лицевого типа. Во втором ряду, в третьем цикле ПО C_{3j} , петли образуются на иглах 2 и 3 с последующим их переносом в дополнительном четвертом технологическом цикле C_{4j} на иглы 1 и 4. Для записи процесса переноса используется дробь, где в числителе записывается процесс,

выполняемый на иглах задней игольницы, а в знаменателе процесс, выполняемый на иглах передней игольницы. Для облегчения чтения записи процесса, вертикальными стрелками указывается направление переноса ЭСТ. Горизонтальные стрелки при ластичной расстановке, указанные между процессами будут указывать направление и величину сдвига, если они необходимы. Процессы приведенные в таблице 3.1 выполняются при интерлочной расстановке игл, что исключает сдвиги игольниц для выполнения процессов переноса на парные иглы.

Таким образом, разработанный процесс ПО для варианта 1 обеспечивает получение раппорта переплетения по высоте и ширине, содержащего одну лицевую и одну изнаночную петли, расположенные в шахматном порядке.

Для получения раппорта переплетения структуры по варианту 2 требуется уже шесть циклов ПО, четыре из которых 1,2,4 и 5 предназначены для получения ЭСТ: изнаночных и лицевых петель на соответствующих иглах, а 3 и 6 предназначены для переноса ЭСТ с игл задней и передней игольниц, расстановка игл интерлочная.

Для получения раппорта переплетения по варианту 3 требуется аналогично второму варианту шесть циклов ПО, из которых 1,2,4 и 5 предназначены для образования ЭСТ петель и набросков на соответствующих иглах, а в 3 и 6 циклах осуществляется перенос ЭСТ с указанием типа перенесенной нити и номера иглы, с которой переносится ЭСТ, образованный ранее на этой игле. Расстановка игл также интерлочная.

Следует отметить, что вариант структуры 2 не имеет существенных отличий от варианта 1, а дает лишь дополнительную рельефность, что не является необходимым при разработке эндопротезов, поэтому в дальнейшем исследования будем проводить только для вариантов структур 1 и 3.

Особенности разработанных процессов для выработки двух вариантов гладких кулирных ячеистых полотен, предназначенных для изготовления эндопротезов, необходимо апробировать при их вязании на плосковязальных

машинах с электронным управлением, обладающих широкими технологическими возможностями [1.20].

3. 2 Апробация разработанных процессов петлеобразования и исследование свойств кулирных гладких ячеистых полотен

Апробация разработанных процессов ПО для выработки гладких кулирных ячеистых полотен производилась на плосковязальной машине Vesta 130E 7 класса. Образцы двух разработанных структур (варианты 1 и 3, таблица 3.1) вырабатывались из специально подготовленной комбинированной титановой нити линейной плотностью 35Текс в один и два конца.

В процессе апробации определялись установочные параметры процессов: глубина кулирования, скорость оттяжки, скорость движения каретки. Натяжение подаваемой нити выполнялось с помощью фурнисера, вращающегося с постоянной скоростью [1.29, 1.31].

Для получения лицевых и изнаночных петель одного размера глубины кулирования на обеих игольницах выставлялись и изменялись в соответствии с таблицей 3.2. Скорость движения каретки и вращения оттяжных валов изменялись в соответствии с таблицей 3.2

Исходные установочные параметры при выработке экспериментальных сверхлегких кулирных полотен трикотажа переплетением двухизнаночная гладь приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.2 - Экспериментальные установочные данные процесса ПО

Параметр	Значение параметра			
Глубина кулирования на обеих игольницах, h_k , мм	2	2,5	3	4
Скорость движения каретки, V_k , м/с	0,3	0,4	0,5	0,6

Скорость вращения оттяжных валов, n, мин ⁻¹	28	30	32	34
---	----	----	----	----

Таблица 3.3 – Исходные установочные параметры

№ вар	h _к , мм	V _к , м/с	n, мин ⁻¹
1	2	0,3	28
2		0,4	28
3		0,5	30
4		0,6	30
5	2,5	0,3	30
6		0,4	30
7		0,5	32
8		0,6	32
9	3	0,3	32
10		0,4	32
11		0,5	34
12		0,6	34
13	4	0,3	32
14		0,4	32
15		0,5	34
16		0,6	34

Для структуры прессового переплетения на базе двухизнаночной глади, необходимо было дополнительно отработать режимы вязания по скорости вращения оттяжных валов.

В отличие от переплетения двухизнаночная гладь, в прессовом переплетении остовы петель с набросками образуются за два цикла ПО, то есть в первом цикле ПО образуются петли, а в следующем цикле ПО образуются наброски, при этом петли удерживаются на иглах и должны также оттягиваться оттяжными валами. Для оттяжки петель с наброском требуется большее усилие, чем для оттяжки только петель.

Для обеспечения стабильного процесса ПО необходимо было подобрать условия оттяжки для вязания прессового переплетения при различных значениях глубины кулирования и скорости вязания. Экспериментальные данные по отработке процесса ПО для прессовых переплетений на базе двухизнаночной глади представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты эксперимента по определению значений величины оттяжки для разработанных прессовых переплетений на базе двухизнаночной глади

№	Глубина кулирования	Скорость движения каретки	Скорость вращения оттяжных валов	Дефекты
1	2	3	4	5
1	2	0,4	30	Обрыв нити по всей ширине образца
2	2	0,4	40	Обрыв нити по всей ширине образца
3	2	0,4	50	Обрыв нити по всей ширине образца
4	2	0,4	60	Обрыв нити по всей ширине образца
5	2,5	0,4	30	Оттяжка недостаточная, набор петель на иглы

6	2,5	0,4	40	Оттяжка недостаточная, набор петель на иглы только в центре образца
7	2,5	0,4	50	Нет дефектов
1	2	3	4	5
8	2,5	0,4	60	Обрыв нитей на краевых петлях
9	3	0,4	30	Оттяжка недостаточная, набор петель на иглы в центре образца
10	3	0,4	40	Нет дефектов
11	3	0,4	50	Нет дефектов
12	3	0,4	60	Обрыв нитей на краевых петлях
13	4	0,4	30	Оттяжка недостаточная, набор петель на иглы в центре образца
14	4	0,4	40	Оттяжка недостаточная, набор петель на иглы в центре образца
15	4	0,4	50	Нет дефектов
16	4	0,4	60	Нет дефектов

В ходе эксперимента установлено, что глубина кулирования $h_k=2$ мм, является недостаточной для выработки прессовых переплетений на базе двухизнаночной глади и вызывает обрыв нити по всей ширине образца.

Скорость вращения оттяжных валов $V_{от}$, мин^{-1} , необходимо увеличивать с увеличением глубины кулирования. Наименьшее количество дефектов на полотне трикотажа при глубине кулирования $h_k= 2,5$ мм, было получено при увеличении скорости вращения оттяжных валов до 50 мин^{-1} , при глубине кулирования $h_k= 3$ мм, от 40 до 50 мин^{-1} , и при глубине кулирования $h_k=4$ мм, от 40 до 60 мин^{-1} .

Образцы, выработанные при глубине кулирования $h_k=3$ и 4 мм, были не стабильными по своей структуре.

Таким образом, в результате экспериментов было установлено, что дефекты на трикотаже прессового переплетения отсутствовали при вязании

образцов только при глубине кулирования $h_k=2,5$ мм при скорости вращения оттяжных валов $V_{от}=50$ мин⁻¹, при $h_k=3$ мм при скорости вращения оттяжных валов $V_{от}=40-50$ мин⁻¹ и при $h_k=4$ мм при скорости вращения оттяжных валов $V_{от}=50-60$ мин⁻¹.

Для использования образцов трикотажа, выработанных по кулирной технологии на базе двухизнаночной глади и прессовых переплетений в эндопротезировании необходимо определить параметры полотен, выработанных при разных режимах вязания [1.39].

При определении параметров образцов разработанных структур: петельного шага A , высоты петельного ряда B , длины нити в петле l , площади ячейки S , использовался компьютерный диагностический комплекс «Диаморф» [6.4]. Пример производимых замеров параметров A , B , длины нити в петле l , площади ячейки S для трикотажа двухизнаночных переплетений представлен на рисунке 3.6, и для прессовых переплетений на рисунке 3.7.

Каждый из параметров трикотажа замерялся в разных местах полотна 10 раз, определялось их среднее значение, которое занесено в таблицу 3.5 для двухизнаночного и таблицу 3.6 для прессового трикотажа.

Как видим из таблицы 3.5 с увеличением глубины кулирования увеличивается длина нити в петле, но площадь ячейки, расположенной между двумя петлями уменьшается.

Причем увеличение глубины кулирования на 2 мм приводит к увеличению длины петли всего на 1 мм, что можно объяснить увеличением перетяжки нити из предыдущей петли в петлю, образующуюся на кулирующей игле.

Для определения процента перетяжки Π при кулировании петли воспользуемся формулой:

$$\Pi = \frac{(l_{пр} - l)100}{l_{пр}} = \frac{\Delta l}{l_{пр}} 100, \% \quad (3.2)$$

где $l_{пр}$ – длина нити, получаемая иглой при кулировании;

l – длина нити в полотне;

Δl – величина изменения длины петли после операции формирования, определяющей длину петли.

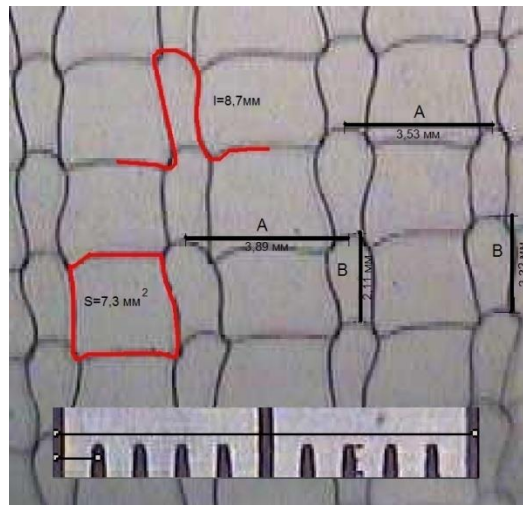


Рисунок 3.6 – Изображение увеличенной структуры переплетения двухизнаночная гладь с указанием размеров

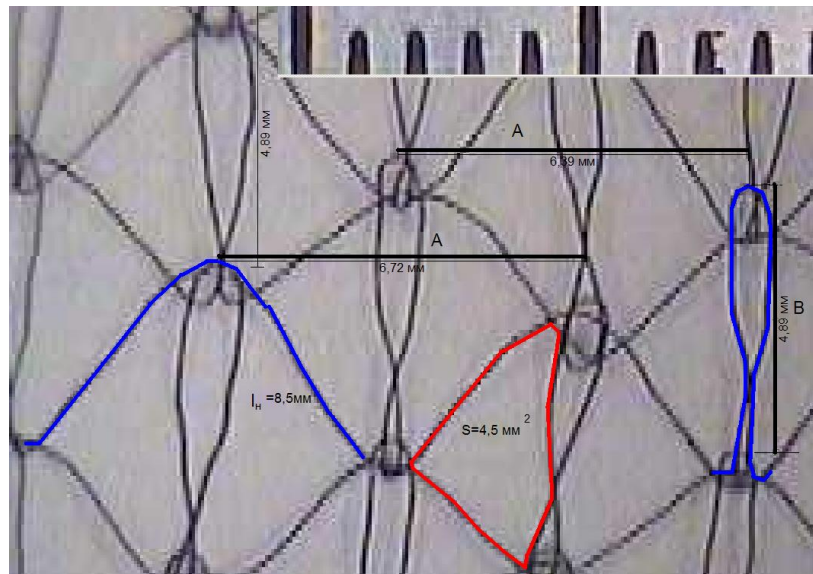


Рисунок 3.7 – Увеличенное изображение структуры прессового трикотажа

Таблица 3.5 – Параметры структуры трикотажа, выработанного по варианту 1, табл.3.1

№	Глубина кулирования $h_k, \text{мм}$	Петельный шаг $A, \text{мм}$	Высота петельного ряда $B, \text{мм}$	Длина нити в петле $l, \text{мм}$	Площадь ячейки $S, \text{мм}^2$	Пористость $P, \%$	Поверхностная плотность $\rho = \frac{l\pi d^2 \gamma 10^3}{4AB}, \text{г/м}^2$
1	2	3,6	2,4	8,9	7,36	93,8	13,4
2	2	3,55	2,45	8,8	7,34	93,9	13,2
3	2	3,55	2,4	8,85	7,35	93,77	13,5
4	2	3,6	2,5	8,9	7,4	93,9	13,2
5	2,5	3,5	2,8	9,2	7,32	94,4	12,2
6	2,5	3,46	2,76	9,16	7,29	94,4	12,4
7	2,5	3,51	2,76	9,18	7,3	94,3	12,3
8	2,5	3,48	2,75	9,2	7,3	94,2	12,5
9	3	3,4	3,2	9,5	7,27	94,8	11,3
10	3	3,35	3,18	9,45	7,31	94,7	11,5
11	3	3,37	3,16	9,48	7,3	94,6	11,6
12	3	3,4	3,18	9,5	7,25	94,7	11,4
13	4	3,3	3,5	9,9	7,22	94,9	11,1
14	4	3,26	3,47	9,87	7,18	94,8	11,4
15	4	3,3	3,5	9,9	7,2	94,9	11,1
16	4	3,28	3,49	9,85	7,15	94,8	11,1

Таблица 3.6 – Параметры структуры прессового трикотажа, выработанного на базе двухизнаночной глади

№ вариант	Глубина кулирования $h_k, \text{мм}$	Петельный шаг $A, \text{мм}$	Высота петельного ряда $B, \text{мм}$	Длина нити в петле $l, \text{мм}$	Длина наброска $l_n, \text{мм}$	Площадь ячейки $S, \text{мм}^2$	пористость $P, \%$	Поверхностная плотность $\rho, \text{г/м}^2$
1	2,5	3,21	5,21	11,3	9,2	4,73	92,65	15,93
2	2,5	3,32	5,01	8,71	7,8	4,83	94,04	12,90
3	2,5	3,31	4,89	10,1	8,5	4,56	93,11	14,94
4	2,5	3,22	4,27	9,08	7,7	4,38	92,68	15,86

В свою очередь по геометрической модели процесса кулирования, определим длину нити, получаемую иглой, при кулировании $l_{пр}$, рисунок 3.8

$$l_{пр} = 2 \left(h_k - \frac{d_{нв}}{2} \right) + П_p + \pi \left(\frac{d_{нв} + d_{и}}{2} \right), \quad (3.3)$$

где h_k – глубина кулирования;

$d_{нв}$ – диаметр нити при вязании;

$П_p$ – протяжка, расположенная между игольницами;

$d_{и}$ – диаметр иглы;

В свою очередь протяжка $П_p$ равна,

$$П_p = \sqrt{M^2 + t_{иг}^2},$$

где M – расстояние между игольницами;

$t_{иг}$ – игольный шаг,

$$t_{иг} = \frac{25,4}{K} = \frac{25,4}{7} = 3,63 \text{ мм},$$

Тогда

$$l_{пр} = 2 \left(h_k - \frac{d_{н}}{2} \right) + \sqrt{M^2 + t_{иг}^2} + \pi \left(\frac{d_{н} + d_{и}}{2} \right)$$

Расчеты длины нити в петле при кулировании и процент перетяжки сведем в таблицу 3.6

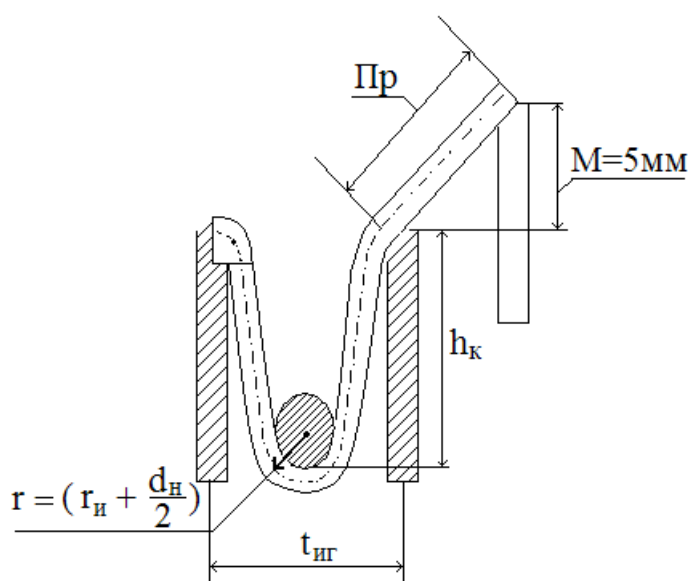


Рисунок 3.8 – Кулирование нити при образовании петель

Таблица 3.7 – Значения длин петель при кулировании и процента перетяжки

№ вар.	Длина петли в полотне l ,мм	Глубина кулирова ния h_k ,мм	Диаметр нити в полотне d_n ,мм	Диаметр сечения иглы, $d_{и}$,мм	Расстояние между игольницами, M ,мм	Игольный шаг $t_{иг}$,мм	Длина нити при образовании петли, $l_{пр}$,мм	Процент перетяжк и, Π ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	8,9	2	0,06	0,6	5	3,63	11,16	20,25
2	8,8	2	0,06	0,6	5	3,63	11,16	21
3	8,85	2	0,06	0,6	5	3,63	11,16	20,7
4	8,9	2	0,06	0,6	5	3,63	11,16	20,25
5	9,2	2,5	0,06	0,6	5	3,63	12,15	24
6	9,16	2,5	0,06	0,6	5	3,63	12,15	24,6
7	9,18	2,5	0,06	0,6	5	3,63	12,15	24,4
8	9,2	2,5	0,06	0,6	5	3,63	12,15	24,3
9	9,5	3	0,06	0,6	5	3,63	13,15	27,7
10	9,45	3	0,06	0,6	5	3,63	13,15	28,1
11	9,48	3	0,06	0,6	5	3,63	13,15	27,9
12	9,5	3	0,06	0,6	5	3,63	13,15	27,8
13	9,9	4	0,06	0,6	5	3,63	15,15	34,6

Продолжение таблицы 3.7								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	9,87	4	0,06	0,6	5	3,63	15,15	34,9
15	9,9	4	0,06	0,6	5	3,63	15,15	34,7
16	9,85	4	0,06	0,6	5	3,63	15,15	35

Анализируя таблицу 3.7 видим, что с увеличением глубины кулирования с 2 до 4 мм перетяжка нити увеличивается с 20% до 35%. Такое увеличение перетяжки нити в процессе кулирования можно объяснить тем, что кулирный клин 3 на машине Vesta 130E не имеет площадки, рисунок 3.9, а кулирующая игла от предыдущей иглы при вязании данной структуры переплетения всегда находится на расстоянии игольного шага $t_{иг}$, который для машины Vesta 130E 7 класса, на которой вырабатывались образцы, равен 3,63 мм. В тоже время игла 1, рис.3.9, начинающая кулировать, находится на высоте h_k от точки К окончания кулирования и удалена по горизонтали от той же точки К на расстояние L, при этом:

$$L = \frac{h_k}{tg \alpha_k}$$

где α_k – угол наклона кулирного клина.

Если при расчете получаем $L < t_{иг}$, то при операции кулирования возможна перетяжка нити из петли, образованной ранее на игле 2. Следующий за кулирным клином выравнивающий клин 4, имеющий в нижней части площадку выравнивает петли структуры полотна, причем при выравнивании структуры может происходить выравнивание не только петель текущего петельного ряда, но и изменение и формирование остовов петель и ячеек предыдущего петельного ряда до определенных размеров, зависящих от длины нити в петле.

На основании проведенных расчетов, сведенных в таблицу 3.7, видим, что перетяжка нити в момент кулирования при глубине $h_k = 4$ мм выполняется дольше, чем при глубине кулирования $h_k = 2$ мм, что может вызвать большую перетяжку нити. Угол наклона кулирного клина α на машине Vesta 130E равен 50° . Скорость движения каретки 0,6 м/с.

Так как с изменением скорости вязания изменится время кулирования, а, следовательно, возможно изменение перетяжки нити из предыдущей петли, за счет изменения времени перетяжки. Для доказательства этого был проведен дополнительный эксперимент по определению перетяжки нити в зависимости от времени кулирования при разной глубине кулирования.

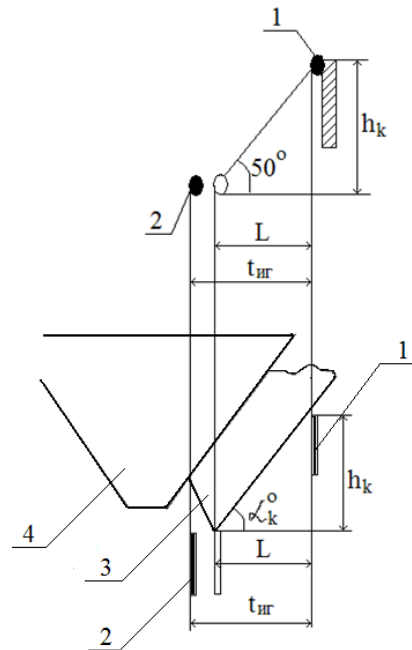


Рисунок 3.9 – Особенности операции кулирования

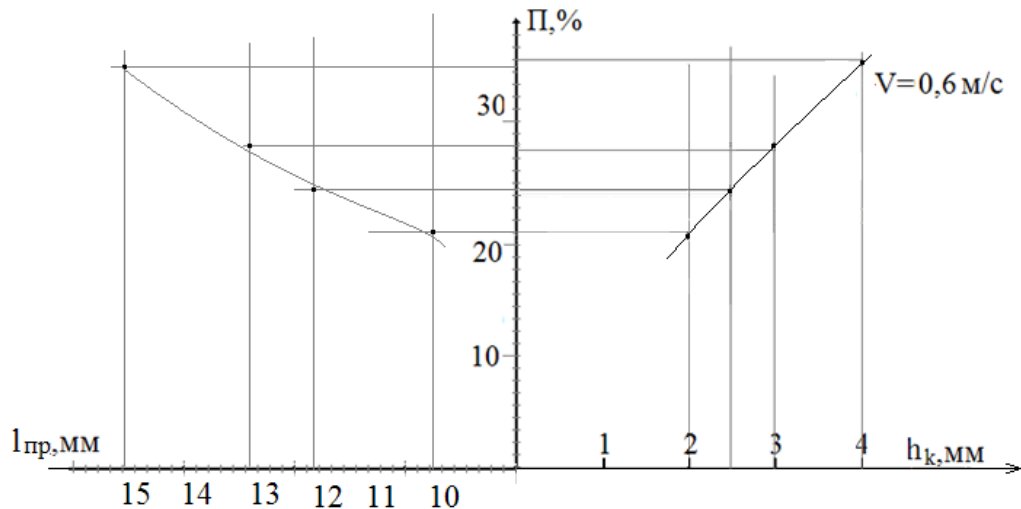
В таблице 3.8 представлены значения времени кулирования в зависимости от скорости вязания.

Таблица 3.8 – Зависимость перетяжки от глубины кулирования

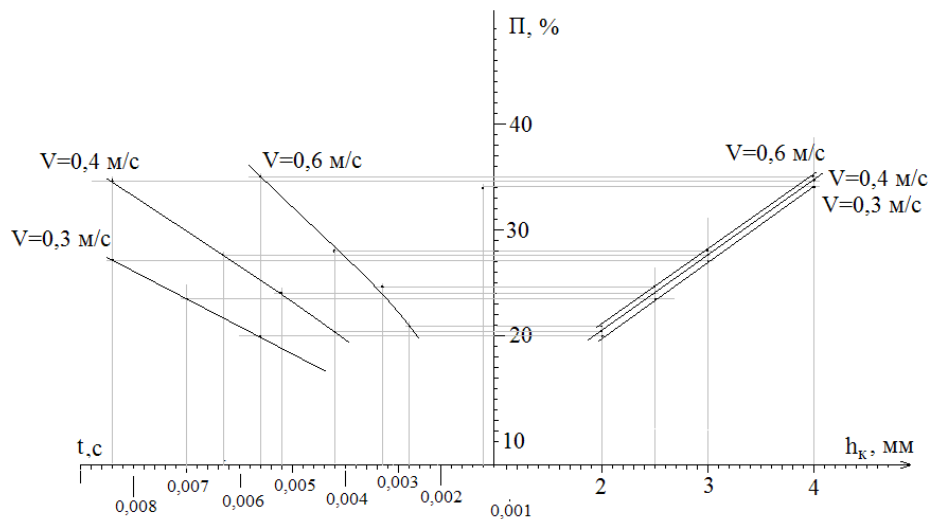
№ вар.	Глубина кулирования $h_k, \text{мм}$	Удаление начала точки кулирования от конца точки кулирования $L, \text{мм}$	Линейная скорость каретки $V, \text{м/с}$	Время кулирования $t, \text{с}$	Процент перетяжки, $P, \%$
1	2	1,68	0,3	0,0056	20,2
			0,4	0,0042	20,5
			0,6	0,0028	20,6
2	2,5	2,1	0,3	0,007	23,8
			0,4	0,0052	24,1
			0,6	0,0035	24,3
3	3	2,52	0,3	0,0084	27,2
			0,4	0,0063	27,6
			0,6	0,0042	27,9
4	4	3,36	0,3	0,0112	34,2
			0,4	0,0084	34,5
			0,6	0,0056	34,8

На основании таблиц 3.7 и 3.8 построим график изменения процента перетяжки в зависимости от глубины кулирования и длины прокладываемой нити (рисунок 3.10а) и график изменения перетяжки нити в зависимости от времени перетяжки, скорости вязания и глубины кулирования рисунок 3.10б.

На основании выполненных графиков рисунок рис.3.10, можно определить возможную перетяжку нити в зависимости от режимов вязания.



а



б

Рисунок 3.10 – Графики изменения процента перетяжки в зависимости от изменения режимов вязания

Для выработанных образцов были определены разрывные характеристики: прочность и растяжимость в продольном и поперечном направлениях, а также была рассчитана пористость материала.

Для определения разрывных характеристик была использована разрывная машина INSTRON 1122 [6.3].

Перед проведением испытаний по определению разрывных характеристик, и растяжимости, образцы подготавливались следующим образом [1.5]:

1) размер образца - не шире захвата губок разрывной машины 5 см.

2) образец расправлялся и помещался в захват разрывной машины. В начальный период одноосного нагружения сохранялась форма петель кулирного трикотажа по всей поверхности;

Методика измерения разрывных показателей полотен, представлена в главе 2.

Образцы испытывались при зажимной длине 100мм, при скорости 200 мм/мин.

Анализ прочностных характеристик выполнялся по диаграммам растяжения [5.1,5.6]. На рисунке 10а б, приложения, представлены диаграммы растяжения, в продольном и поперечном направлениях образца, выработанного переплетением двухизнаночная гладь.

Исследование разрывных характеристик проводилось по экспериментальным образцам, после удаления химической оболочки из комбинированной титановой нити.

Результаты исследований представлены в таблице 3.9.

Анализируя таблицы 3.5, 3.6 и 3.9, можно сделать вывод о том, что представленные образцы, выработанные по кулирной технологии имеют низкую материалоемкость $< 16 \text{ г/м}^2$, и не высокую прочность $< 16 \text{ Н}$, что является недостаточно надежным для изделий медицинского назначения. Для увеличения прочностных характеристик, предлагается использовать комбинированную титановую нить в два сложения. Результаты расчетов показателей поверхностной плотности, и прочности материала, представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.9 – Результаты показателей по определению разрывных характеристик экспериментальных образцов

Образец	Глубина кулирования $h_k, \text{мм}$	растяжимость, %		Прочность, Н/см	
		в продольном направлении	в поперечном направлении	в продольном направлении	в поперечном направлении
Двухизнаночная гладь	2	49,2	63	15	13
	2,5	47,4	63,3	14,7	13
	3	45,8	64,1	15,3	12,3
	4	44,3	64	15	11,8
Прессовое переплетение	2,5	20,6	32	15	14,7

Таблица 3.10 – Результаты расчетов поверхностной плотности и прочности материала

переплетение	Глубина кулирования $h_k, \text{мм}$	Поверхностная плотность $\rho = \frac{l\pi d^2 \gamma 10^3}{4AB}, \text{г/м}^2$	Прочность, Н/см	
			в продольном направлении	в поперечном направлении
Двухизнаночная гладь	2	26,8	30	26
	2,5	24,6	29,4	26
	3	22,8	30,6	24,6
	4	22,2	30	23,6
прессовое	2,5	31,6	30	29,4

Пористость материала при использовании сдвоенной нити почти не изменится, так как нити в петле располагаются друг за другом и практически не имеют захода.

На рисунке 3.11 представлена фотография структуры трикотажа выработанного переплетением двухизнаночная гладь с использованием сдвоенной нити.

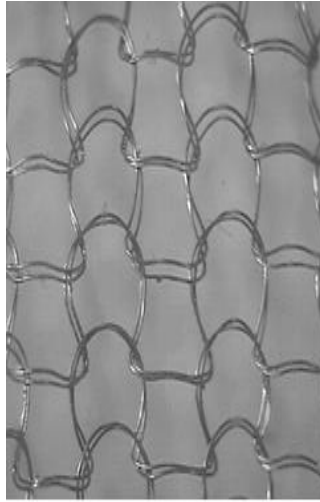


Рисунок 3.11 – Фотографии структуры трикотажа выработанного переплетением двухизнаночная гладь с использованием сдвоенной нити

Теперь рассмотрим изменение формы и размеров ячеек петель на экспериментальных образцах в зависимости от переплетения и условий выработки.

3.2.1 Анализ видов форм и размеров ячеек кулирных гладких полотен

Для оценки вида формы ячеек, образующихся между остовами петель, используем электронный микроскоп компьютерно-диагностического комплекса «Диаморф» [6.4] с определенными вариантами увеличения.

На рисунке 3.12 а,б,в,г представлен коллаж фотографий, выполненных с пятикратным увеличением структуры, для полотен с разной глубиной кулирования, соответственно, $h_k=2; 2,5; 3; 4$ мм, выработанных при равных условиях. Верхний ряд фотографий – структура, выработанная из комбинированной титановой нити, нижний ряд фотографий – внешний вид структуры после удаления химической составляющей из комбинированной титановой нити.

На рисунке 3.12 представлена фотография образца прессового трикотажа, выполненная с пятикратным увеличением. Образец выработан при глубине

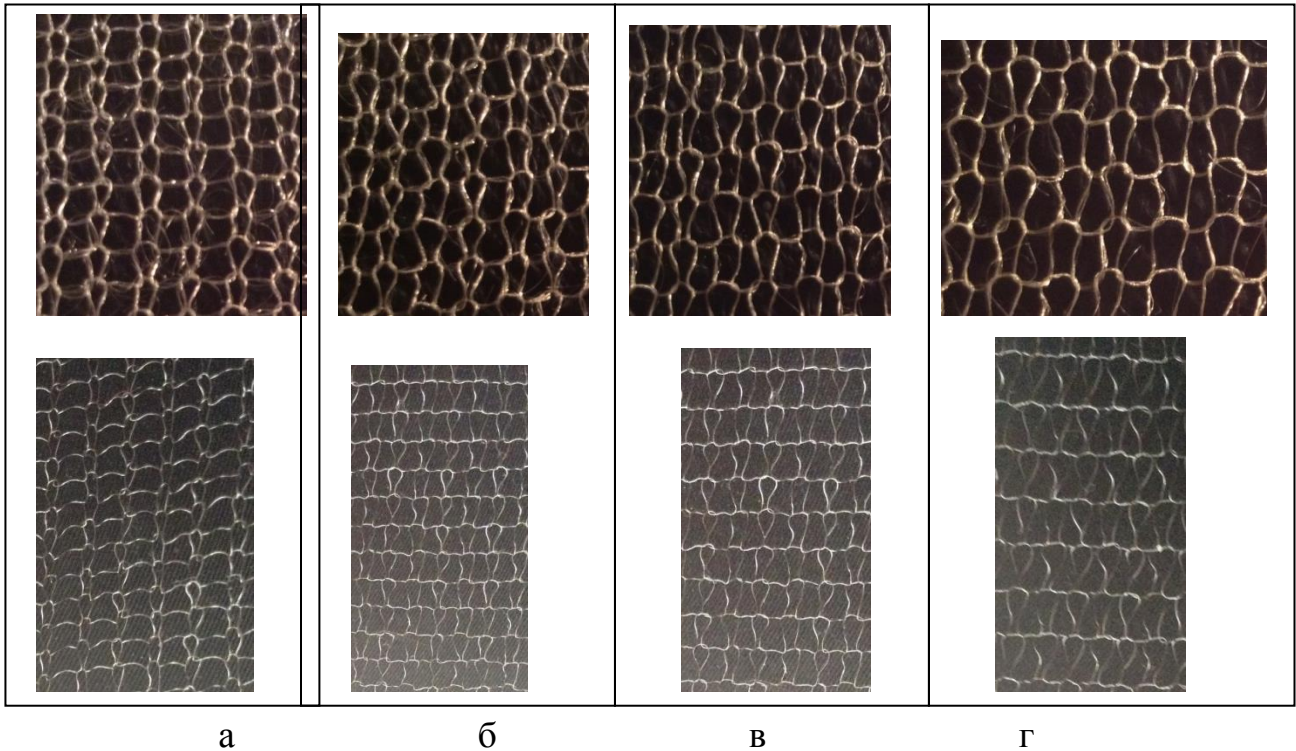


Рисунок 3.12 – Коллаж фотографий полотен двухизнаночного трикотажа, выполненных при одной скорости вязания, но с разной глубиной кулирования

Анализ образцов показывает, что все структуры имеют достаточно равномерные ячейки прямоугольной формы, но с увеличением глубины кулирования изменяется – увеличивается ширина остовов петель, что приводит к уменьшению площади ячеек, образующихся между остовами петель. Интересно отметить, что при глубине кулирования $h_k=4$ мм, рисунок 3.12г, ширина остовов практически равна ширине ячейки, что приводит к образованию ровной ячеистой структуры, образованной из прямоугольных ячеек остовов петель и прямоугольных ячеек между остовами.

Видимо, управляя глубиной кулирования, скоростью движения каретки и скоростью оттяжки можно получать необходимые формы и площади ячеек на полотне.

На рисунке 3.13 представлена фотография образца прессового трикотажа, выполненная с пятикратным увеличением. Образец выработан при глубине

кулирования $h_k=2,5$ мм, при скорости вращения оттяжных валов $V_{от}=50$ мин⁻¹ и скорости движения каретки $V_{кар}=0,6$ м/с.

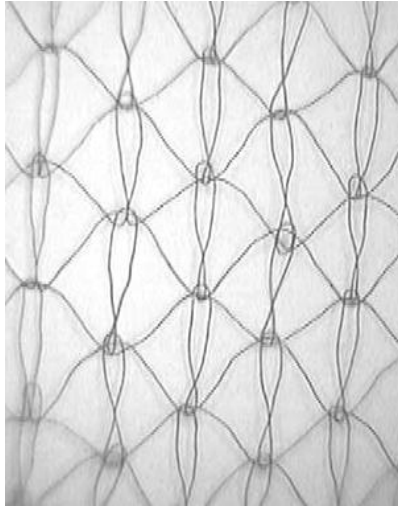


Рисунок 3.13 – Фотография полотна прессового переплетения на базе двухизнаночной глади

Особенностью структуры является перекрещивание палочек остовов петель, что связано с упругостью металлической нити [1.26, 1.6].

Сравнение площадей ячеек трикотажа двухизнаночного и прессового трикотажа (таблицы 3.5 и 3.6), выработанных при одинаковой глубине кулирования, показало, что площадь ячеек двухизнаночного трикотажа на 63% больше чем, площадь ячеек прессового трикотажа.

Для изделий, используемых в эндопротезировании размер пор, то есть свободного пространства, как между остовами петель, так и между петельными столбиками является важнейшей характеристикой. Увеличение размера пор может повысить биосовместимость материала, уменьшение же размера пор способно ухудшить результаты пластики [3.1]. Кроме того известно, что размер пор более 6 мм², по описанию медиков [3.1], может вызывать осложнения, связанные с неоднородностью обрастания материала тканями человека, так как биологически-активные клетки скапливаются по контуру ячейки, вызывая неравномерность ее заполнения.

По материалам, описанным в диссертации Анурова М.В.[3.1], оптимальный размер пор $3\div 6\text{мм}^2$. Разработанные виды переплетений были выработаны на плосковязальном оборудовании 7 класса, в котором достаточно большой игольный шаг $t_{\text{иг}}$ равный 3,6мм и поэтому уменьшение ячеек может быть достигнуто только за счет уменьшения глубины кулирования. Однако, как показали эксперименты, уменьшение глубины кулирования менее 2мм приводит к обрыву перерабатываемой комбинированной титановой нити в момент выполнения операции ее сбрасывания с иглы. Поэтому для уменьшения размеров пор, в изделиях для эндопротезов вырабатываемых переплетением двухизнаночная гладь, можно рекомендовать перейти на оборудование более высоких классов. Так для 10 класса игольный шаг равен 2,54 мм, для 12 класса – 2,11 мм, для 14 класса – 1,8 мм, которые значительно меньше игольного шага для машины 7 класса, что позволит уменьшить размер ячеек. Таким образом параметры структуры: петельный шаг А и высота петельного ряда В, будут уменьшены, что приведет к уменьшению и площади ячеек.

Таким образом, можно дать следующие рекомендации по классам плосковязальных машин, используемых для вязания изделий используемых в эндопротезировании вырабатываемых различными видами переплетений. Для изделий, выработанных на базе двухизнаночных переплетений использовать машины 12,14 классов, для изделий прессовых переплетений - машины 7,10,12 классов.

3.3 Разработка процессов вязания цельновязаных изделий сложной формы, используемых в эндопротезировании

В качестве эндопротезов в медицинской практике часто приходится использовать изделия сложной формы достаточно малых размеров, которые сложно вырезать в процессе проведения операций. Создать такие изделия любых

размеров с нераспускающимися краями, не требующими подкроя, возможно на современных кулирных плосковязальных машинах.

Задача разработки процессов вязания цельновязанных эндопротезов сложной формы, выработанных регулярным способом на плосковязальных машинах, кроме того связана с невозможностью подкроя кулирных полотен. Подкрой кулирных полотен вызывает необратимое разрушение структуры в области обрезаемых краев изделия.

При использовании основовязальной технологии такая задача не ставилась, так как особенностью основовязанных полотен является их нераспускаемость при подрезании, что позволяет вырезать эндопротезы различной формы в зависимости от вида операции.

На сегодняшний день во всех видах эндопротезов, полученных трикотажным способом используются только основовязанные технологии выработки. Для создания эндопротезов сложной плоской или выпуклой формы, получаемых непосредственно на вязальном оборудовании, может быть использована технология вязания цельновязанных изделий [1.3], которая достаточно широко используется для выработки трикотажных изделий на современных плосковязальных машинах.

По сравнению с технологией получения основовязанных полотен с последующим вырезанием из них эндопротезов сложной формы, технология изготовления цельновязанных протезов на плосковязальных машинах позволит исключить из технологического процесса не только операцию вырезания эндопротеза из полотна, что сократит расход дорогостоящего сырья, но также исключит из технологического процесса дорогостоящую операцию сновки нитей на основу, что также удешевит стоимость протеза. Получить эндопротезы выпуклой формы по основовязальной технологии невозможно, а такие эндопротезы необходимы, например, для проведения операции на локтевых, плечевых и коленных суставах и так далее. Кроме того, следует отметить, что при вязании эндопротезов из полотна на краях изделий обязательно образуются

торчащие концы обрезанных нитей, которые могут вызывать неприятные ощущения у больного.

Цельновязаная технология позволит создать гладкие края на изделиях, удобные для крепления во время операции и не вызывающие неприятных ощущений у больного.

Для разработки цельновязаной технологии изготовления эндопротезов необходимо изучить применяемые в настоящее время формы этих изделий и выделить технологические задачи, требующие решения.

3.3.1 Формы эндопротезов, используемых при выполнении различных видов операций

В зависимости от типа проводимой операции, хирургами применяются различные формы эндопротезов [6.1]. Основные используемые формы эндопротезов, применяемые в герниологии представлены на рисунке 3.14. Как видно из рисунка 3.14, по технологическим особенностям выработки данные виды эндопротезов можно разделить на три основные группы:

эндопротезы простых геометрических форм, квадратные, прямоугольные, круглые, овальные; эндопротезы с прорезью и внутренним отверстием; эндопротезы с внутренним отверстием.

Эндопротезы простых форм можно разделить на прямоугольные формы, не требующие дополнительных операций в процессе ПО, и на формы со скругленными краями, для выработки которых необходимо использовать дополнительные технологические операции.

Эндопротезы с прорезью можно разделить по месту расположения прорези. Эндопротезы с боковым видом прорези, которые технологически выполнить сложнее, поэтому при разработке требуется использовать особые приемы. Однако данная форма эндопротеза может быть развернута на 90° и тогда такой протез

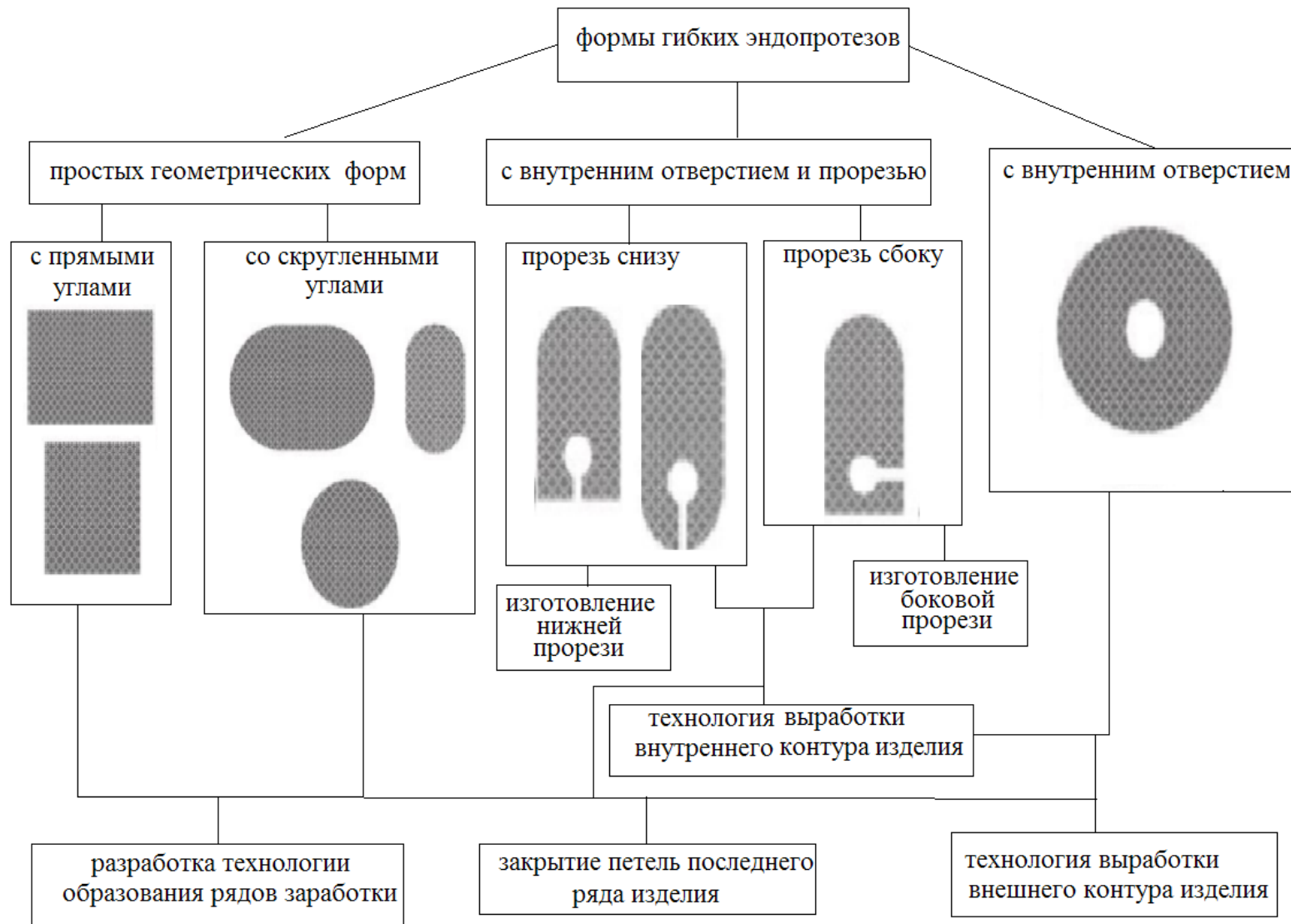


Рисунок 3.14 – Схема видов формы используемых гибких эндопротезов

может быть выработан в соответствии с эндопротезами, прорезь которых находится снизу.

Для разработки всех видов эндопротезов, представленных на рисунке 3.14, необходимо решить общие задачи, такие как разработка способа образования рядов заработка изделия, способ закрытия последнего петельного ряда, а также способ выработки внешнего и внутреннего контуров изделий.

3.3.2 Разработка технологии первого ряда участка заработка при вязании медицинских цельновязаных изделий

При разработке технологии цельновязаных изделий медицинского назначения необходимо обеспечить растяжимость края изделия в соответствии с растяжимостью основного полотна и сохранить на краях изделий соответствующую пористость материала при отсутствии в нем затянутых петель [1.35,1.38].

Для вязания первого ряда участка заработка цельновязаного изделия было принято решение использовать максимально облегченный вид структуры трикотажа, состоящий из элементов ананасного трикотажа, графическая запись которого представлена на рисунке 3.15.

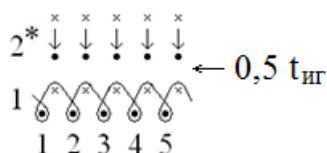


Рисунок 3.15 – Графическая запись ананасного переплетения трикотажа.

Особенность заработка начального петельного ряда выработанного ананасным переплетением, состоит в прокладывании набросков, на иглы

дополнительной игольницы. Наброски прокладываются на все иглы дополнительной игольницы и располагаются в каждом межпетельном промежутке относительно игл основной игольницы. При переносе на иглы основной игольницы, наброски трансформируются в протяжки, связывающие остовы двух соседних петель. Под действием сил упругости перенесенные наброски стремятся распрямиться и раздвигают остовы петель по ширине, тем самым увеличивая способность первого петельного ряда к растяжимости, причем при переносе набросков, петли, расположенные на иглах основной игольницы не затягиваются, а наоборот

перетягивают часть нити из набросков на себя, обеспечивая достаточную пористость первого ряда.

3.3.3 Разработка выполнения операции закрытия края для изделий медицинского назначения

На цельновязаных изделиях сложной формы, имеющих горизонтальные участки в последних рядах, требуется выполнить закрытие петель последнего ряда, исключив их роспуск после сбрасывания изделия с игл. Закрытие петель последнего петельного ряда должно обеспечивать надежное закрепление петель полотна от роспуска.

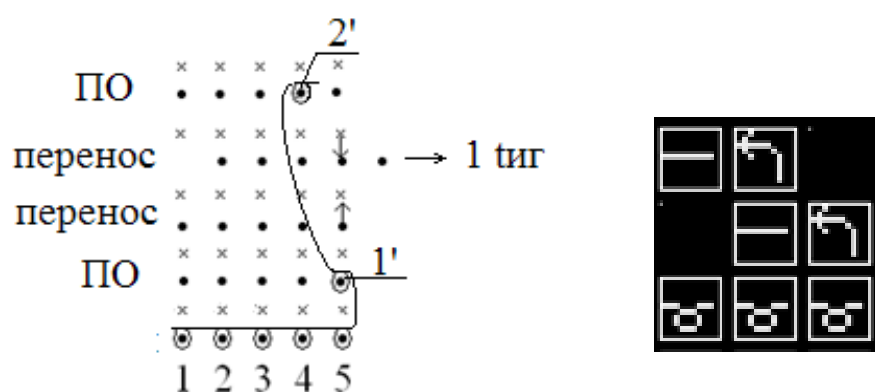
Как правило, операция закрытия края содержит три цикла петлеобразования (рис. 3.17а). Один основной цикл ПО, образование петли 1' провязанной через петлю, расположенную на игле 5 и два дополнительных технологических цикла переноса петли: первый для осуществления операции переноса петли 1' на иглу дополнительной игольницы; второй для осуществления обратного переноса петли 1' на 4 иглу основной игольницы, при сдвиге игольниц друг относительно друга на 1 игольный шаг.

При выполнении повторных действий, в первом цикле ПО новая петля 2' будет провязана через петлю расположенную на игле 4 и перенесенную на нее петлю 1', таким образом, петля 1' будет закрыта.

При таком способе закрытия края петля 1' образуется при направлении вязания справа налево, а петля 2' – при направлении вязания слева направо [1.24, 1.19].

На рисунке 3.16 б, представлен элемент программы вязания с трехцикловым способом закрытия петель. На рисунке 3.16 в, представлено структурное изображение закрытия последнего ряда петель трехцикловым способом.

Для изделий, применяемых в медицине, к последнему (закрываемому) ряду, также как и для первого ряда заработка предъявляется ряд особых требований, таких как отсутствие затянутых петель, снижающих растяжимость трикотажа.



а

б



в

Рисунок 3.16 – Графическая запись, элемент программы вязания и элемент структуры при 3-х цикловом способе закрытия петель

Поэтому для повышения ровноты и эластичности края, в первом цикле петлеобразования следует использовать способ закрытия петель, при котором петли всегда провязываются при одном направлении движения нитовода. Для этого необходимо, после выполнения петлепереноса и перед провязыванием

новой петли, выполнить дополнительный четвертый цикл петлеобразования – отвод нитевода. На рисунке 3.17а,б,в показано соответственно, графическая запись, элемент программы вязания и элемент структуры для вязания которого выполняется закрытие края по этому способу.

Прокладывание нити для образования петель последнего ряда с одной стороны повысит равномерность структуры краевых петель, и облегчит возможность перетяжки нити из остовов петель в протяжки при необходимости растяжения

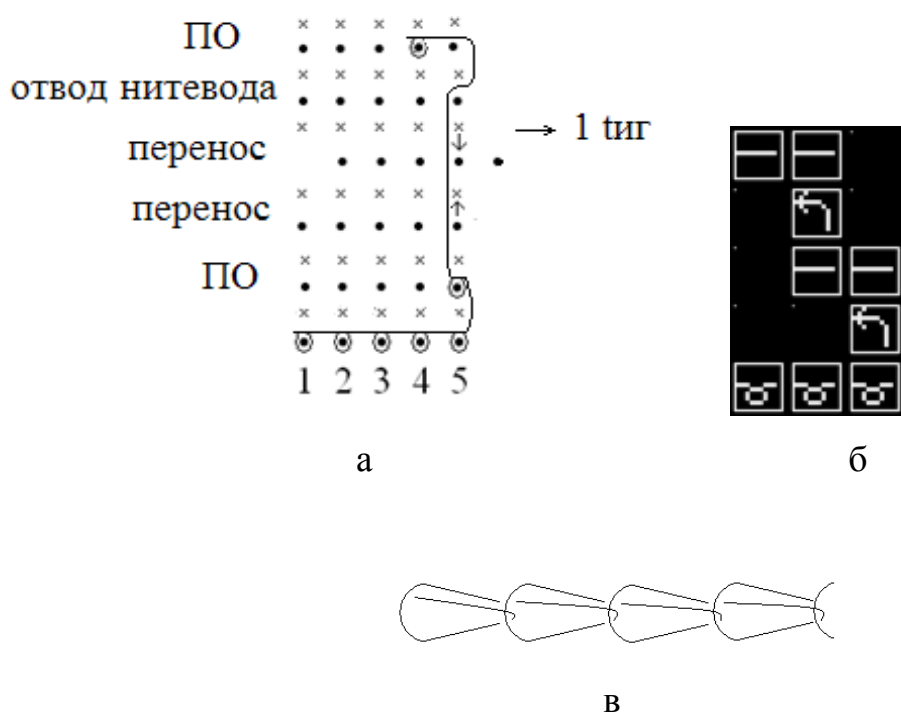


Рисунок 3.17 - Графическая запись, элемент программы вязания и элемент структуры при 4-х цикловом способе закрытия петель

3.4 Разработка технологии выполнения контура цельновязаных изделий

Заданная форма эндопротеза достигается возможностью плосковязального оборудования, изменять ширину вырабатываемого изделия в процессе вязания.

При использовании регулярного способа выработки изделий на современном плосковязальном оборудовании, как правило, применяются два способа изменения ширины изделия:

1. Изменение ширины изделия путем выполнения операций сбавок или прибавок петель за счет:
 - а) уменьшения или увеличения числа работающих игл;
 - б) вязания неполных петельных рядов.
2. Изменение ширины путем применения различных петельных структур на разных участках изделия.

Как было показано ранее важными свойствами разработанных трикотажных материалов, используемых в герниопластике, является незакручиваемость их структуры и низкая материалоемкость полотна. При смене же переплетений на разных участках возможна потеря этих двух свойств, поэтому способ изменения ширины изделий путем смены переплетений считаем неприменимым.

3.4.1 Разработка технологии изменения ширины цельновязаных изделий путем выполнения сбавок петель

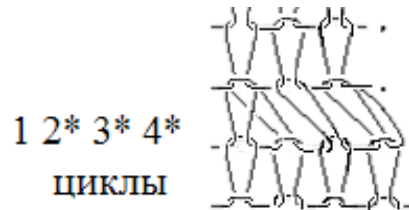
Для выполнения сбавок на разрабатываемых цельновязаных изделиях, воспользуемся известными методами с учетом базовой структуры переплетения.

Сбавки, рисунок 3.18, могут выполняться способом переноса как одной петли, рисунок 3.18 а [1.3], так и переносом группы петель, рисунок 3.18 б [1.3], на соседние иглы в направлении от края полотна, при этом каждая петля переносится на один или максимум на два игольных шага. Графические записи процессов для выполнения сбавок по рисунку 3.18 а,б, представлены, соответственно, на рисунке 3.18 в и г.

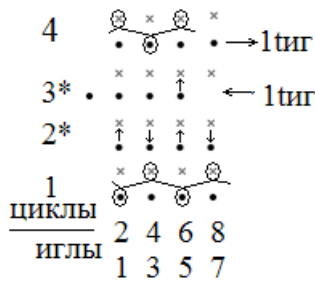
Перенос петель на большее количество игольных шагов за один раз практически не используется (только для высокоэластичных нитей) из-за возможности обрыва переносимых петель.



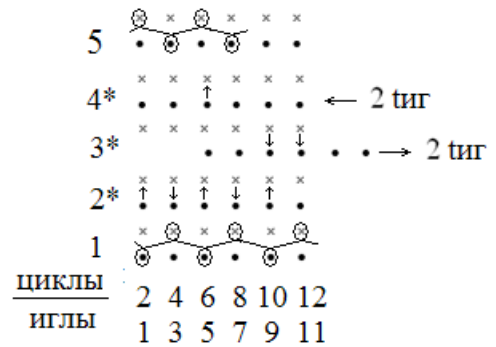
а



б



в



г

Рисунок 3.18 – Способы выполнения сбавок

Особенностью выполнения процесса переноса является возможность выполнения операции сбавки петель только со стороны входа каретки в зону вязания, поэтому процесс сбавки петель одновременно с двух краев изделия (в одном петельном ряду) осуществить невозможно. Таким образом, сбавка петли с каждой стороны изделия осуществляется только один раз за полтора петельных ряда, так как четвертый цикл (рис.3.18в) и пятый цикл (рис.3.18 г) могут быть первыми для выполнения сбавок слева. Однако даже такая сбавка петель не всегда позволяет добиться плавного скругления контура детали. Чтобы получить

изделие или отверстие более округлой формы необходимо выполнять переносы петель сразу на два игольных шага.

Ограничения по количеству игольных шагов, на которое можно переносить петли связано с невозможностью растянуть переносимую петлю более чем на два игольных шага. Перенос на три игольных шага может быть выполнен в редких случаях при условии вязания изделия из высокорастяжимой пряжи, или если переносимые петли в ряду перед переносом провязываются с увеличенной глубиной кулирования, что можно выполнить на машинах типа Vesta 130E при вязании переносимых петель только при отдельном ходе каретки. На машинах типа Stoll вязание переносимых петель, отличающихся глубиной кулирования, может выполняться в одной вязальной системе за один ход каретки.

Следует отметить еще одну особенность выполнения группового переноса петель, связанного с особенностями структуры двухизнаночного переплетения рекомендованного, для эндопротезов. На рисунке 3.18 в представлена графическая запись выполнения сбавки по одной петле, которая включает после процесса переноса, для подготовки провязывания следующего петельного ряда, сдвиг, например, основной игольницы на один игольный шаг $1t_{иг}$ и затем перенос петли с иглы 7 на иглу 6. В результате иглы 7 и 8, расположенные друг под другом будут выключены из работы, при этом сбавка осуществится только одной петли.

На рисунке 3.18 г представлена графическая запись сбавки двух петель. Особенность процесса заключается в том, что при переносе всех петель для подготовки к вязанию не переносится одна крайняя петля, а затем после сдвига на два игольных шага $2t_{иг}$, например, основной игольницы, выполняется перенос двух крайних петель с игл 10 и 12, соответственно, на иглы 5 и 7. Затем выполняется обратный сдвиг основной игольницы и провязывание петельного ряда без участия в работе, ранее работающих игл 9 и 12. В результате выполняется сбавка двух петель. Однако для соответствия раппорту переплетения необходимо выполнить еще один цикл переноса петли с иглы 5 на иглу 6. Следует отметить, что операция сбавки петель всегда выполняется со стороны входа

каретки сразу после провязывания первого ряда петель, что исключает при образовании следующего ряда появление протяжки вдоль выключенных из работы игл.

3.4.2 Разработка технологии изменения ширины изделий путем выполнения прибавок петель

Часто для изменения ширины полотна используется способ прибавки петель, за счет включения в работу ранее неработающих игл. Особенностью данного способа прибавки петель (рисунок 3.19) является возможность ее выполнения только со стороны входа каретки в зону вязания, это связано с тем, что набросок, проложенный по ходу каретки на последнюю иглу, как правило, при обратном ходе каретки сбрасывается. Особенностью переплетения двухизнаночная гладь, разработанного раппорта, является последовательное образование петель вдоль одного петельного ряда и петельного столбика, то на иглах основной, то на иглах дополнительной игольниц, что позволяет выполнять прибавку петель как по одной петле (рисунок 3.19а), так и сразу двух петель за счет прокладывания на входе каретки в зону вязания сразу двух набросков на разных игольницах (рисунок 3.19б). Причем в процессе переноса петель при подготовке вязания следующего ряда, проложенные в соответствии с рисунком структуры наброски в переносе не участвуют. Следует отметить, что технологически проложить наброски можно и на большее число игл, находящихся на противоположных игольницах. Однако осуществить процесс оттяжки проложенных набросков, на машинах с механизмом общей и даже сосредоточенной оттяжками не представляется возможным [1.42]. При провязывании набросков может происходить набор петель, образующихся на выключенных иглах.

Как показали эксперименты, проводимые на машине Vesta 130-Е, при прибавке одновременно двух игл, расположенных на разных игольницах, общей оттяжки достаточно для провязывания новых, образующихся петель на двух прибавленных иглах, рисунок 3.19в.

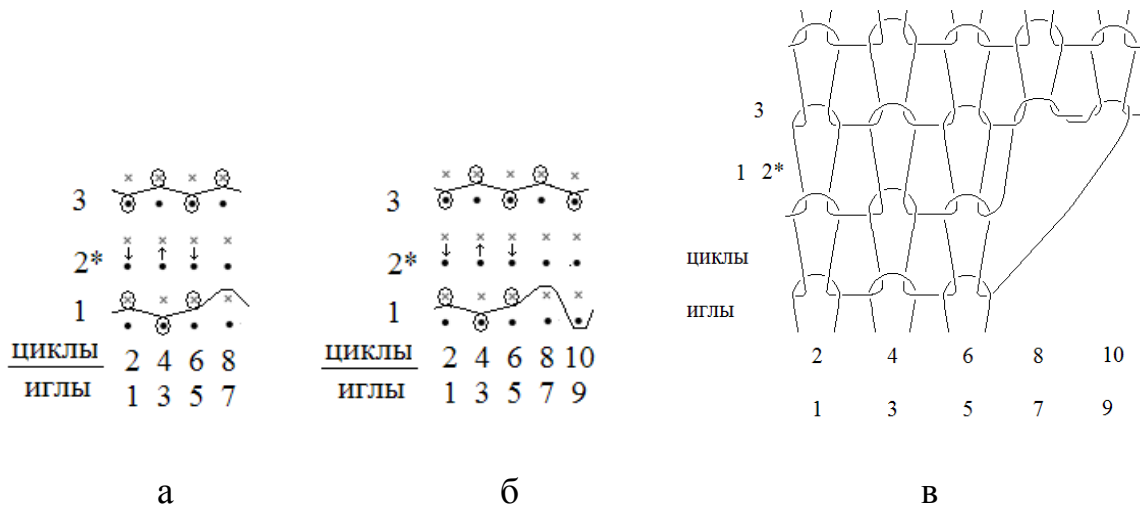


Рисунок 3.19 – Графическая запись технологии прибавки петель способом включения в работу дополнительных игл.

Также процесс одновременной прибавки двух игл с одной стороны можно выполнить с использованием «сплит-петли» [2.6], это обеспечит контролируруемую оттяжку прибавляемых петель, что является особенно важным при вязании изделий из металлических нитей.

Структура «сплит-петли» представлена на рисунке 3.20а, на рисунках 3.20б,в, представлены графические записи способов выполнения прибавки игл с использованием «сплит-петли». Структурное изображение графического процесса, представленного на рисунке 3.20 б, отражено на рисунке 3.20г. Математические записи процессов по графическим записям рисунков 3.20 б,в представлены в таблице 3.11.

Как видим на рисунке 3.20 б, в результате образования «сплит-петли» в первом цикле на игле 6 оказываются две петли, одна из которых «сплит-петля» провязывается через петлю, образованную в предыдущем цикле ПО. Элемент «сплит-петли», который расположен на игле 5, в следующем цикле переносится

на ранее не участвующую в вязании иглу 8. Таким образом, после переноса петель для подготовки вязания следующего ряда в цикле 4, можно включать в работу одну иглу 10 (рисунок 3.20б) или две иглы 10 и 11 (рисунок 3.20в), осуществляя прибавку, соответственно, двух или даже трех петель. При этом петля, образуемая на игле 8, будет иметь стабильную

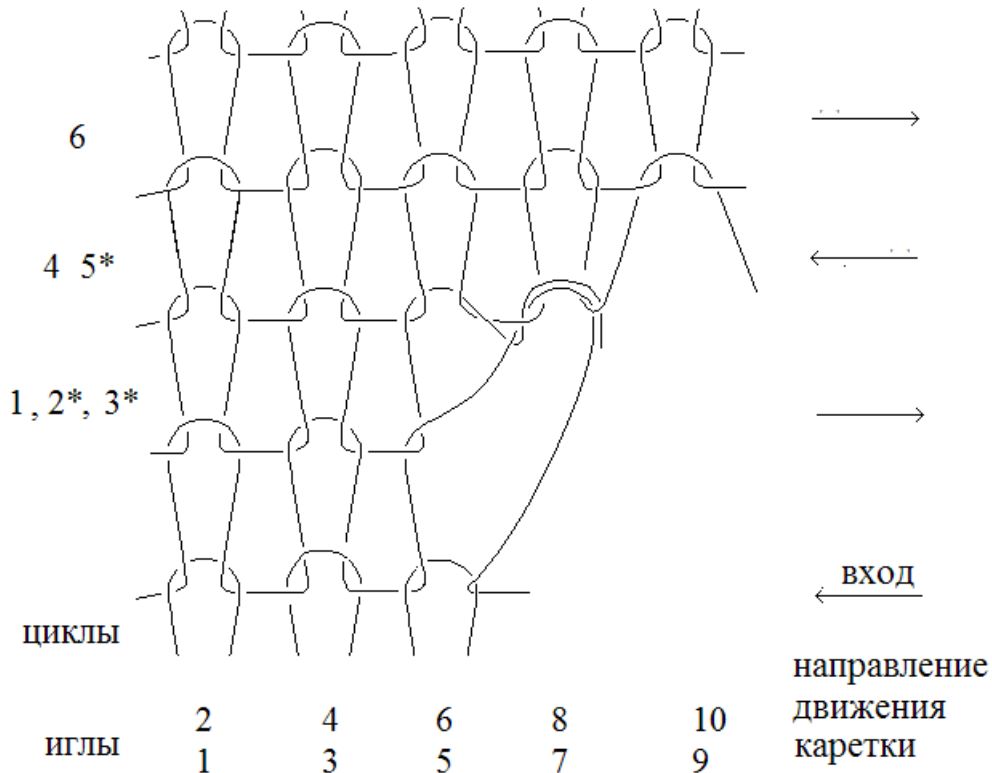
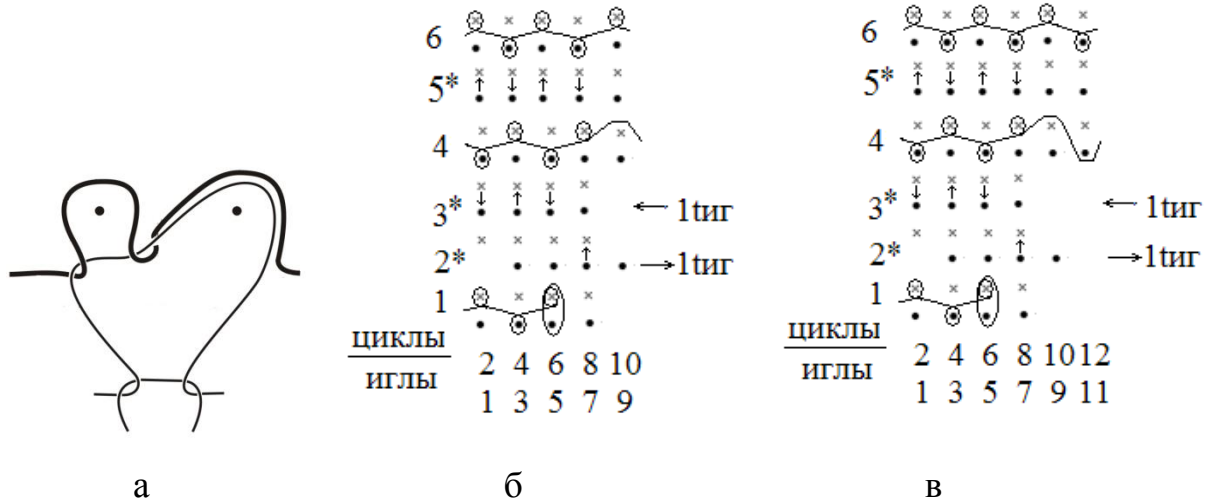


Рисунок 3.20 – Графическая запись технологии прибавки петель с использованием «сплит-петли».

Таблица 3.11 – Запись процессов прибавки с использованием «сплит-петель»

№ ци кла	Математическая запись прибавки петель в соответствии с рис. 3.20б	Математическая запись прибавки петель в соответствии с рис. 3.20в
1	$\begin{cases} AC_{1,2} = AC_{1,3} = Z_1 * AP_1 * K_1 \\ AC_1 = \frac{AC_{1,6}}{AC_{1,5}} = \frac{Z_0 * AP_1 * K_1}{Z_2 * AP_1 * K_1} \end{cases}$	$\begin{cases} AC_{1,4} = AC_{1,3} = Z_1 * AP_1 * K_1 \\ AC_1 = \frac{AC_{1,6}}{AC_{1,5}} = \frac{Z_0 * AP_1 * K_1}{Z_2 * AP_1 * K_1} \end{cases}$
2	$\begin{cases} OC_2 = \frac{OC_{2,8}}{OC_{2,5}} = \frac{Z_2 * AP_1 * K_1}{Z_0 * OP_0 * K_1} \uparrow \\ OC_{2,2} = OC_{2,3} = OC_{2,6} = Z_3 * OP_0 * K_1 \end{cases}$	$\begin{cases} OC_2 = \frac{OC_{2,8}}{OC_{2,7}} = \frac{Z_2 * AP_1 * K_1}{Z_0 * OP_0 * K_1} \uparrow \\ OC_{2,2} = OC_{2,3} = OC_{2,6} = Z_3 * OP_0 * K_1 \end{cases}$
3	$\begin{cases} OC_3 = \frac{OC_{3,2}}{OC_{3,1}} = \frac{OC_{3,6}}{OC_{3,5}} = \frac{Z_0 * OP_1 * K_1}{Z_2 * AP_1 * K_1} \downarrow \\ OC_3 = \frac{OC_{3,4}}{OC_{3,3}} = \frac{Z_2 * AP_1 * K_1}{Z_0 * OP_0 * K_1} \uparrow \\ OC_{3,8} = Z_3 * OP_0 * K_1 \end{cases}$	$\begin{cases} OC_3 = \frac{OC_{3,2}}{OC_{3,1}} = \frac{OC_{3,6}}{OC_{3,5}} = \frac{Z_0 * OP_1 * K_1}{Z_2 * AP_1 * K_1} \downarrow \\ OC_3 = \frac{OC_{3,4}}{OC_{3,3}} = \frac{Z_2 * AP_1 * K_1}{Z_0 * OP_0 * K_1} \uparrow \\ OC_{3,8} = Z_3 * OP_0 * K_1 \end{cases}$
4	$\begin{cases} BC_{4,1} = BC_{4,4} = BC_{4,5} = BC_{4,8} = Z_1 * BP_1 * K_1 \\ BC_{4,10} = Z_2 * BP_1 * K_1 \end{cases}$	$\begin{cases} BC_{4,1} = BC_{4,4} = BC_{4,5} = BC_{4,8} = Z_1 * BP_1 * K_1 \\ BC_{4,10} = BC_{4,11} = Z_2 * BP_1 * K_1 \end{cases}$
5	$\begin{cases} OC_5 = \frac{OC_{5,2}}{OC_{5,1}} = \frac{OC_{5,6}}{OC_{5,5}} = \frac{Z_2 * OP_0 * K_1}{Z_0 * OP_0 * K_1} \uparrow \\ OC_5 = \frac{OC_{5,4}}{OC_{5,3}} = \frac{OC_{5,8}}{OC_{5,7}} = \frac{Z_0 * OP_0 * K_1}{Z_2 * OP_0 * K_1} \downarrow \end{cases}$	$\begin{cases} OC_5 = \frac{OC_{5,2}}{OC_{5,1}} = \frac{OC_{5,6}}{OC_{5,5}} = \frac{Z_2 * OP_0 * K_1}{Z_0 * OP_0 * K_1} \uparrow \\ OC_5 = \frac{OC_{5,4}}{OC_{5,3}} = \frac{OC_{5,8}}{OC_{5,7}} = \frac{Z_0 * OP_0 * K_1}{Z_2 * OP_0 * K_1} \downarrow \end{cases}$
6	$DC_{6,2} = DC_{6,3} = DC_{6,6} = DC_{6,7} = DC_{6,10} = Z_1 * DP_1 * K_1$	$DC_{6,2} = DC_{6,3} = DC_{6,6} = DC_{6,7} = DC_{6,10} = DC_{6,11} = Z_1 * DP_1 * K_1$

оттяжку, так как эта петля образуется из «сплит-петли» и связана с соседней петлей, а петли на иглах 10 или 10 и 11 будут образованы при тех же условиях, как и в ранее описанном способе рисунок 3.19в, и, следовательно, будут иметь достаточную оттяжку. При прокладывании набросков более чем на две иглы необходимо контролировать условие оттяжки петель, образующихся на включаемых иглах. В случае недостатка усилия оттяжки в зоне групповой прибавки петель возможно вязание дополнительных рядов отработки, с помощью которых, обычно петли, образующиеся на прибавляемых иглах, будут оттягиваться. Данный способ прибавки был разработан специально для создания контура изделия близкого к окружности. Следует отметить, что закругленные элементы присутствуют почти во всех заданных формах эндопротезов.

На рисунке 3.21 а,б, представлены элементы программы вязания для выработки скругленной формы, на рисунке 3.21 а прибавка осуществляется по одной петле с каждой стороны за два петельных ряда, на рисунке 3.21б, прибавка осуществляется с использованием «сплит-петли» на две иглы с каждой стороны за два петельных ряда.

Как видно по рисункам 3.21а и 3.21б, прибавка по две иглы позволяет получить более пологую линию окружности. На фотографиях 3.21в,г представлены образцы, полученные по разработанным технологиям.

3.4.3 Разработка технологии изменения ширины изделия путем вязания неполных петельных рядов

Традиционно способ частичного вязания используется для создания объемных форм на изделиях, таких как пятка- при вязании носка, на юбках для образования выточек. Способ частичного вязания применяется также при вывязывании выреза горловины, придавая ему округлую форму, также этот способ используют для придания плечевому участку изделия округлой формы [1.41].

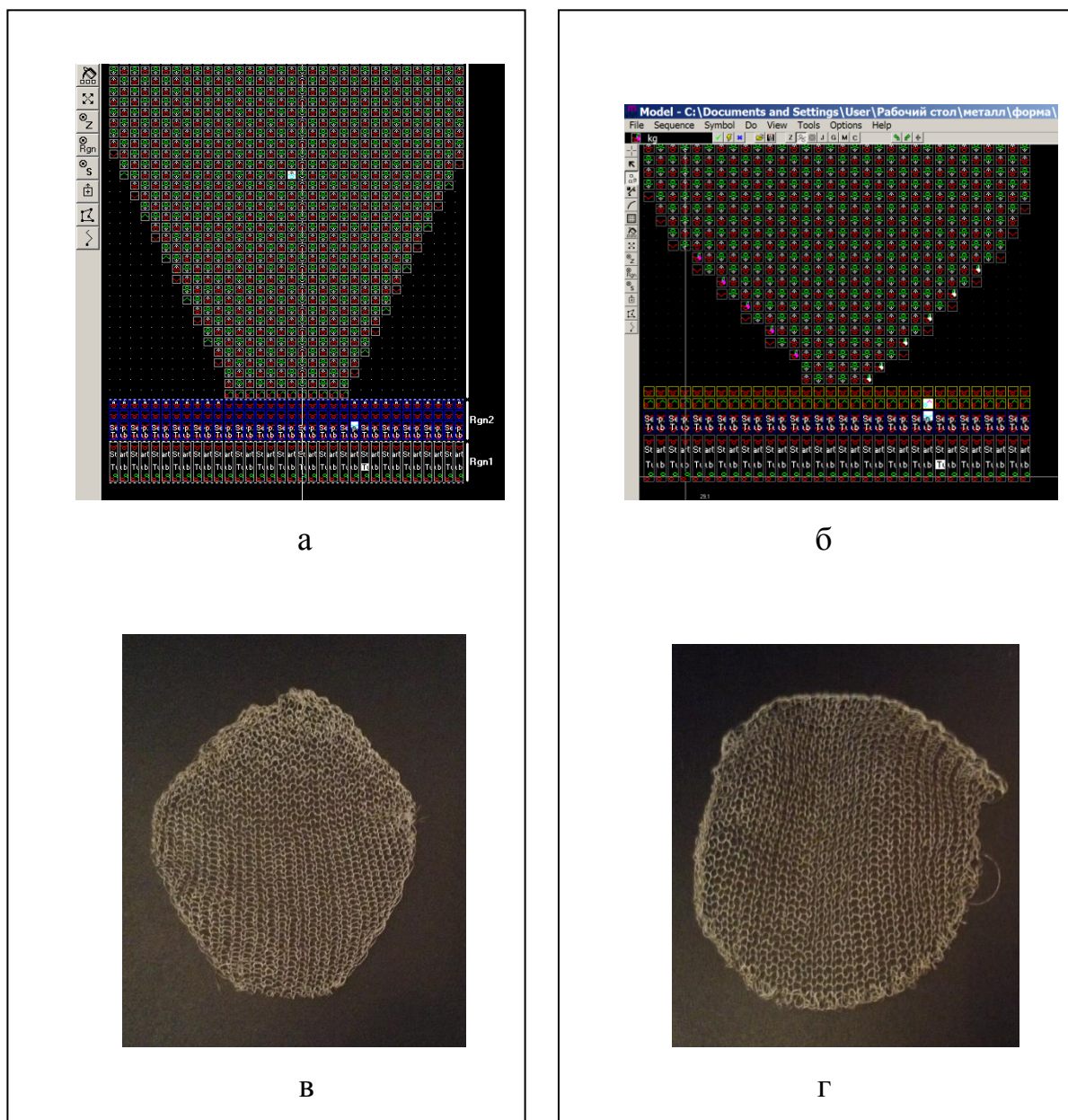
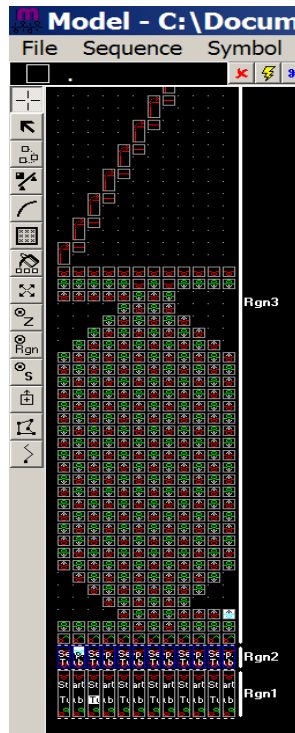


Рисунок 3.21 – Элемент программы вязания в среде «model» и образцы скругленной формы

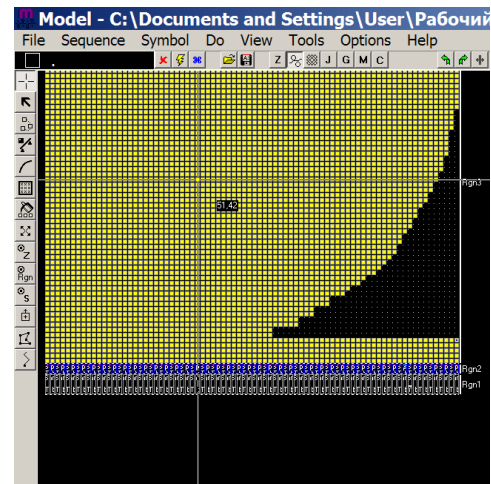
Особенность способа частичного вязания заключается в том, что группа работающих игл временно выключается из работы, удерживая образованные на них петли, до момента включения игл в работу. В результате в полотне формируются петельные столбики различной высоты, придавая полотну трикотажа необходимую выпуклость. В результате получаемое изделие приобретает 3d форму. Пример элемента программы с использованием способа

частичного вязания для получения скругленной формы представлен на рисунке 3.22а,б.

Фотографии образцов, полученных на представленным на рисунке 3.22 а,б программам вязания, представлены на рисунке 3.22 в,г.



а



б



в



г

Рисунок 3.22 – Элементы программы вязания образцов выработанных с использованием частичного вязания

3.4.4 Разработка программ вязания сетчатых эндопротезов заданной формы и размеров

Для выработки формы с прямыми углами и для создания программы вязания дополнительных процессов или дополнительных технологических операций не требуется.

Расчет основных заправочных данных осуществляется по формулам:

$$P = \frac{H}{B} \quad (3.4)$$

$$И = \frac{L}{A} \quad (3.5)$$

где: P – число рядов

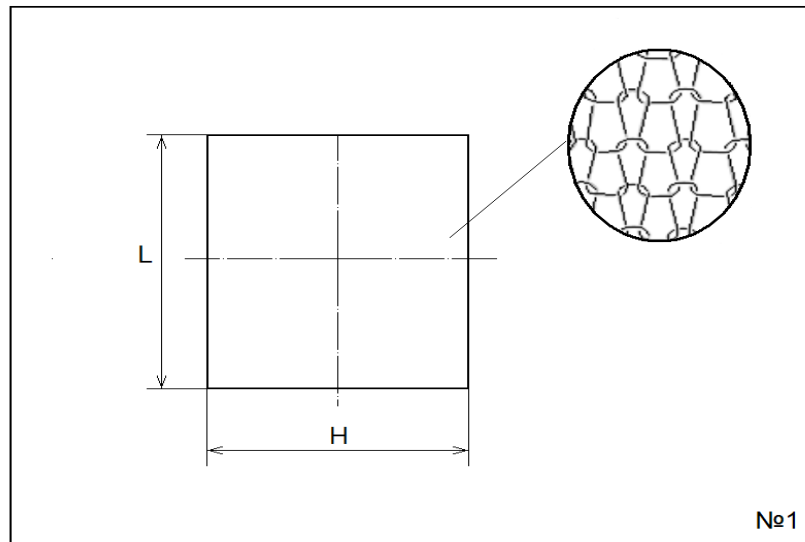
H – заданная ширина, мм

L – заданная длина, мм

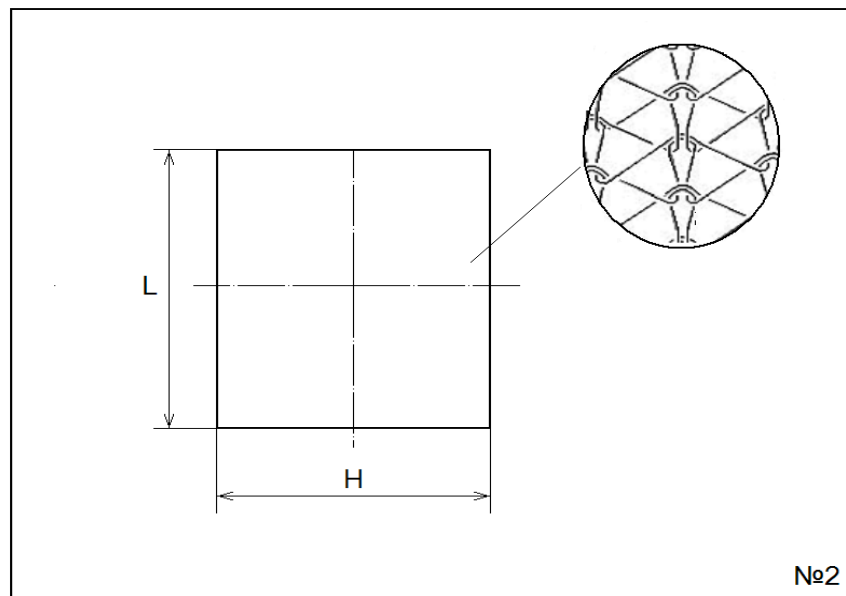
A – петельный шаг, мм

B – высота петельного ряда, мм

Чертеж эндопротеза прямоугольной формы с указанием размеров представлен на рисунке 3.23а,б, для двухизнаночного и прессового переплетения соответственно.



а

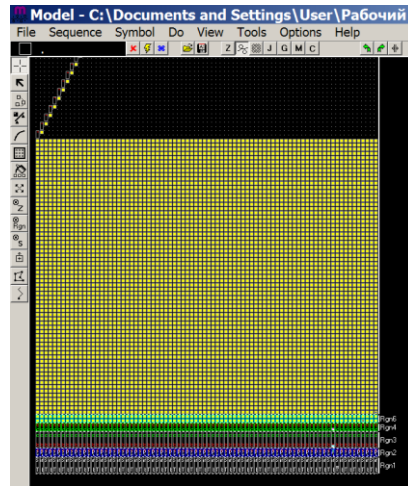


б

Рисунок 3.23 – Чертеж прямоугольной формы эндопротеза

Пример разработанной программы вязания в среде «model» представлен на рис.3.24а.

Пример изделия прямоугольной формы с использованием двухизнаночного переплетения представлен на рисунке 3.24б.



а



б

Рисунок 3.24 – Программа вязания и образец эндопротезов прямоугольной формы

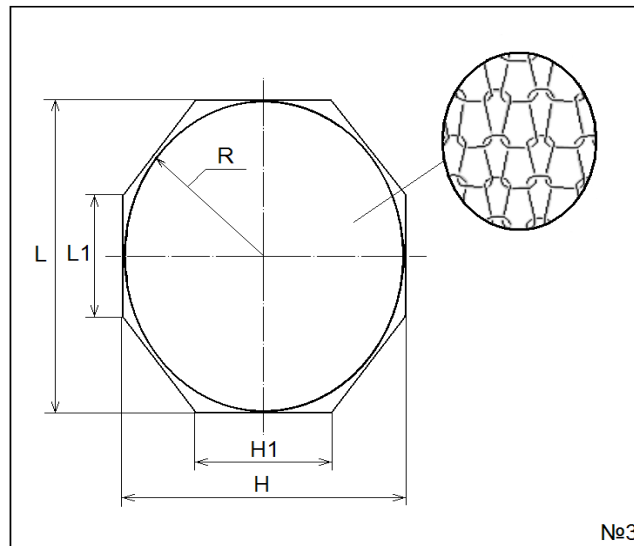
Результаты расчетов заправочных данных представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Заправочные данные образцов изделий прямоугольной формы

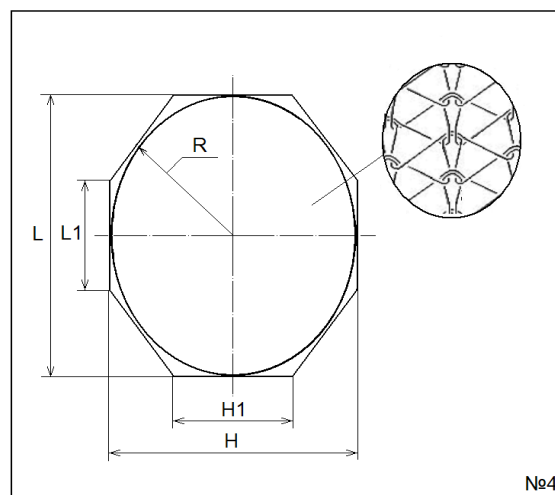
№ чертежа	Глубина кулирования h_k	Размеры, мм		Петельный шаг А, мм	Высота петельного ряда В, мм	Количество игл $I = \frac{H}{A}$	Количество рядов $P = \frac{L}{B}$
		Н	L				
3.23а	2	100	100	3,6	2,5	28	40
	2,5			3,5	2,8	29	36
	3			3,4	3,2	30	32
	4			3,2	3,5	32	29
	2	150	150	3,6	2,5	42	60
	2,5			3,5	2,8	43	54
	3			3,4	3,2	44	47
	4			3,2	3,5	47	43
3.23б	2,5	100	100	3,2	4,8	32	20
		150	150	3,2	4,8	47	30

При проектировании круглых форм, вокруг окружности описывается многогранник. Расчет ребер многогранника проводится по формулам 3.4, 3.5.

Пример эндопротеза, в виде многогранника близкого к кругу, рисунок 3.25 а,б эти эндопротезы могут вырабатываться как двухизнаночным (3.25а), так и прессовым переплетением (3.25б).



а



б

Рисунок 3.25 – Чертеж эндопротеза в виде многогранника по форме близкой к кругу

Для форм, представленных на рисунке 3.25а,б необходимо рассчитать ритм сбавок и прибавок, обеспечивающих максимально близкую к кругу форму, то есть количество сбавляемых петель n , и количество рядов r , за которые надо сбавить петли, а также необходимо по возможности равномерно распределить сбавки по участкам с учетом сторон входа каретки в зону вязания.

$$n = \frac{И - И_1}{2}, \quad (3.6)$$

$$r = \frac{P - P_1}{2}, \quad (3.7)$$

где P, P_1 - количество рядов

$И, И_1$ – количество игл

Результаты расчетов заправочных данных для этих изделий представлены в таблице 3.13.

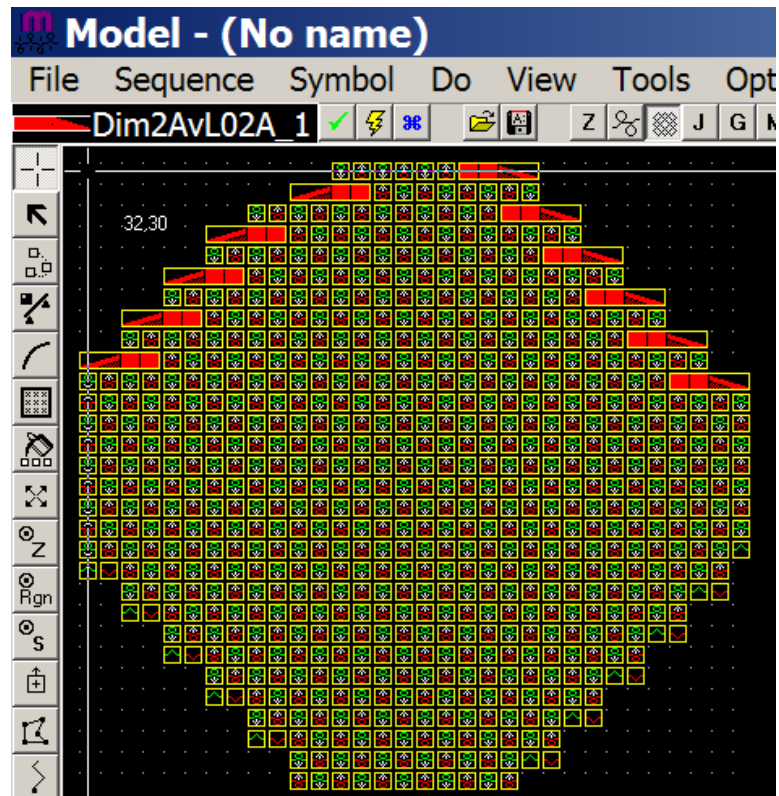
Следует учесть, что для прессовых переплетений, в которых каждый петельный ряд образован двумя системами нитей, фактическое количество ходов каретки для выполнения сбавки/прибавки петель удваивается. Фактическое число ходов каретки при выполнении процессов ПО для прессового переплетения указано в таблице 3.13 в скобках.

На рисунке 3.26 представлен элемент разработанной в среде «model» программы вязания 3.26а и фотография образца скругленной формы вывязанного по данной программе.

Пример, овальных форм изделий, выполненных двухизнаночным и прессовым переплетением представлен на рисунке 3.27 а,б, соответственно. Результаты расчетов заправочных данных представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.13 – Заправочные данные для рисунка 3.27

№ Рис.	Глубина кулирования h_k	Размеры, мм				Петельный шаг $A, \text{мм}$	Высота петельного ряда $B, \text{мм}$	Количество игл $I = \frac{H}{A}$		Количество рядов $P = \frac{L}{B}$		Ритм сбавок/ Прибавок n/r
		H	H1	L	L1			I	I1	P	P1	
3.25а	2	100	30	100	30	3,6	2,5	28	8	40	12	10/14
	2,5					3,5	2,8	30	10	36	12	10/12
	3					3,4	3,2	30	10	32	10	10/11
	4					3,2	3,5	32	10	30	10	11/10
	2	150	50	150	50	3,6	2,5	42	14	60	20	14/20
	2,5					3,5	2,8	44	14	54	18	15/18
	3					3,4	3,2	44	16	48	16	14/16
	4					3,2	3,5	48	16	44	14	16/15
3.25б	2,5	100	30	100	30	3,2	4,8	32	10	20	6	11/7(14)
		150	50	150	50	3,2	4,8	48	16	30	10	16/10(20)



а



б

Рисунок 3.26 – Элемент разработанной программы вязания в среде «model»
и изделие, выработанное по представленной программе.

Ритм сбавок/прибавок рассчитывался по формулам:

$$n = \frac{R}{A}, \quad (3.8)$$

$$r = \frac{R}{B}, \quad (3.9)$$

где n – число сбавляемых/прибавляемых петель

r – число рядов, за которое происходит сбавка/прибавка

R – радиус окружности формы, мм

A – петельный шаг, мм

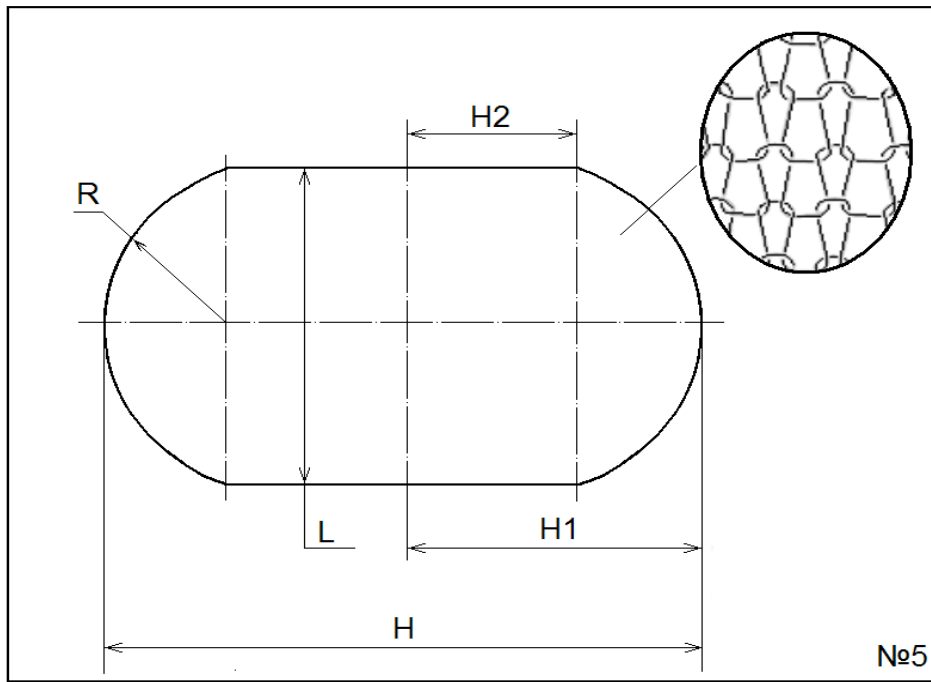
B – высота петельного ряда, мм

Следует отметить, что n и r – одинаковы для всех четырех угловых участков изделия.

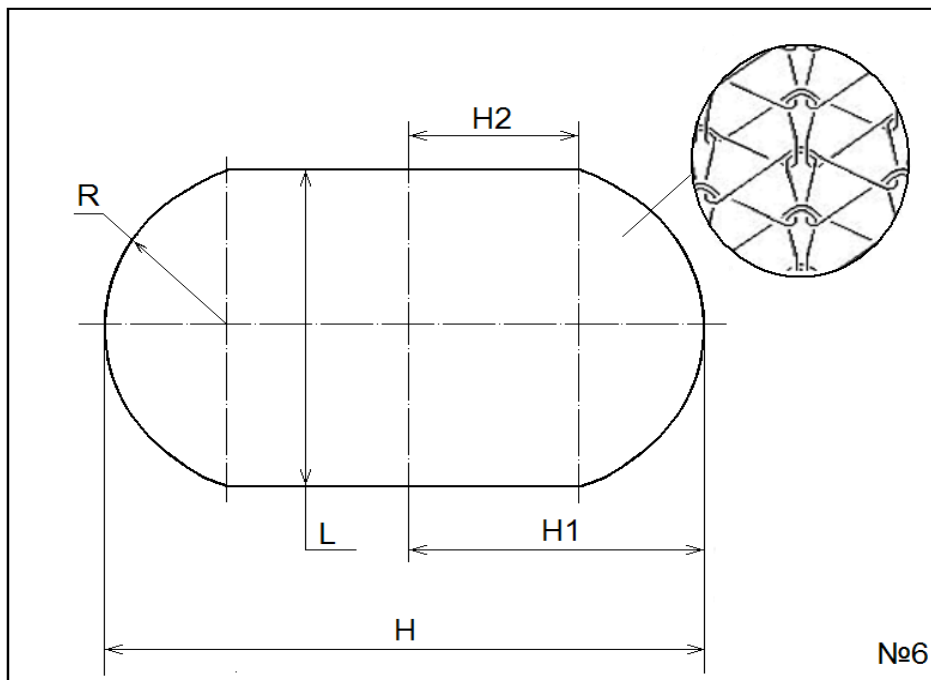
Следует учесть, что для прессовых переплетений, в которых каждый петельный ряд образован двумя системами нитей, фактическое количество ходов каретки для выполнения сбавки/прибавки петель удваивается. Фактическое число ходов каретки при выполнении процессов ПО для прессового переплетения указано в таблице 3.14 в скобках.

Пример разработанной программы вязания в среде model и полученный образец представлены на рисунке 3.28а,б соответственно.

Выработка форм эндопротезов с разрезом и внутренним отверстием требует использования дополнительного нитевода. В зоне вязания несоединенных участков или при вязании внутреннего отверстия использование двух нитеводов позволяет вырабатывать участки изделия, расположенные по разные стороны от разреза или отверстия, параллельным или последовательным способами работы нитеводов.



а

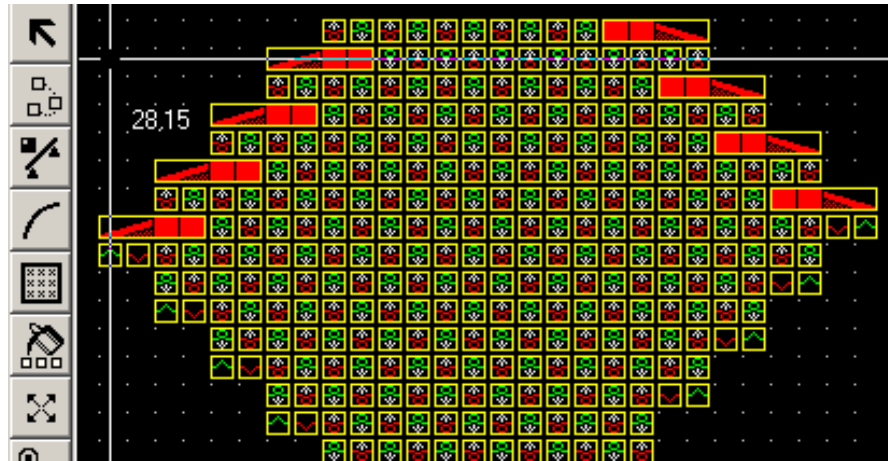


б

Рисунок 3.27 – Чертеж эллипсовидной формы эндопротеза

Таблица 3.14 – Заправочные данные для рисунка 3.27

№рис.	Глубина кулирования h_k	Размеры, мм					Петельный шаг $A, мм$	Высота петельного ряда $B, мм$	Количество игл $I = \frac{H}{A}$			Количество рядов $P = \frac{L}{B}$		Ритм сбавок/прибавок
		R	H	H1	H2	L			I	I1	I2	P1		
3.27а	2	20	70	35	15	40	3,6	2,5	20	10	4	16	6п/8р	
	2,5						3,5	2,8	20	10	4	14	6п/7р	
	3						3,4	3,2	20	10	4	13	6п/6р	
	4						3,2	3,5	22	11	5	12	6п/6	
	2	25	90	45	20	50	3,6	2,5	25	12	6	20	6п/10р	
	2,5						3,5	2,8	26	13	6	18	7п/9р	
	3						3,4	3,2	26	13	6	16	7п/8р	
	4						3,2	3,5	28	14	6	16	8п/8р	
	2	30	200	100	70	60	3,6	2,5	56	28	19	24	9п/12р	
	2,5						3,5	2,8	58	29	20	22	9п/11р	
	3						3,4	3,2	60	30	21	18	9п/9р	
	4						3,2	3,5	62	31	22	18	9п/9р	
3.27б	2,5	30	150	75	45	60	3,2	4,8	46	23	14	13	9п/6р(12)	
		30	90	45	15	60	3,2	4,8	28	14	5	13	9п/6р(12)	



а



б

Рисунок 3.28 – Программа вязания и образец эндопротеза эллипсовидной формы

При использовании параллельного способа вязания несоединенных участков на плосковязальных машинах рекомендуется использовать интарзийные нитеводы, что исключит возможное столкновение нитевода с иглой в процессе выработки образца [2.10].

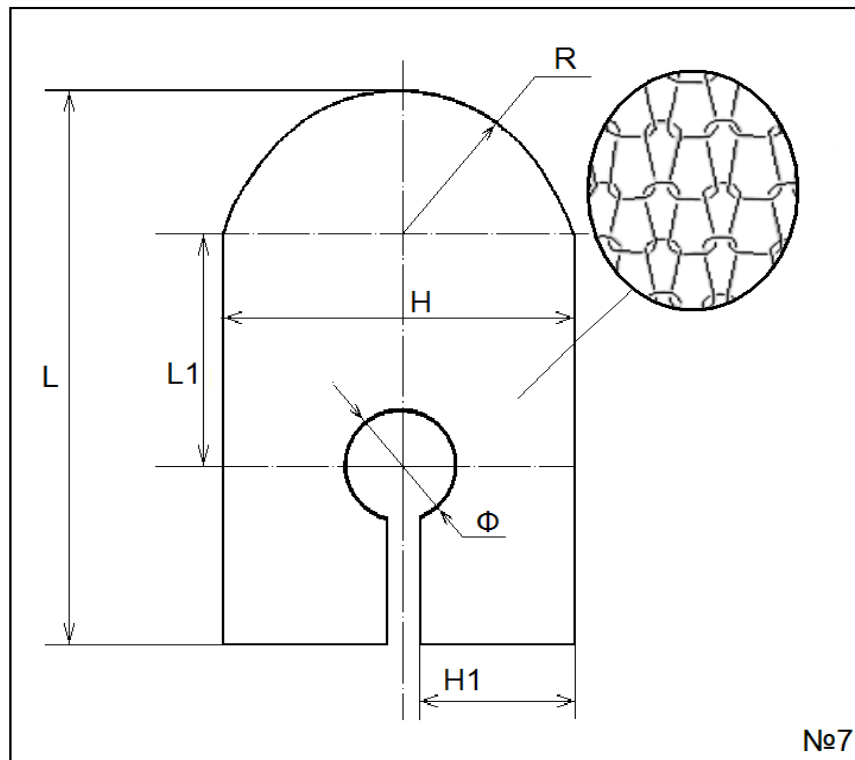
Примеры разрезных форм с внутренним отверстием, вырабатываемых двухизнаночным или прессовым переплетениями представлены на рисунке 3.29 а,б, соответственно, и 3.30 а,б, соответственно. Результаты расчетов заправочных данных представлены в таблице 3.15. Пример разработанной программы вязания в среде «model» представлены на рис.3.31а. Фотография образца эндопротеза выработанного по данной программе представлена на рисунке 3.31б.

При выработке неразрезной формы с отверстием необходимо наличие также использовать дополнительный нитевод, который должен работать на участке образования отверстия параллельно или последовательно с основным нитеводом.

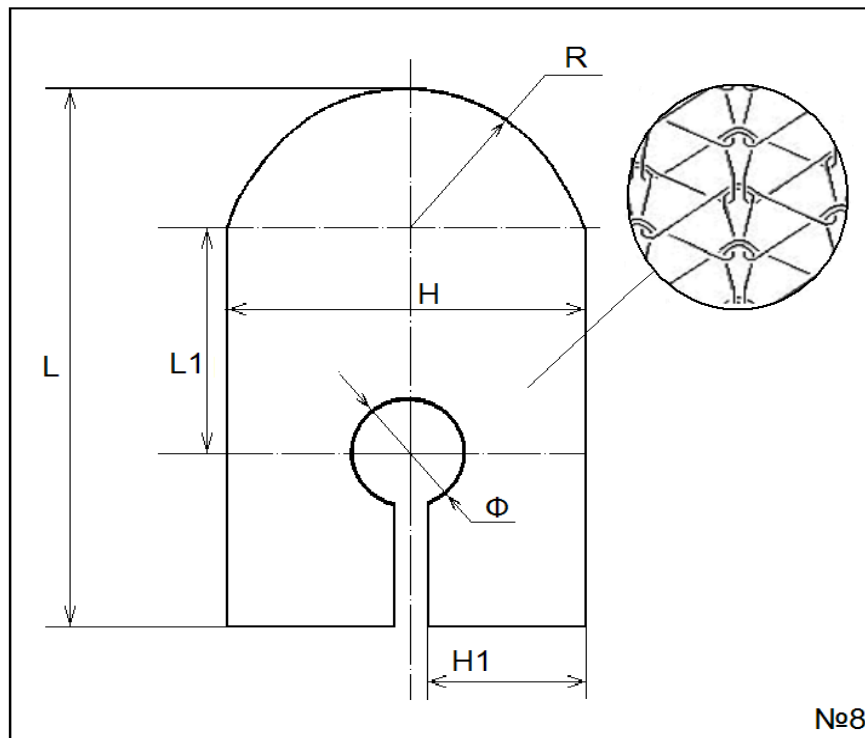
Пример эндопротеза с внутренним отверстием из двухизнаночного и прессового переплетений представлены на рисунке 3.32 а,б, соответственно, и 3.33а,б, соответственно. Результаты расчетов заправочных данных представлены в таблице 3.16. Пример разработанной программы вязания в среде «model» представлен на рис.3.34а, на рисунке 3.34б, представлена фотография выработанного образца эндопротеза.

По разработанным программам были выработаны образцы эндопротезов прямоугольной, круглой форм без отверстий и разрезов, а также более сложных форм с разрезом и внутренним отверстием.

При составлении программ вязания было использовано программное обеспечение системы «model». Апробация программ производилась на плосковязальной машине «Vesta» 130-Е. При составлении программ вязания для рядов заработка, закрытия последнего ряда изделия и получения сложных форм были использованы разработанные технологии.

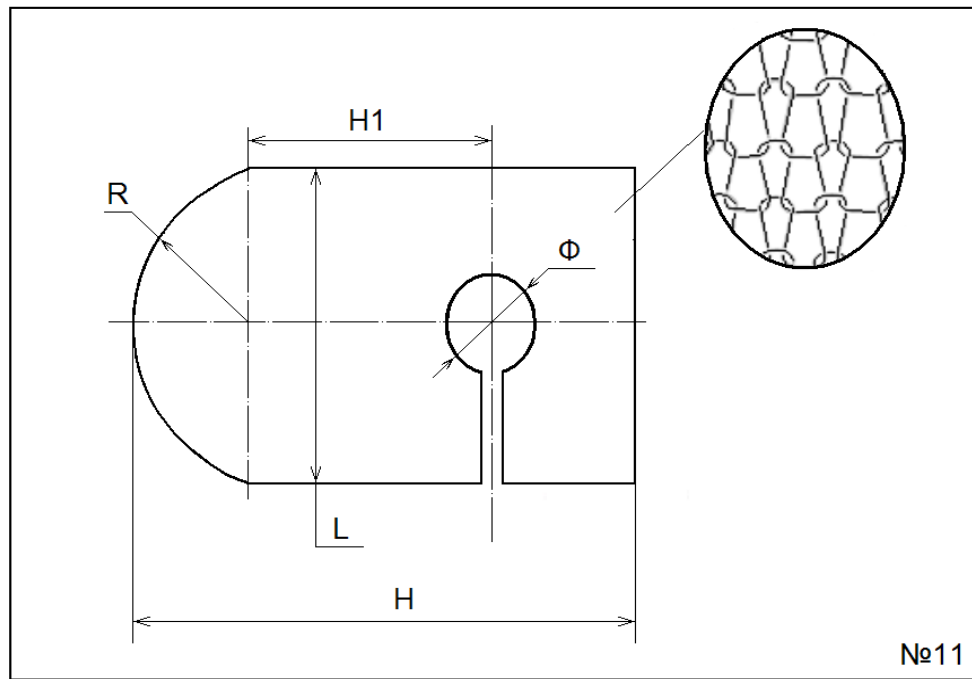


a

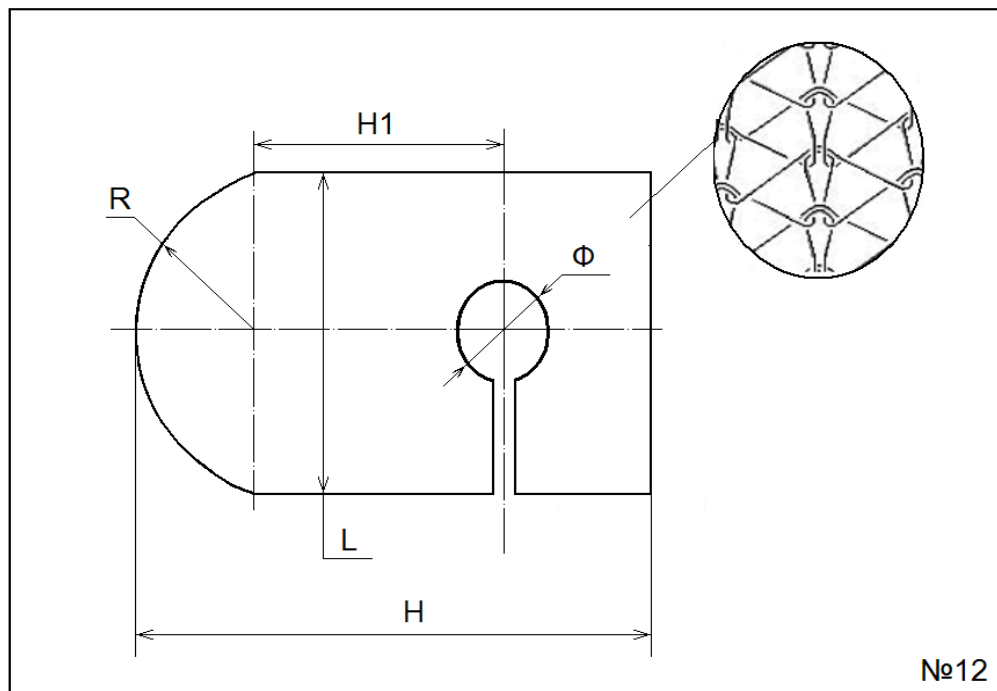


б

Рисунок 3.29 – Чертеж разрезной формы эндопротеза с внутренним отверстием

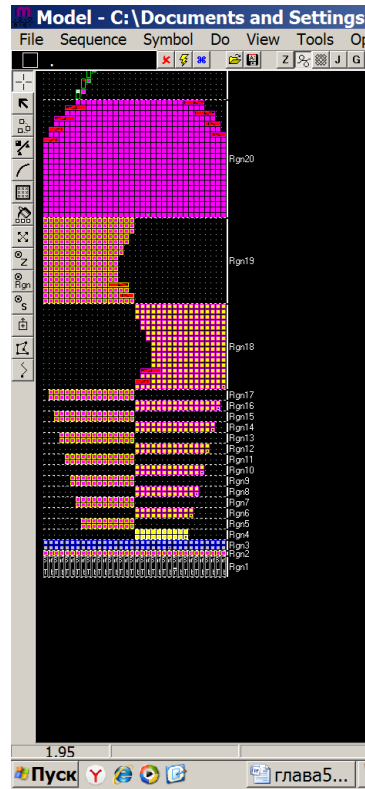


a

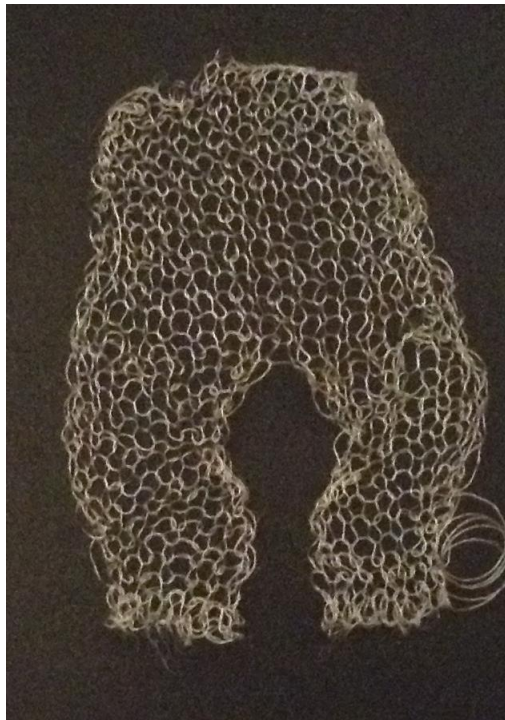


б

Рисунок 3.30 – Чертеж разрезной формы эндопротеза с внутренним отверстием

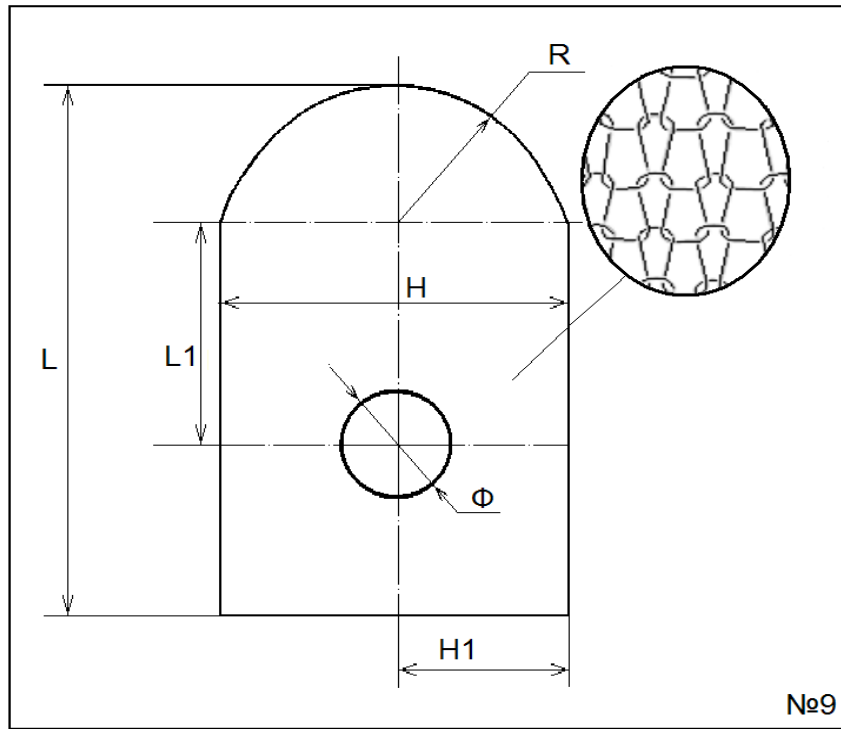


а

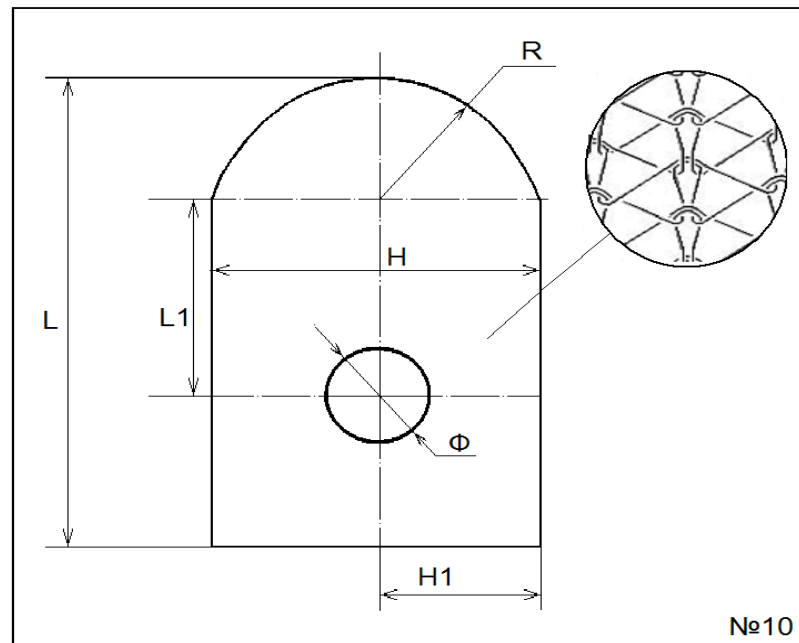


б

Рисунок 3.31– Программа вязания и образец эндопротеза разрезной формы с внутренним отверстием

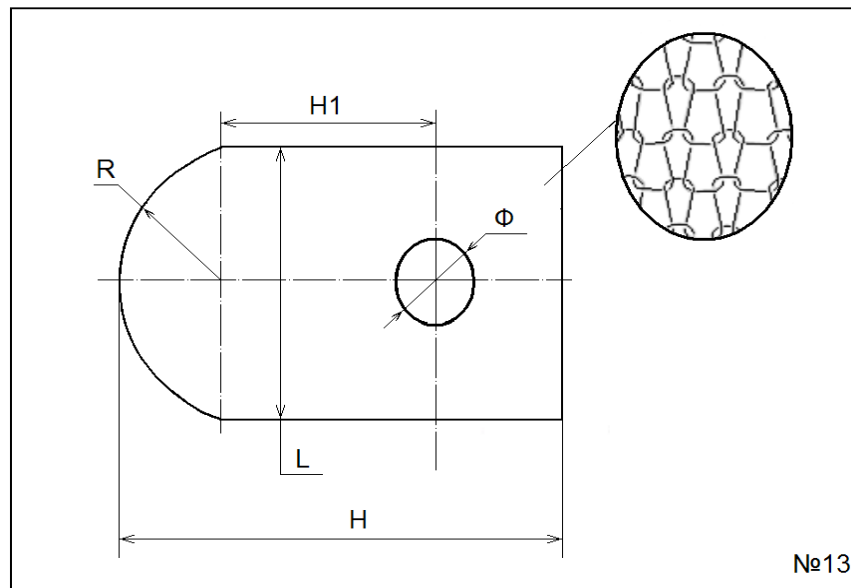


a

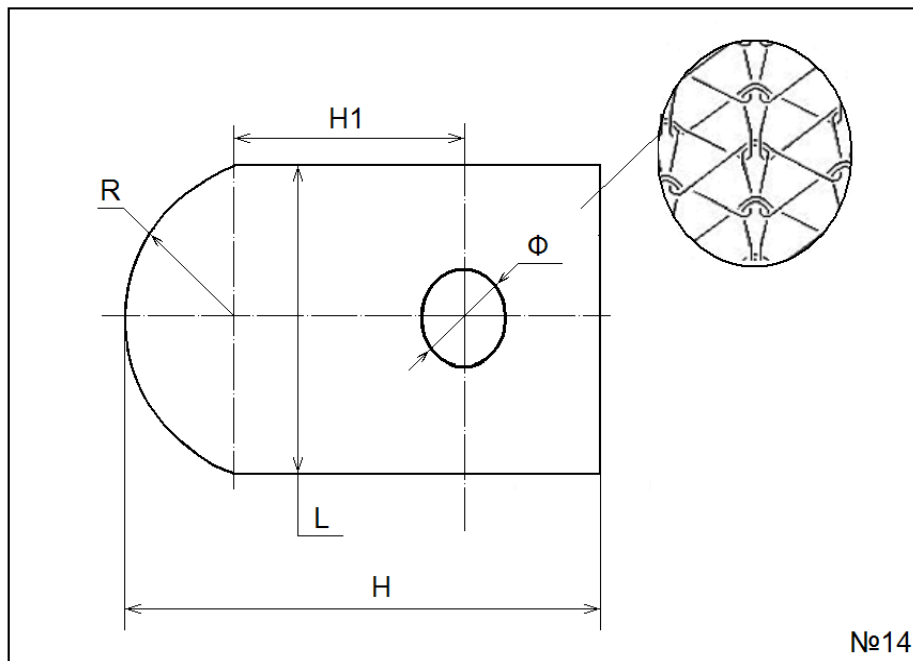


б

Рисунок 3.32 – Чертеж неразрезной формы эндопротеза с внутренним отверстием



а

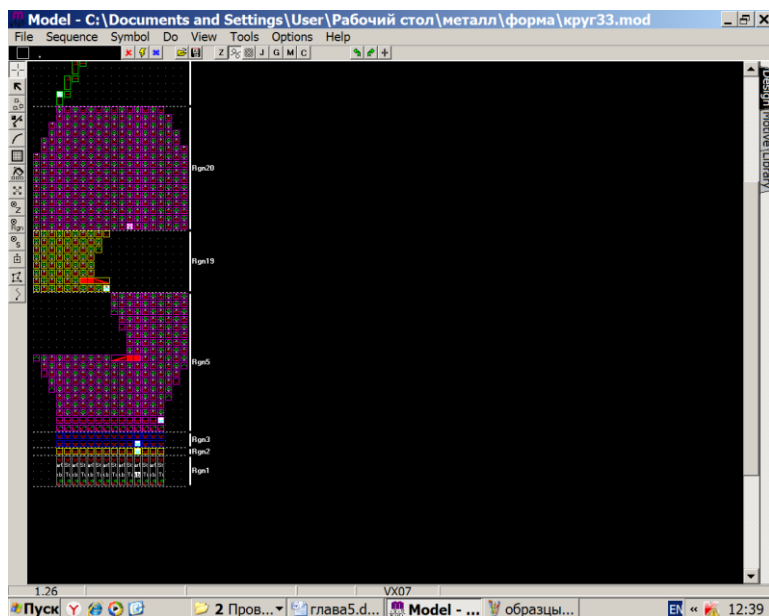


б

Рисунок 3.33 – Чертеж неразрезной формы эндопротеза с внутренним отверстием

Таблица 3.16 – Заправочные данные для рисунков 3.32а,б и 3.33а,б

№ чертежа	Глубина кулирова ния h_k	Размеры, мм					Петель ный шаг $A, \text{мм}$	Высота петельног о ряда $B, \text{мм}$	Количество игл $I = \frac{H}{A}$		Количество рядов $P = \frac{L}{B}$	Ритм сбавок/ прибавок	
		R	Ф	H	H1	L			I	I1		P	внеш
3.32а, 3.33а	2	20	20	90	50	60	3,6	2,5	25	14	24	10п/10р 10п/20р	1/1 1/2петли
	2,5						3,5	2,8	26	14	21		
	3						3,4	3,2	26	15	19		
	4						3,2	3,5	28	16	17		
3.32б 3.33б	2,5	20	20	90	50	60	3,2	4,8	28	16	13		



а



б

Рисунок 3.34 – Программа вязания и образец эндопротеза неразрезной формы с внутренним отверстием

Апробация предлагаемой технологии получения эндопротезов сложных подтвердила правильность технологических разработок.

Все полученные формы эндопротезов соответствуют заданным параметрам.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. На основании анализа структур известных кулирных переплетений и их свойств разработаны структуры гладких незакручивающихся ячеистых полотен, рекомендованные для использования в качестве хирургических сеток.
2. С помощью математического метода описания разработаны процессы петлеобразования для выработки гладких незакручивающихся ячеистых полотен, на современных плосковязальных машинах с электронным управлением.
3. Апробация разработанных процессов выработки структур трикотажа ячеистых полотен из комбинированной титановой нити выполнена на плосковязальной машине «Vesta» 130-Е 7 класса, установлены параметры процесса вязания для каждого разработанного переплетения с учетом их свойств.
4. Установлено, что с увеличением глубины кулирования уменьшается поверхностная плотность полотен и увеличивается перетяжка нити в процессе петлеобразования.
5. Установлено, что перетяжка нити в процессе петлеобразования увеличивается с увеличением скорости вязания.
6. На основании испытаний разработанных ячеистых полотен, проведенных с помощью современных электронных приборов «INSTRON 1122», компьютерно-диагностического комплекса «Диаморф», электронного микроскопа типа МБИ и специальных программ определены прочность, растяжимость, пористость – важные показатели для медицинских изделий.
7. В ходе испытаний образцов полотен, выработанных из титановой нити диаметром 0,06 мм в два конца переплетением двухизнаночная гладь установлено, что показатели по прочности, растяжимости, пористости и поверхностной плотности удовлетворяют медицинским требованиям.

8. Установлено, что показатели прочности, растяжимости, пористости и поверхностной плотности полотен, выработанных прессовым переплетением на базе двухизнаночной глади, полностью отвечают медицинским требованиям при их выработке из титановой нити диаметром 0,06 мм при вязании в один и два конца нити.
9. Разработана технология цельновязаных изделий сложных форм медицинского назначения, в результате которой представлены особенности процессов вязания первого и ряда заработки, последнего ряда изделия, технологии сбавок и прибавок выполняемых по боковым краям изделия, способы получения на изделии разрезов и отверстий.
10. Разработаны таблицы заправочных данных для вязания изделий по контуру.

4 РАЗРАБОТКА СТРУКТУР И ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАБОТКИ ПЛЮШЕВОГО ТРИКОТАЖА ДЛЯ ГЕРНИОПЛАСТИКИ

При разработке структур трикотажа для использования в герниопластике, одним из приоритетных направлений является разработка эндопротезов с плюшевой (ворсовой) поверхностью, используемых как в качестве армирующего элемента для создания композиционных материалов, так и в качестве самофиксирующихся материалов, не требующих дополнительной швейной фиксации хирургом при проведении операции.

Известны разработки самофиксирующихся хирургических сеток на основе синтетических материалов. На Российском рынке сегодня используется только один имплантат с самофиксирующимися свойствами ProGrip производимый фирмой Covidien (Швейцария-Франция)[6.2].

Особенность конструкции самофиксирующихся имплантатов состоит в том, что, как правило, это композиционный материал, состоящий из нескольких полимеров, на одной из сторон которого имеются множественные ворсинки или крючки с клейким полимером, обеспечивающие надежное прилипание имплантата к раневой поверхности.

Недостатками используемых в настоящее время сеток ProGrip является высокая молекулярная масса полимеров, из которых состоит имплантат, что может являться раздражающим фактором для иммунной системы и не исключает риск отдаленных осложнений, а также высокая цена материала.

4.1 Разработка структур и технологии плюшевых переплетений с использованием комплексной титановой нити

Разработка хирургических сеток из титановых нитей на базе трикотажа с ворсовой поверхностью является новым перспективным направлением.

Как правило, плюшевая поверхность в кулирном трикотаже может быть получена на базе плюшевых переплетений.

Трикотажем плюшевых переплетений называют трикотаж, содержащий в своей структуре как грунтовые, так и дополнительные нити или пучки штапельных волокон, образующих увеличенные петли или протяжки в виде ворса[1.3].

Плюшевая поверхность на основе трикотажной технологии может быть получена как кулирным, так и основовязаным способами выработки.

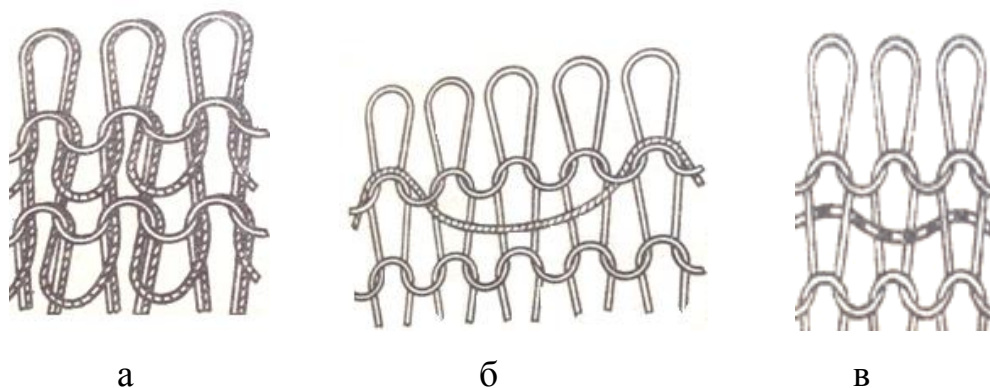
Основным условием заказчика является возможность моделирования сетки без ее повреждения (ропуска), но, следует отметить, что кулирный трикотаж плюшевых переплетений является низкораспускаемым из-за наличия дополнительного трения между плюшевой нитью и нитью грунта, что по данному свойству, приближает кулирный трикотаж к основовязаному, при этом выработка кулирного трикотажа проще, не требует подготовительного процесса в виде снования нитей. Поэтому, в дальнейшем рассмотрим возможность выработки трикотажа с ворсовой поверхностью на базе кулирных плюшевых переплетений.

Особенность выработки плюшевых переплетений состоит в том, что для их получения требуется минимум две нити, одна из которых будет образовывать удлиненные протяжки или наброски, а вторая грунтовая нить – петли любых видов главных, производных или рисунчатых переплетений, что непременно приведет к утолщенным участкам в структурах плюшевых переплетений [1.3, 3.3].

Известна работа Мукимова М.М. [1.4], посвященная классификации, способам выработки и способам проектирования кулирных плюшевых переплетений с платированным, футерованным, уточным, перевязанным и комбинированными способами закрепления плюшевой нити.

На рисунке 4.1а,б,в, [1.4], представлены структурные изображения плюшевых переплетений с платированным, футерованным и уточным способами закрепления плюшевой нити, соответственно.

В работе Смирновой А.В. [3.3], рассматривается способ выработки кулирных плюшевых переплетений на универсальных плосковязальных машинах с ажурным способом закрепления плюшевой нити. На рисунке 4.2 [3.3]



рисунки 4.1 – Структура трикотажа плюшевых переплетений

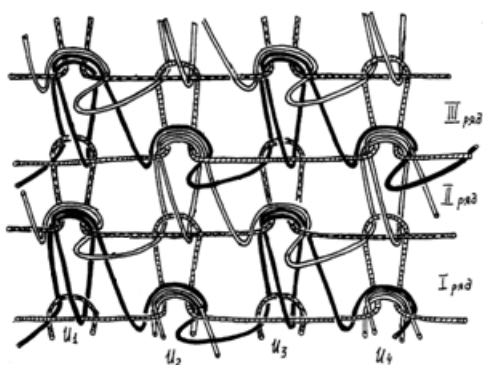


Рисунок 4.2 – Структура плюшевого переплетения с ажурным закреплением плюшевой нити в грунте

представлена структура плюшевого переплетения с ажурным способом закрепления плюшевой нити.

При разработке трикотажных структур с ворсовой поверхностью, используемых для хирургических целей, необходимо учитывать, что ворсовый материал может использоваться в двух направлениях: как армирующий элемент для композиционного материала; как самостоятельная структура с возможностью самофиксации на раневой поверхности.

В связи с этим медиками сформулирован ряд дополнительных требований, которые необходимо учитывать при разработке структур плюшевого трикотажа.

Так, для разработки ворсовой поверхности, используемой в качестве армирующего элемента композиционного материала, требуется наличие одностороннего или двухстороннего достаточно длинного (до 5мм) ворса обеспечивающего надежное закрепление полимера при дальнейшей обработке.

При разработке ворсовой поверхности, используемой в качестве самофиксирующегося материала, необходимо учитывать, что ворс должен быть не слишком длинным не более 3мм и обладать некоторой жесткостью для надежного закрепления на поверхности.

Анализируя известные способы выработки плюшевых переплетений, следует отметить, что плюшевый трикотаж, образованный платированным способом закрепления рис. 4.1а, имеет петельную структуру, образованную из двух нитей, что приводит к увеличению материалоемкости полотна, кроме того для выработки плюшевых переплетений платированным и уточным способами закрепления рис.4.1в, требуются дополнительные устройства в виде специальных нитеводителей.

Способ выработки с ажурным закреплением плюшевой нити рис.4.2, содержит дополнительную технологическую операцию в виде петлепереноса некоторых петель, что приводит к неравномерности длины ворса из-за перетяжки нити из ворсовой петли.

Футерованное закрепление плюшевой нити рис.4.1б, считается не достаточно надежным, плюшевая нить может быть легко вытянута из грунта полотна, но способ выработки подобного закрепления не должен вызывать трудностей. Данное переплетение может быть выработано на плосковязальном оборудовании.

Для разработки ворсовой поверхности как основы для композиционных материалов наиболее подходящим является футерованное закрепление плюшевой нити в грунте, так как использование дополнительного покрытия, например в виде полимера обеспечит равномерное закрепление ворса, что

может снизить возможность единичного выдергивания плюшевой нити из грунта, при этом способ выработки такого трикотажа наиболее прост и не требует дополнительных приспособлений и устройств.

4.2 Особенности выработки структур плюшевых переплетений известными способами из комбинированной титановой нити

Сведем в таблицу 4.1 разработанные варианты графических записей и структур плюшевых переплетений с футерованным способом закрепления плюшевой нити в грунте полотна.

В таблице 4.1 приняты следующие условные обозначения:

А – петельный шаг грунта;

В – высота петельного ряда грунта;

Нв – высота плюшевого ворса;

Шв – ширина плюшевого ворса;

ЛП – лицевые петли грунта;

ИП – изнаночные петли грунта;

ПН – плюшевый набросок;

ПВи – плюшевой ворс на изнаночной стороне трикотажа;

ПВл – плюшевый ворс на лицевой стороне трикотажа;

З – заход плюшевого ворса образованного в разных системах нитей в одном петельном ряду;

Согласно представленным в таблице 4.1 графическим записям экспериментальные образцы плюшевого трикотажа с футерованным закреплением плюшевой нити выработывались на плосковязальном оборудовании 7 класса, из комбинированной титановой нити линейной плотности 35 Текс.

Для образования плюшевого ворса по графической записи варианта №1, таблицы 4.1, в грунт, состоящий из лицевых петель (ЛП), вводится

дополнительная плюшевая нить (ДПН), образующая плюшевые наброски (ПН) на иглах основной и дополнительной игольниц. Ворс образуется на изнаночной стороне при сбросе плюшевых набросков с игл дополнительной игольницы.

Таблица 4.1 – Разработанные структуры плюшевых переплетений с футерованным закреплением плюшевой нити

№вар	Графическая запись переплетения	Структура полотна
1		
2		
3		

Способ выработки одного раппорта, образующего один ряд, данного переплетения, представлен на графической записи. Один ряд переплетения образован за три цикла петлеобразования (ПО). В первом цикле ПО прокладывается ДПН в виде набросков на иглы основной и дополнительной игольниц. В следующем цикле ПО, происходит провязывание проложенных на иглы основной игольницы плюшевых набросков грунтовой нити, образуя ЛП грунта. Для образования плюшевого ворса на полотне необходим дополнительный третий технологический цикл, в котором происходит сброс с игл дополнительной игольницы, проложенных в первом цикле ПО плюшевых набросков.

Двухстороннее плюшевое переплетение с футерованным закреплением плюшевой нити в грунте – вариант №2 таблицы 4.1, выработано на базе двухизнаночной глади.

Двухсторонний плюшевый ворс образуется за счет поочередного сбрасывания плюшевых набросков с игл основной и дополнительной игольниц.

Как видно по графической записи таблицы 4.1 для образования одного раппорта, образующего один ряд переплетения необходимо восемь циклов ПО. В 1 и 5 циклах ПО происходит прокладывание плюшевого ворса в виде набросков на иглы основной и дополнительной игольниц, во 2 и 6 циклах ПО образуется грунт полотна переплетением гладь с образованием лицевых (ЛП) и изнаночных петель (ИП) соответственно. 3, 7 – дополнительные технологические циклы, в которых образованные в предыдущих циклах плюшевые наброски сбрасывается в полотно, образуя ворс плюшевой нити, поочередно, на лицевой и на изнаночной сторонах трикотажа. 4, 8 – дополнительные технологические циклы переноса грунтовых петель на противоположную игольницу.

Следует отметить что ворс, расположенный на разных сторонах образца имеет противоположный наклон.

Особенность выработки переплетения по варианту 3, таблицы 4.1, состоит в том, что прокладывание дополнительной плюшевой нити на иглы, выполняется при интерлочной расстановке игл с использованием двух систем

нитей, каждая из которых осуществляет прокладывание плюшевой нити в виде набросков на иглы основной и дополнительной игольниц.

Подобное прокладывание плюшевой нити приводит к образованию захода плюшевого ворса, образованного первой системой нитей, за ворс, образованный второй системой нитей в том же петельном ряду, что приведет к увеличению плотности застила ворсом полотна трикотажа. При таком способе прокладывания плюшевой нити, ширина ворсовой петли увеличивается по сравнению с шириной ворсовой петли в образцах, вырабатываемых по вариантам №1 и №2. На фотографиях рис.4.3, представлены образцы ворсового трикотажа, выработанного по вариантам 1,2,3 таблица 4.1.

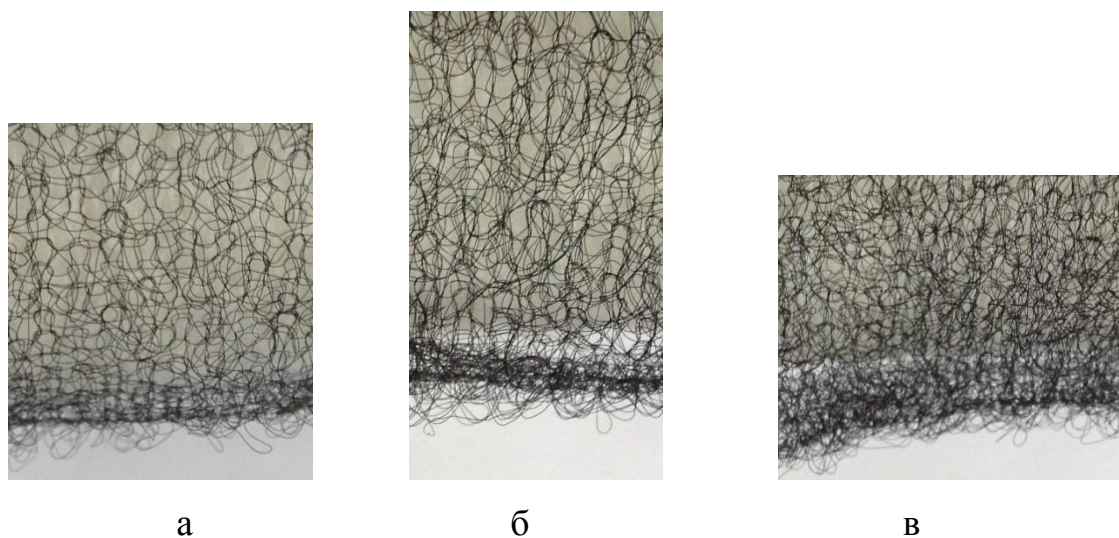


Рисунок 4.3 – фотографии образцов ворсового трикотажа выработанного по вариантам 1,2,3 таблица 4.1.

Основные технологические параметры разработанных экспериментальных образцов сведем в таблицу 4.2. Для определения плотности застила $\Pi_{\text{п}}$ использовалась формула

$$\Pi_{\text{п}} = \frac{\Pi_{\text{г}} \times \Pi_{\text{в}}}{100};$$

где $\Pi_{\text{г}}$ – плотность грунта по горизонтали;

$\Pi_{\text{в}}$ – плотность грунта по вертикали.

Вязание образцов выполнялось на плосковязальной машине Vesta 130-E 7-класса из комбинированной нити линейной плотностью 35 Текс.

Основные структурные параметры плюшевых переплетений представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Основные параметры структур разработанных плюшевых переплетений

№	Петельный шаг грунта А, мм	Высота петель ряда грунта В, мм	Плотность по горизонтали Пг,петель /10см	Плотность по вертикали Пв,петель /10см	Высота ворса плюшевой петли Нв, мм	Ширина ворса плюшевой петли Шв, мм	Плотность застила плюшевых петель Пп, петель/см ²	Поверхностная плотность ρ , г/м ²
1	3,23	2,88	31	34,7	5	3	10,75	164,9
2	3,45	1,16	29,3	46,9	5	3	13,74	178,8
3	2,9	1,8	34	55	6	4	18,7	239,3

Ворс в экспериментальных образцах, как видно по структурам плюшевых переплетений, располагается в ячейках грунта, имеет достаточную длину 5мм и может служить в качестве армирующего элемента при заливке полимером в композиционном материале, используемом в медицине.

Недостатком полученных структур плюшевых переплетений, выработанных по вариантам 1 и 3, является закручиваемость структуры грунта, и слабая степень закрепления плюшевой нити, а значит невозможность использования в качестве самостоятельной структуры в области медицины. Таким образом, разработанные варианты 1,2,3 структур могут быть рекомендованы только в качестве армирующей составляющей композиционного материала. Кроме того очень мягкий, стелящийся вдоль полотна ворс, не позволит использовать данные структуры в качестве самозакрепляющихся материалов. Для устранения данных недостатков было предложено разработать незакручивающуюся структуру плюшевого трикотажа

на базе двойных переплетений с усиленным закреплением плюшевой нити в грунте полотна.

4.2.1 Разработка структуры плюшевого переплетения с усиленным закреплением плюшевой нити в грунте полотна

Для разработки незакручивающейся структуры грунта, содержащей ворс на одной из сторон полотна, было предложено использовать в качестве грунта полотна две системы нитей, работающие на противоположных игольницах [1.45]. Для усиления закрепления плюшевой нити, было предложено, цикл прокладывания ворса проводить между циклами прокладывания двух систем грунтовых нитей, что увеличит точек контакта плюшевой нити с грунтом, а при использовании шероховатой титановой нити с высоким коэффициентом трения, обеспечит повышение степени закрепления плюшевой нити в трикотаже. При этом протяжки, образованные второй системой грунтовой нити, располагаясь перед ворсовыми петлями, должны отклонять ворсовые петли от вертикальной линии полотна, и направлять ворс в более горизонтальное положение. Это должно позволить использовать разработанную структуру полотна в качестве самофиксирующегося материала. Кроме того, разработанная структура содержит увеличенные петли, что позволит придать необходимую пористость образцу.

Графическая запись разрабатываемой плюшевой поверхности полотна с платированным закреплением плюшевой нити представлена на рисунке 4.4. Как видно по рисунку каждый петельный ряд образован за пять циклов ПО, два из которых являются дополнительными, не образующими на иглах новых элементов петельной структуры.

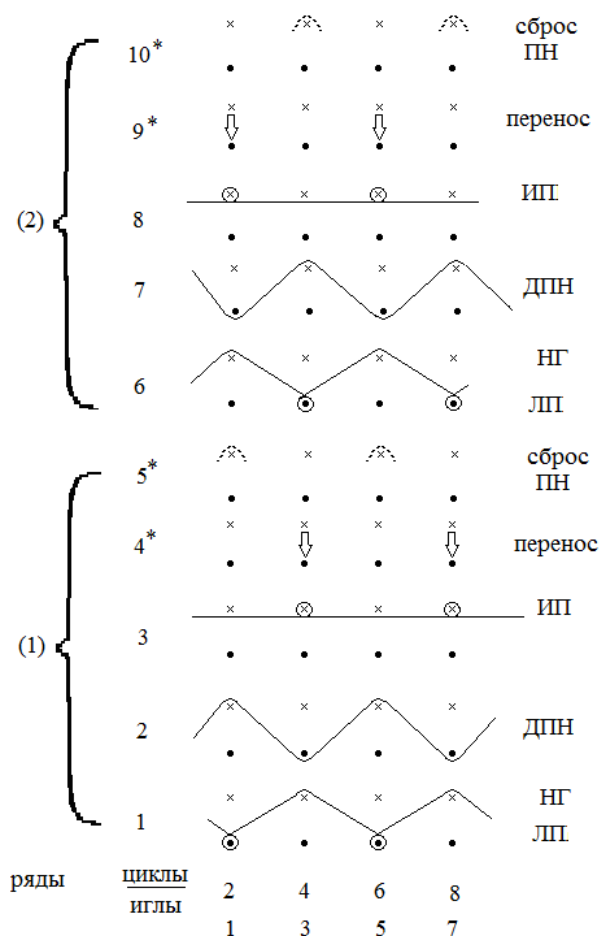


Рисунок 4.4 – Графическая запись разрабатываемой структуры ворсовой поверхности

При этом в 1 цикле ПО работает первая система грунтовой нити, образующая лицевые петли (ЛП) грунта на иглах основной и наброски (НГ) на иглах дополнительной игольниц. В следующем цикле ПО, прокладывается дополнительная плюшевая (ворсовая) нить (ДПН), образующая наброски на иглах, основной и дополнительной игольниц, не участвующих в работе в предыдущем цикле ПО. В 3 цикле ПО, работает вторая система грунтовой нити, образующая только изнаночные петли (ИП), на работающих в первом цикле иглах дополнительной игольницы. В 4 дополнительном цикле осуществляется перенос ИП, проложенных в предыдущем цикле ПО на иглы основной игольницы. В следующем цикле происходит сброс набросков плюшевой нити (ПН) с игл дополнительной игольницы, что приводит к образованию плюшевого ворса на изнаночной стороне трикотажа. Следующий ряд переплетения образуется в соответствии с первым петельным рядом, но

образуемые элементы петельной структуры смещены на одну иглу, что приводит к расположению плюшевого ворса на полотне трикотажа в шахматном порядке.

Плюшевая (ворсовая) нить оказывается зажатой между двумя нитями образующими грунт полотна и число точек контакта между нитями возрастает, обеспечивая более надежное закрепление плюшевой нити в грунте. На рисунке 4.5 представлены элементы структур плюшевых переплетений с закреплением плюшевой нити платированным способом – 4.5 а, и футерованным способом рисунок 4.5б.

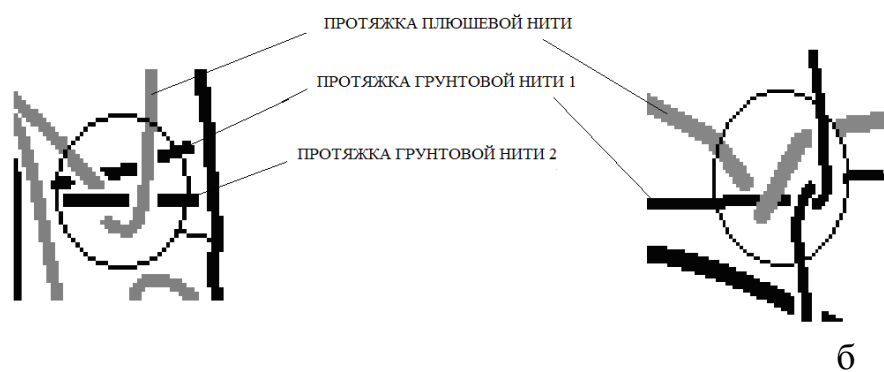


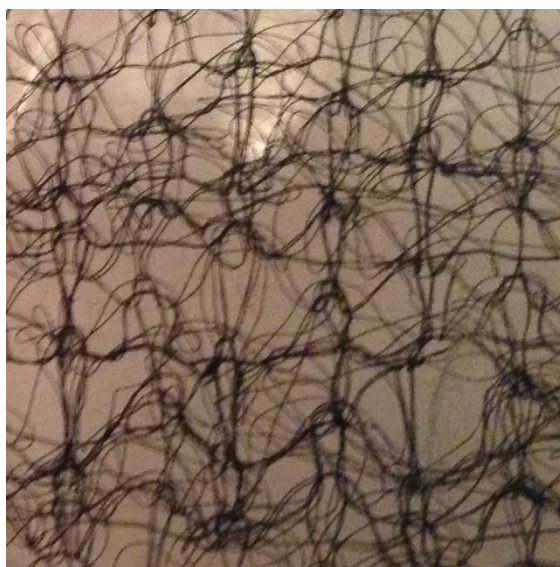
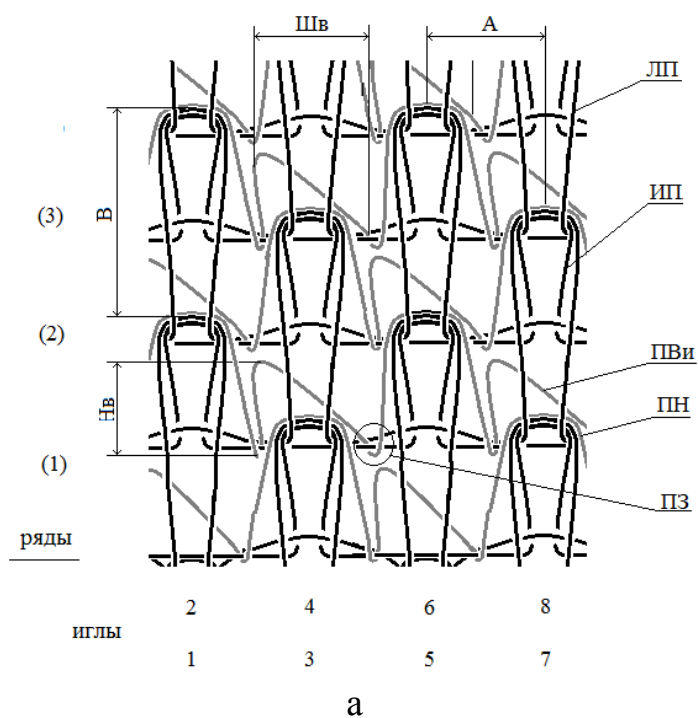
Рисунок 4.5 – Элементы структуры плюшевого переплетения с различным закреплением плюшевой нити в грунте

Структура переплетения, с платированным закреплением плюшевой нити представлена на рисунке 4.6а, на котором выведены следующие условные обозначения:

- А – петельный шаг грунта;
- В – высота петельного ряда грунта;
- Нв – высота плюшевого ворса;
- Шв – ширина плюшевого ворса;
- ЛП – лицевые петли грунта;
- ИП – изнаночные петли грунта;
- ПН – плюшевый набросок;
- ПВи – плюшевой ворс на изнаночной стороне трикотажа;

ПЗ – платированное закрепление плюшевой нити в грунте полотна;

На рисунке 4.6б представлена фотография разработанной структуры с платированным закреплением плюшевой нити.



б

Рисунок 4.6 – Структурное изображение плюшевого переплетения с усиленным закреплением нити в грунте

Вязание образца выполнялось на плосковязальной машине Vesta 130- E 7-класса из комбинированной титановой нити линейной плотностью 35 Текс.

Значение параметров выработанных образцов структуры трикотажа по графической записи рисунок 4.4 представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Основные параметры структуры разрабатываемого плюшевого переплетения с усиленным закреплением плюшевой нити

Наименование Элемента структуры	Значение параметра
Высота петельного ряда грунта В, мм	1,06
Петельный шаг грунта А, мм	3,03
Плотность грунта по горизонтали Пг, петель/10 см	33
Плотность грунта по вертикали Пв, петель/10 см	94
Высота ворса плюшевой петли Нв, мм	4,5
Ширина ворса плюшевой петли Шв, мм	2
Плотность застила плюшевых петель Пп, петель/см ²	5,05
Поверхностная плотность ρ, г/м ²	118,6

Анализируя выработанную структуру полотна с ворсовой поверхностью с платированным закреплением плюшевой нити, можно видеть, что разработанная структура по своим параметрам незначительно отличается от выработанных ранее структур трикотажа плюшевого переплетения, например, высота ворса в разработанной структуре лишь на 0,5 мм меньше, чем высота ворса в структурах №1 и №2, представленных в таблице 4.2, при этом плотность застила ворса значительно меньше, что повышает пористость структуры, но способ выработки значительно сложнее. Ворс, редкий и не имеет требуемой жесткости.

Перечисленные недостатки позволили сделать вывод, что структура плюшевого трикотажа, представленная на рисунке 4.4, не может быть использована в качестве самофиксирующегося материала.

Исследования по разработке плюшевой поверхности трикотажа с более жестким, хаотически направленным ворсом, которая может использоваться как в

качестве армирующей составляющей композиционных медицинских материалов, так и в качестве самофиксирующихся хирургических материалов, предложено в дальнейшем проводить не в области изменения структурного вида плюшевых переплетений, а путем изменения структурного вида используемого сырья.

4.3. Разработка технологии плюшевых полотен с использованием петельной комбинированной титановой нити

Для решения поставленной задачи получения плюшевого полотна, использованного как для создания армирующей поверхности композиционных материалов, так и для обеспечения возможности самофиксации материала, было решено разработать структуру вязаной комбинированной титановой петельной нити, содержащей в своей структуре петельные элементы, на подобии текстильной фасонной пряжи, типа «синелька».

При разработке структуры плюшевого трикотажа, следует обратить особое внимание на способность трикотажа к незакручиваемости и образование необходимых просветов для лучшей вживляемости полотна.

Таким образом, для достижения поставленной цели по разработке плюшевой поверхности, предназначенной для использования в медицине, необходимо решить две задачи: разработать вязаную петельную нить из комбинированной титановой нити, которая позволит создать на полотне ворсовые элементы, на подобии текстильной фасонной пряжи; разработать грунтовое переплетение гладкое, незакручивающееся, с ячейками увеличенной площади 6-8 мм, что позволит при использовании петельной нити не застилать ворсом полностью ячейки полотна и оставить необходимый просвет для лучшей биологической совместимости разработанного материала с телом человека.

4.3.1 Разработка способа выработки петельной комбинированной титановой нити

Фасонные нити и пряжа, применяемые для текстильных изделий бывают разных видов: типа «синельки», имеющей ворсины, буклированные или петельные.

Для изготовления пряжи типа «синельки» и буклированной пряжи требуется специальное оборудование. Петельную же нить из комбинированной титановой нити можно получить трикотажными способами.

Для получения плюшевого трикотажа с жестким хаотически расположенным ворсом была предложена особая конструкция петельной нити.

Следует отметить, что специальную петельную нить, имеющую основной остов, представляющий петельную структуру и расположенные с боков остова висящие петли, которые в структуре полотна будут образовывать ворс. Такую нить можно выработать двумя способами: кулирным и основовязальным.

Разработаем структуры и способы выработки петельной нити, сначала по основовязальной, а затем по кулирной технологиям.

Для обеспечения возможности переработки титановой нити, используем комбинированную титановую нить, предложенную в главе 2, линейной плотности 35 Текс, с остовом титановой нити диаметром 60 мкм.

4.3.2 Разработка петельной титановой нити по основовязальной технологии

В таблице 4.4 представлены графические записи кладки нитей для получения структур петельной нити по основовязальной технологии.

Таблица 4.4 – Графические и цифровые записи получения титановой петельной нити основовязальными способами

№ вар	Графическая запись	Цифровая запись
1	<p>Г1 0</p> <p>Г2 0 </p> <p>Г3 0 </p>	<p>Г1 Г2 Г3</p> <p>2-1 1-2 1-0</p> <p>1-2 1-0 1-2</p> <p>Г1, Г2 – гребенки, заправленные комбинированной титановой нитью</p> <p>Г3 – гребенка, заправленная химической комплексной нитью.</p>
2	<p>Г1 0 </p> <p>Г2 0 </p>	<p>Г1 Г2</p> <p>1-2 1-0</p> <p>1-0 0-1</p> <p>Г1 – комбинированная титановая нить</p> <p>Г2 – химическая комплексная нить</p>
3	<p>Г1 0 0</p> <p>Г2 0 0 </p> <p>Г3 </p>	<p>Г1 Г2 Г3</p> <p>1-2 1-0 1-0</p> <p>1-0 1-2 0-1</p> <p>Г1, Г2 – комбинированная титановая нить</p> <p>Г3 – смешанная заправка: 1 – химическая комплексная нить; 2 – комбинированная титановая нить; 3 – химическая комплексная нить.</p>

Петельная нить по варианту №1, таблицы 4.4, для выработки которой необходимо три ушковых гребенки Г1, Г2, Г3. Первая гребенка Г1, заправленная комбинированной титановой нитью с неполной проборкой через одну иглу, вяжет переплетение цепочка с открытыми петлями, образуя остов петельной нити. Вторая гребенка Г2, также заправленная комбинированной титановой нитью с аналогичной проборкой, вяжет переплетение трико. Петли, образованные переплетением трико по одному петельному столбику образуют также остов петельной нити, а по второму столбику образуют ворсовые петли. Назначение третьей гребенки сглаживать ворс петельной нити для облегчения ее дальнейшей переработки. Третья гребенка должна быть заправлена химической комплексной нитью. Химическая нить не позволит вытянуть ворсовые петли из титановой нити в петли остова в процессе вязания, а также будет сглаживать петельную нить, что облегчит ее переработку и будет удалена после вязания плюшевого полотна. Освобожденные, после удаления химической составляющей, петли 1 (вариант № 1, таблица 4.4) будут распрямляться и создавать ворс.

Ширина раппорта $R_{ш}$ образованной петельной нити равна одному петельному шагу. Ворс образуется на одной стороне петельной нити. Грунтовая нить состоит из сдвоенного петельного столбика.

Петельная нить по варианту № 2, таблица 4.4, для выработки которой необходимо две ушковые гребенки, одна из которых Г1 заправляется комбинированной титановой нитью с проборкой гребенки 2+1, и вяжет переплетение трико, а вторая гребенка Г2 заправляется нитью П на основе растворимого полимера, с проборкой 2+1, и вяжет переплетение цепочка. При этом остов нити образует петельный столбик, содержащий триковые петли двух заправленных нитей. Ворс образуется также триковыми петлями, расположенными с разных сторон от центрального петельного столбика. Химические нити П вяжут цепочку, соединяя краевые триковые петли по краевым столбикам исключая перетяжку петель из краевых петель в центральный столбик, а также сглаживают образующуюся петельную нить, обеспечивая ее надежную переработку. Химические нити удаляются только после вязания полотна.

Ширина раппорта $R_{ш}$ такой нити при вязании равна двум петельным шагам. Ворс расположен в шахматном порядке с двух сторон от центрального петельного столбика. Петли центрального столбика состоят из одной нити, что делает ее достаточно тонкой.

Для выработки образца №3, таблица 4.4, петельной нити необходимо использовать три гребенки. При этом первая и вторая гребенки вяжут переплетение трико встречной кладкой с проборкой 1+2 со смещением на один петельный шаг. Третья гребенка работает переплетением цепочка с полной заправкой. При этом химическая нить П заправлена в раппорте через иглу, одна комбинированная титановая нить КТ заправляется между двумя химическими нитями П. Остов нити образуется по центральному столбику петлями цепочки и триковыми петлями разных систем нитей. Ворс образуется симметрично, через один петельный ряд, триковыми петлями из комбинированной титановой нити. Для сглаживания петель трико по краевым петлям провязываются цепочки из химической нити П.

Ширина раппорта $R_{ш}$ при вязании такой нити также равна двум петельным шагам.

Все три варианта петельной нити, позволяют изменять размер ворса в сторону увеличения при замене триковой кладки, например на суконную.

Следует отметить, что при заправке нитей в гребенки для всех вариантов, между приведенными раппортами кладки нитей следует делать пропуск, чтобы получить отдельные, независимые друг от друга нити. Число одновременно вырабатываемых на основовязальной машине нитей зависит от ширины фонтуры.

$$N = \frac{I_p}{R_{ш} + n}$$

где I_p – число работающих на машине игл;

$R_{ш}$ – ширина раппорта, равная числу работающих игл в раппорте;

n – число пропускаемых, неработающих игл между нитями; $n \geq 1$.

Экспериментальная выработка основовязанных петельных нитей производилась на основовязальной машине «Вертелка» 18 класса.

Для образования остова петельной нити использовались комбинированные титановые нити линейной плотности 35 Текс, а в качестве дополнительной нити использовалась химическая (полимерная) комплексная нить линейной плотностью 11 Текс.

Такое сочетание основовязального способа для выработки петельной нити на титановой основе и кулирного способа ее переработки позволят вырабатывать плюшевое полотно с хаотически направленным жестким ворсом.

Особенностью основовязального способа выработки является возможность использовать для выработки петельной комбинированной нити всю ширину игольницы. Так же возможно использование дополнительной гребенки, заправленной химической полимерной нитью растворяющейся при более низких температурах, чем химическая полимерная нить, используемая в составе петельной нити, что позволит вырабатывать петельные нити на основовязальном оборудовании в виде единого полотна, с последующим разделением петельных нитей.



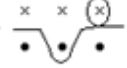


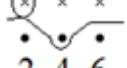
4.3.3 Разработка петельной комбинированной титановой нити сочетанием кулирной и основовязальной технологий

При разработке процессов вязания структур кулирного трикотажа для сокращения описания процессов петлеобразования (ПО), воспользуемся логико-аналитическим методом, разработанным проф. Колесниковой Е.Н. [3.2,1.16].

Для выработки петельной нити на базе кулирной технологии требуется использовать не менее трех систем нитей. Причем, две системы должны быть заправлены комбинированной титановой нитью, а дополнительная система заправляется химической комплексной нитью.

Графическая запись и процесс выработки петельной нити представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Графическая запись и процесс выработки петельной нити кулирным способом

Графическая запись	Процесс выработки
$F=C$ 6  остов	$\begin{cases} AC_{1,2} = Z_1 \times AP_1 \times K_1; \\ AC_{1,3} = Z_2 \times AP_1 \times K_1; \\ AC_{1,5} = Z_3 \times AP_3 \times K_1; \end{cases}$
$E=B$ 5  химическая нить	$\begin{cases} BC_{2,2} = Z_1 \times BP_1 \times K_1; \\ BC_{2,4} = Z_1 \times BP_1 \times K_1; \\ BC_{2,6} = Z_2 \times BP_1 \times K_1; \end{cases}$
$D=A$ 4  ворсовая нить	$\begin{cases} CC_{3,1} = Z_3 \times CP_3 \times K_1; \\ CC_{3,3} = Z_1 \times CP_1 \times K_1; \\ CC_{3,5} = Z_3 \times CP_3 \times K_1; \end{cases}$
C 3  остов	$\begin{cases} DC_{4,1} = Z_3 \times DP_3 \times K_1; \\ DC_{4,3} = Z_1 \times DP_1 \times K_1; \\ DC_{4,6} = Z_3 \times DP_3 \times K_1; \end{cases}$
B 2  химическая нить	$\begin{cases} EC_{5,2} = Z_2 \times EP_1 \times K_1; \\ EC_{5,4} = Z_1 \times EP_1 \times K_1; \\ EC_{5,6} = Z_1 \times EP_1 \times K_1; \end{cases}$
A 1  ворсовая нить 2 4 6 1 3 5	$\begin{cases} FC_{6,1} = Z_3 \times FP_3 \times K_1; \\ FC_{6,3} = Z_1 \times FP_1 \times K_1; \\ FC_{6,5} = Z_3 \times FP_3 \times K_1; \end{cases}$

Так в первом ряду нить комбинированная титановая нить образующая ворс (ворсовая), прокладывается в виде петли на иглу 2 дополнительной игольницы и в виде наброска на иглу 3 основной игольницы. Нить из полимера прокладывается во второй системе в виде петель на иглы 2 и 4 дополнительной игольницы и в виде наброска на иглу 6 дополнительной игольницы. Основная комбинированная титановая (КТ) нить провязывает только петлю на игле 3. Таким образом, основная КТ нить, всегда провязывая петли только на третьей игле, образует остов петельной нити, переплетением цепочка, используемым в основовязании.

Ворсовая нить, образованная из КТ нити наброском закрепляется на петлях остова, а петли, образованные то слева, то справа от остова нити, образуют ворс. Полученные нити перерабатываются непосредственно после их вязания, например, на плосковязальной машине. Химические нити удаляются из полотна. Освобожденные ворсовые петли должны образовывать ворс на обеих сторонах полотна.

На рисунке 4.7 представлено структурное изображение петельной нити по снятию с машины, причем изображение дано со смещением петель остова, что позволяет получить более наглядное представление о кладке нити. Черным цветом (ч) обозначена система нитей, заправленная комбинированной титановой нитью, образующая остов петельной нити, красным цветом (к) отмечена комбинированная титановая нить образующая ворс (ворсовая нить), соединяемая с нитью остова наброском, и синим цветом (с), указана растворимая химическая нить, которая после образования структуры полотна кулирного трикотажа удаляется. На рисунке 4.8 а,б представлена фотография петельной нити с наличием в структуре химической нити и без нее.

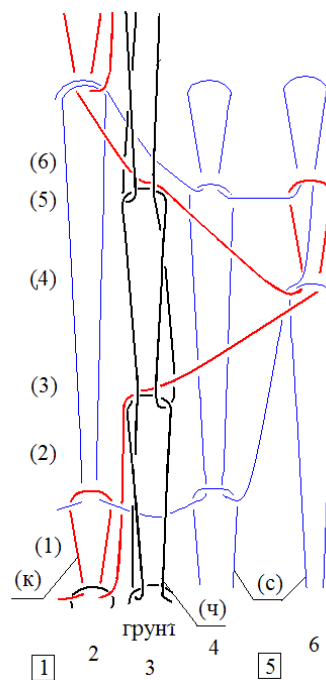


Рисунок 4.7 – Структурное изображение петельной нити полученной кулирным способом.

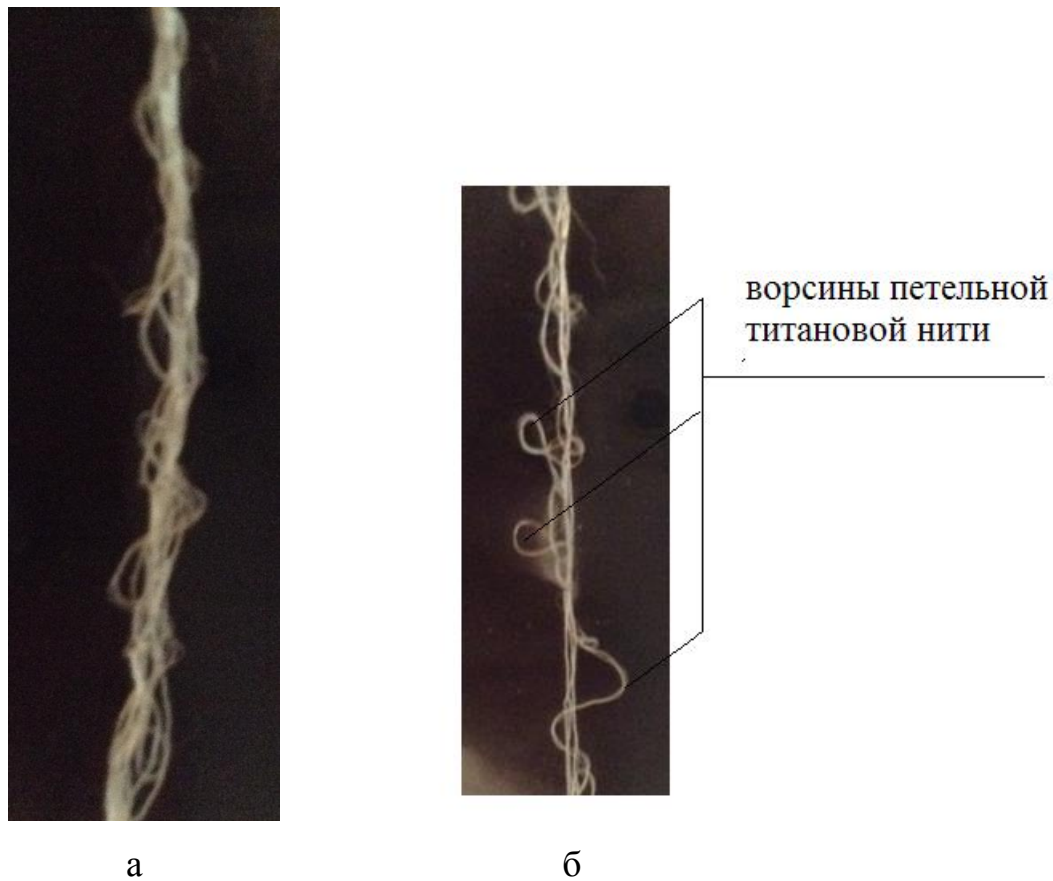


Рисунок 4.8 – Фотография петельной титановой нити полученной сочетанием основовязального и кулирного способа выработки

Петельная титановая нить имеет в олове при переработке десять составляющих ее нитей, причем семь из них химических (полимерны), имеющих линейную плотность 11Текс и 3 комбинированных, которые состоят из титановой нити линейной плотности 13 Текс, обкрученных химической нитью линейной плотности 11 Текс, то есть каждая из этих нитей имеет комбинированную линейную плотность T_k .

$$T_k = T_t + 2T_p ,$$

где T_t – линейная плотность титановой нити;

T_p – линейная плотность химической нити.

Тогда

$$T_k = 13 + 2 \times 11 = 35 \text{ Текс}$$

Для определения плотности вещества комбинированной нити γ_k рассчитаем доли каждой из нитей в используемой комбинации, при $X_k=1$ учитывая линейную плотность каждой из нитей.

$$X_k = X_{\Pi} + X_T = 1$$

где X_T – доля титановой нити;

X_{Π} – доля химической нити.

В свою очередь

$$X_T = \frac{T_T \times X_k}{T_k}; \quad X_{\Pi} = \frac{T_{\Pi} \times X_k}{T_k}$$

тогда, $X_T=0,37$, $X_{\Pi}=0,63$

Плотность вещества комбинированной титановой нити составит:

$$\gamma_k = 0,63 \times \gamma_{\Pi} + 0,37 \times \gamma_T = 0,63 \times 1,9 + 0,37 \times 4,6 = 2,89 \text{ г/см}^3;$$

где γ_T – плотность титановой нити $4,6 \text{ г/см}^3$

γ_{Π} – плотность химической нити $1,9 \text{ г/см}^3$

Суммарная линейная плотность петельной титановой нити T_B при переработке будет равна:

$$T_B = 7T_{\Pi} + 3T_k = 7 \times 11 + 3 \times 35 = 182 \text{ Текс}$$

Зная плотность вещества для химической нити $\gamma_{\Pi}=1,9 \text{ г/см}^3$ и плотность титана $\gamma_T=4,6 \text{ г/см}^3$, а так же плотность комбинированной титановой нити, можно рассчитать удельную плотность γ_B плюшевой нити.

Определим долю полимерных X_{Π} и комбинированных титановых X_k нитей в плюшевой нити X_B .

$$X_B = 7X_{\Pi} + 3X_k = 1$$

где X_T – доля комбинированной титановой нити;

X_{Π} – доля химической нити.

В свою очередь

$$X_T = \frac{3T_k \times X_B}{T_B}; \quad X_{\Pi} = \frac{7T_{\Pi} \times X_B}{T_B}$$

тогда, $X_T=0,58$, $X_{\Pi}=0,42$

Плотность вещества петельной титановой нити составит:

$$\gamma_B = 0,42 \times \gamma_{\Pi} + 0,58 \times \gamma_K = 0,42 \times 1,9 + 0,58 \times 2,89 = 2,47 \text{ Г/см}^3;$$

Определим условный диаметр петельной титановой нити из формулы:

$$T_B = \frac{\pi}{4} d_{yB}^2 \gamma_B 1000;$$

тогда:

$$d_{yB} = \sqrt{\frac{T_B \times 4}{\pi \times \gamma_B \times 1000}} = \sqrt{\frac{182 \times 4}{3,14 \times 2,47 \times 1000}} = 0,31 \text{ мм};$$

Сравнивая диаметр нити d_{yB} с внутренним диаметром головки иглы d_r , равным 1,2 мм видим, что переработка петельной нити на плосковязальной машине 7 класса возможна, так как внутренний диаметр головки иглы в 3,8 раза больше диаметра перерабатываемой петельной нити.

При прохождении узла диаметр нити увеличивается в 1,5 раза, даже с учетом узла размер головки иглы будет в 2,5 раза больше диаметра нити с узлом и, следовательно, пройдет без затруднений в головку иглы при операции кулирования.

Теперь проверим возможность прохождения узла в момент кулирования в ниточный промежуток, где в этот момент находятся два диаметра нити при вязальном способе ПО рисунок 4.9, где 1 – сбрасываемая петля, 2 – новая петля, в процессе кулирования. Ниточный промежуток – а должен быть больше 2,5 d_y , то есть $a > 2,5 d_y$, так как на одной из нитей может быть узел.

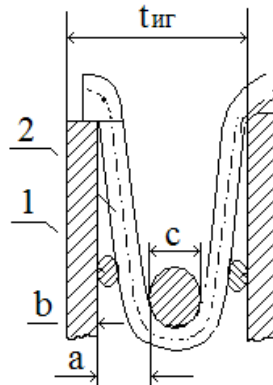


Рисунок 4.9 – Момент кулирования нити при вязальном способе ПО

В свою очередь

$$a = \frac{t_{\text{иг}} - b - c}{2},$$

где $t_{\text{иг}}$ – игольный шаг,

b – толщина отбойного зуба или платины,

c – толщина головки иглы.

$$a = \frac{3,63 - 1 - 0,4}{2} = 2,23 \text{ мм}$$

так как $a > 2,5 \cdot 0,31 = 0,78$ то есть 2,23 в 2,9 раза больше 0,78, следовательно, петельная титановая нить даже с узлом пройдет в ниточном промежутке, что подтверждает возможность ее переработки на плосковязальной машине 7 класса.

Наиболее производительным способом выработки петельной нити является основовязальный способ, что связано с возможностью использования всей ширины фонтуры для выработки петельной нити, тогда как на кулирном плосковязальном оборудовании можно вырабатывать одновременно не более двух нитей, при наличии 8 нитеводоов на машине, так как для образования каждой нити требуется три системы нитей. С увеличением числа нитеводоов на машине, например до 32(машины Stoll) число одновременно вырабатываемых нитей может быть равным десяти.

Разработанная петельная титановая нить была апробирована при заправке на плосковязальной машине типа «Vesta 130-E» 7 класса, при вязании глади на скорости 0,6 м/с, сложностей при переработке нити не возникало, однако полотно выработанное переплетением гладь, закручивалось со всех краев. Поэтому встала задача разработки гладкого незакручивающегося трикотажного переплетения с высокой пористостью структуры полотна. При этом использование петельной титановой нити позволит вырабатывать трикотажные полотна с петельными элементами на поверхности.

4.4 Исследование структуры плюшевого трикотажа образованного с использованием петельной титановой нити

Для разработки незакручивающейся структуры с ворсовой поверхностью, образованной за счет использования петельной титановой нити, в качестве базовой структуры была использована структура двухизнаночной глади вариант 1 таблицы 3.1, свойства которой рассматривались в главе 3. Трикотажные полотна двухизнаночной глади вырабатывались из петельной титановой нити, на машине Vesta 130 E 7 класса при скорости движения каретки 0,6 м/с, частота вращения оттяжных валов составляла 40 мин⁻¹. Петельная титановая нить вырабатывалась также на плосковязальной машине Vesta 130 E при скорости движения каретки 0,6 м/с, частота вращения оттяжных валов составляла 30 мин⁻¹. При вязании полотен петельная титановая нить использовалась без дополнительной обработки.

Для определения параметров полотен плюшевого трикотажа, выработанных из петельной титановой нити при изменении глубины кулирования в пределах от 3,5÷4 мм: петельного шага А, высоты петельного ряда В, длины нити в петле I, площади ячейки S, использовался компьютерный диагностический комплекс «Диаморф»[6.4]. Все параметры полотен определялись после удаления химической нити, как из оболочки комбинированной титановой нити так и самостоятельной химической нити использующихся для получения петельной нити. Пример произведенных замеров параметров А, В, длины нити в петле I для ворсового трикотажа выработанного на базе двухизнаночного переплетения из петельной титановой нити при глубине кулирования $h_k=4$ мм, представлен на рисунке 4.10 после удаления химической составляющей.

На рисунке 4.10 цифрами 1,2,3 и 4, показаны образующиеся за счет использования петельной нити, ворсины, выступающие как на лицевой, так и на изнаночной сторонах полотна, расположенные в хаотической последовательности образующие двухсторонний ворс.

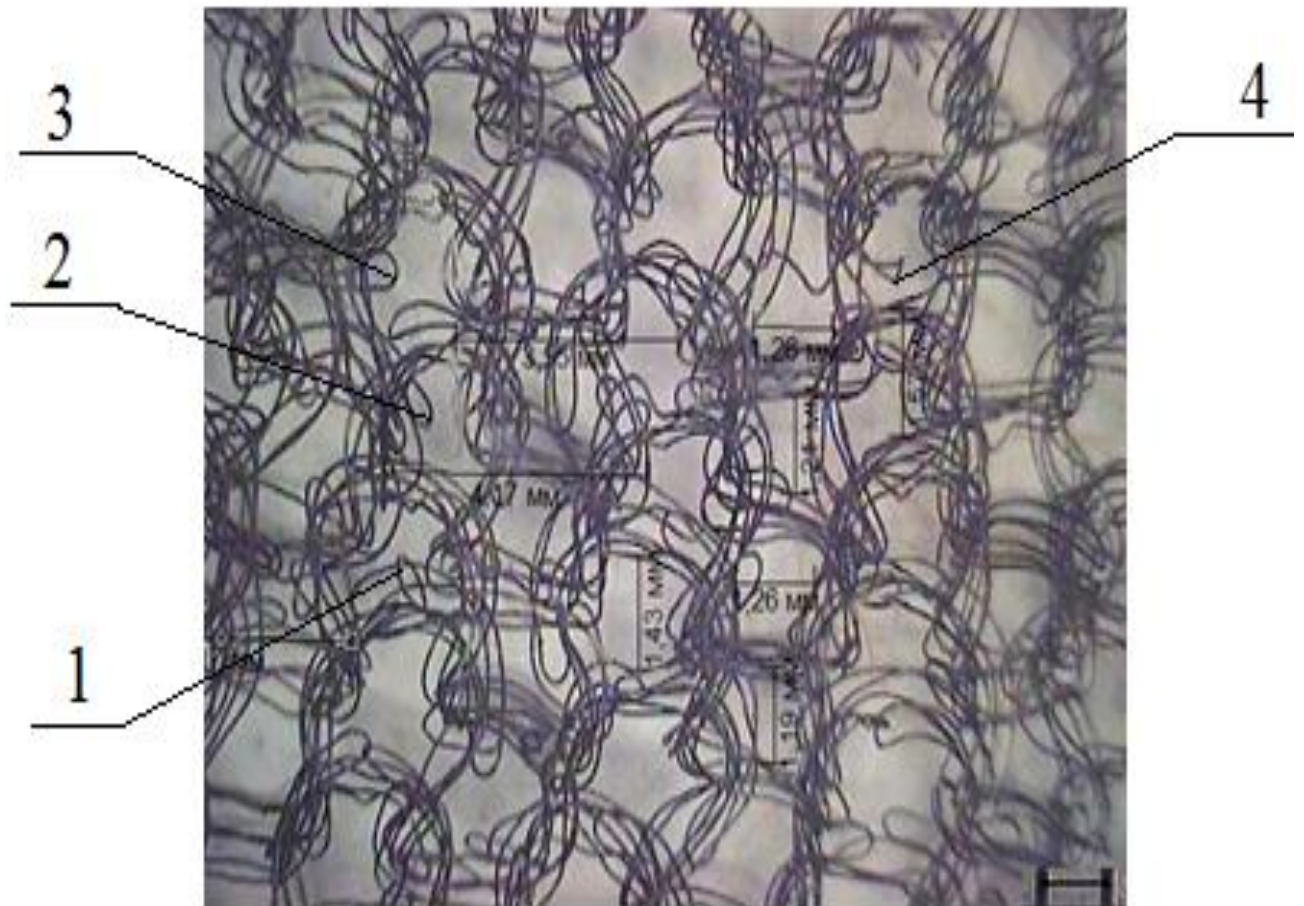


Рисунок 4.10 – Изображение увеличенной структуры плюшевого полотна с жестким хаотически расположенным двухсторонним ворсом

Каждый из параметров трикотажа связанных при разных глубинах кулирования h_k замерялся в разных местах полотна 10 раз, затем определялись их средние значения, которые внесены в таблицу 4.6.

При расчете поверхностной плотности нити необходимо было учесть, что ворсовая нить при образовании каждой петли имеет две свободные петли, образующие ворс, поэтому остевая титановая нить не каждой петле имеет шесть палочек петель и протяжку, идущую к следующей петле образованной в петельной нити. В результате длина нити в петле ворсового полотна имеет семь сложений. Линейная плотность петельной нити после удаления химической составляющей составит 26 Текс, так как содержит только две титановые нити.

Таблица 4.6 - Основные параметры ворсовой поверхности трикотажа

№	Глубина кулирования h_k , мм	Петельный шаг		Высота петельного ряда		Длина нити в петле		Пористость П, %	Поверхностная плотность ρ , г/м ²
		A, мм	A _{ср} , мм	B, мм	B _{ср} , мм	l, мм	l _{ср} , мм		
1	3,5	3,3	3,30	2,17	2,1	5,7	5,37	77,6	142
2	3,5	3,34		1,97		5,2			
3	3,5	3,28		1,83		4,8			
4	3,5	3,46		2,1		5,8			
5	3,5	3,13		2,31		6,1			
6	3,5	3,28		2,1		4,7			
7	3,5	3,17		2,13		5,3			
8	3,5	3,37		1,98		4,6			
9	3,5	3,45		2,24		6,1			
10	3,5	3,15		2,0		5,4			
11	4	3,5	3,9	2,4	2,5	6,4	7,3	84	136
12	4	3,3		2,49		5,8			
13	4	3,56		2,52		6,2			
14	4	4,37		2,42		7,7			
15	4	4,4		2,46		8,2			
16	4	3,8		2,5		8,1			
17	4	4,1		2,57		7,4			
18	4	4,3		2,4		7,7			
19	4	3,7		2,52		8,2			
20	4	3,6		2,54		6,8			

Поверхностная плотность полотна определялась по формуле:

$$\rho = \frac{l \times 7 \times T}{AB}; \text{г/м}^2$$

Для выработанных образцов определялись разрывные характеристики: прочность и растяжимость в продольном и поперечном направлениях, а также рассчитывались показатели пористости материала.

При расчете пористости также учитывалось семикратное сложение нити:

$$\Pi = 1 - \frac{\rho}{l \times 7} \times d_y, \%$$

Для определения разрывных характеристик использовалась разрывная машина INSTRON 1122 [6.3]. Методика измерения показателей разрывных характеристик полотен представлена в главе 2. Образцы испытывались при зажимной длине 100мм, при скорости 200 мм/мин.

Анализ прочностных характеристик выполнялся по диаграммам растяжения. На рисунке 11а б, приложения, представлены диаграммы растяжения, в продольном и поперечном направлениях образца плюшевого трикотажа с жестким ворсом, выработанного переплетением двухизнаночная гладь из петельной титановой нити. Исследование разрывных характеристик проводилось по экспериментальным образцам плюшевого трикотажа с жестким ворсом после одновременного удаления из полотна химической нити, как самостоятельной составляющей плюшевой нити, так и составляющей оболочку комбинированной титановой нити. Результаты исследований представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 –Определение разрывных характеристик

№ вар	Глубина кулирования $h_k, \text{мм}$	Диаметр, мкм	растяжимость, %		Прочность, Н/см	
			в продольном направлении	в поперечном направлении	в продольном направлении	в поперечном направлении
1	3,5	60	34,7	38,4	64,2	61,8
2	4	60	35,8	38,8	63,4	60,9

Испытания образцов показали, что по прочностным характеристикам образцы полотен из петельной комбинированной титановой нити удовлетворяют самым высоким медицинским требованиям: прочность на разрыв по длине и ширине превышает 60 Н/см. Очень важно, что по растяжимости трикотажные ворсовые полотна работают практически одинаково по ширине и длине. Растяжимость полотна в обоих направлениях превышает 34%, что позволяет применять полотна, практически не считаясь с направлением вязания. Важно отметить также, что полотно из петельной нити не распускается с краев после разрезания, рисунок 4.11, что позволяет производить вырезание или подрезку имплантатов в процессе проведения операции.

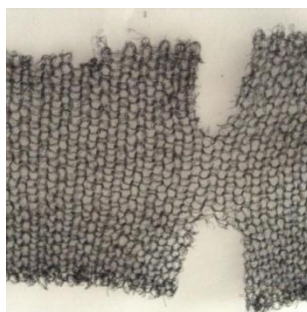


Рисунок 4.11– Фотография структуры ворсового полотна после подрезания края

Следует отметить также, что при переработке петельной титановой нити, полотна получают с ворсом на обеих сторонах, что создает возможность использовать разработанные полотна как в виде армирующей составляющей композиционного материала, так и в качестве самофиксирующихся материалов.

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 4

1. На основании анализа используемых хирургических сеток и трикотажа плюшевых переплетений установлено, что трикотаж известных плюшевых переплетений, имеющих ворсистую петельную структуру, выступающую над поверхностью грунта может быть использован в качестве армирующего элемента композиционных медицинских материалов независимо от способа закрепления плюшевой нити в грунте.
2. Установлено, что для самофиксации хирургической сетки, вырабатываемой из титановой нити на базе трикотажа плюшевых переплетений, разрабатываемая сетка должна иметь жесткие короткий ворс (в виде крючков), не должна закручиваться с краев и распускаться при ее подкрое во время выполнения операций.
3. Разработана принципиально новая технология получения ворсового трикотажа из специально подготовленной петельной титановой нити, вырабатываемой основовязальным или кулирным способами из комбинированной титановой нити.
4. Разработана структура двухзиганочного ворсового трикотажа, с использованием специально подготовленной петельной титановой нити, обеспечивающая незакручиваемость полотна с краев имплантата.
5. Установлены режимы переработки петельной титановой нити на плосковязальной машине «Vesta» 130-Е, 7 класса показавшие, что при изменении глубины кулирования h_k в пределах от 3,5 до 4 мм, поверхностная плотность ρ полотен с ворсовой поверхностью меняется в пределах от 136 до 141 г/м², а пористость Π полотен меняется, соответственно, от 85-86%.
6. Оценка диаграммы «нагрузка-удлинение» трикотажных плюшевых полотен из петельной титановой нити, выполненных на машине «Instron», показала, что прочность материала по длине и ширине превышает 60 Н/см, а

растяжимость в продольном и поперечном направлениях составляет более 34%, что отвечает требованиям медиков.

7. Установлено, что разработанная структура ворсового полотна из специально подготовленной петельной нити, обеспечивает необходимую устойчивость материала к роспуску при его подрезании, что позволяет проводить необходимый подкрой имплантата при его использовании.
8. Наличие жесткого ворса на обеих сторонах материала, выработанного из специально подготовленной петельной титановой нити, позволит использовать разработанный ворсовый трикотаж, как в качестве армирующей составляющей композиционных материалов, так и в качестве материалов обладающих возможностью самофиксации на раневой поверхности.

5 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ КУЛИРНОГО ПОЛОТНА ОТ ОСНОВНЫХ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА

Современные требования к сетчатым имплантатам представляют повышенные требования. Развивающиеся представления о патофизиологических процессах заставляют снижать материалоемкость и одновременно повышать эластичность, прочность и пористость материала.

Следует обратить внимание, что многие важные особенности имплантата: материалоемкость, прочность, растяжимость и пористость [3.1] связаны с ключевым показателем полотна: поверхностной плотностью полотна. В свою очередь поверхностная плотность зависит от петельного шага A , высоты петельного ряда B и, следовательно, они влияют на основные показатели.

Для кулирных полотен с целью установления зависимости между регулируемыми факторами и степенью их влияния на результаты процесса, а также их влияние друг на друга применим бинарную теорию причинно-следственной информации [1.8], а для прогнозирования выходных параметров трикотажа в зависимости от параметров процесса воспользуемся ризоматическим методом исследования [2.2].

5.1 Исследование влияния параметров процесса на поверхностную плотность материала с использованием бинарной причинно-следственной теории информации

Так как от поверхностной плотности зависят пористость, прочность и растяжимость полотна исследование зависимости влияния параметров процесса

на параметры полотна с помощью причинно-следственной теорией информации, выполним для наиболее важного показателя полотна – поверхностная плотность.

С целью получения материалов с заданной поверхностной плотностью, необходимо определить наиболее значимые регулируемые факторы, влияющие на выходной параметр – поверхностную плотность материала.

Данный метод исследования, основанный на предпосылках Шеннона [1.8] использовался в работах, проводимых на кафедре ткачества и трикотажа [3.9, 3.5, 3.6.] МГТУ им. А.Н. Косыгина. При использовании данного метода, возможно, идентифицировать исследуемые факторы, устранить эффекты сопутствия (возникающие при использовании корреляционного метода и метода планирования эксперимента), а также автоматизировать метод расчета.

В качестве исследуемых регулируемых факторов влияния были выбраны такие факторы как: глубина кулирования $h_k=2;2,5;3;4$ мм, регулируемая на вязальной машине уровнем плотности. Скорость движения каретки V_k , м/с, оказывающая влияние на уровень перетяжки нити в процессе ПО, а, следовательно, и на поверхностную плотность полотна. Число оборотов вращения оттяжных валов n , мин⁻¹, регулирующее усилие оттяжки на вязальной машине с механизмом оттяжки общего типа.

Исследование проводилось по результатам замеров параметров процесса и оценки параметров полотна на основе полученных образцов трикотажа, экспериментальные значения представлены в таблице 5.1. Автоматизированная таблица данных представлена в приложении на рисунках 12.-17.

Для расчета коэффициентов влияния входящих параметров на исходящий, с использованием бинарного метода вычисления, необходимо определить величину энтропии H_i и информации I_{ij} распределения вероятностей.

Энтропия– теоретико-информационная мера степени неопределенности случайной величины [1.8].

Таблица 5.1 – экспериментальные значения факторов и их влияние на поверхностную плотность материала

№	Глубина кулирования, $h_k, \text{мм}$	Скорость каретки, $V_k, \text{ м/сек}$	Частота вращения оттяжных валов, $n, \text{ мин}^{-1}$	Поверхностная плотность, $\rho, \text{ г/м}^2$
	X1	X2	X3	Y
1	2	0,3	28	13,4
2	2	0,4	28	13,2
3	2	0,5	30	13,5
4	2	0,6	30	13,2
5	2,5	0,3	30	12,2
6	2,5	0,4	30	12,4
7	2,5	0,5	32	12,3
8	2,5	0,6	32	12,5
9	3	0,3	32	11,3
10	3	0,4	32	11,5
11	3	0,5	34	11,6
12	3	0,6	34	11,4
13	4	0,3	32	11,1
14	4	0,4	32	11,4
15	4	0,5	34	11,1
16	4	0,6	34	11,1

Матрица эксперимента представлена в приложении на рисунке 12.

Описание факторов эксперимента, представлено в приложении на рисунке 13.

Для расчета величины энтропии распределения вероятностей для одномерной случайной величины воспользуемся программой THEORY, результаты расчета представлены в приложении рис. 14.

$$H_i = \sum P(X_{k_i}) \log_2 P(X_{k_i}), \quad (5.1)$$

где H_i - энтропия распределения вероятности случайных величин;

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

Расчет собственной вероятности, то есть вероятности появления значения каждой величины по отношению к общему количеству ее значений, производится в автоматическом режиме для каждого из рассматриваемых параметров: поверхностной плотности ρ , скорости движения каретки V_k и числа оборотов оттяжных валов n , приведенных в таблице 5.1.

Результаты автоматизированного расчета энтропии составили:

$$H(x_1) = 0,602$$

$$H(x_2) = 0,602$$

$$H(x_3) = 0,574$$

$$H(y) = 1,039$$

Следует отметить, что энтропия распределения вероятности параметров $H(x_1)$ и $H(x_2)$ совпадает, что говорит об отсутствии влияния друг на друга данных факторов, то есть глубина кулирования и скорость движения каретки являются взаимно независимыми друг от друга.

Также необходимо определить значение информации между i и j факторами I_{ij} . То есть определить степень влияния одного фактора на другой. Имея всего четыре фактора, их взаимное влияние будет определяться шестью сочетаниями:

$$I_{41} = h_k - \rho; I_{42} = V_k - \rho; I_{43} = n - \rho; I_{32} = V_k - n; I_{31} = h_k - n; I_{21} = h_k - V_k;$$

где: h_k - глубина кулирования, мм;

V_k - скорость вязания, м/с;

n – число оборотов оттяжных валов, мин^{-1} ;

ρ - поверхностная плотность, г/м².

Информация определяет вероятность совместного (парного) появления двух величин. Величину информации рассчитаем по формуле 4.2, заменив логарифм по основанию 2 на десятичный, что не повлияет на получаемые коэффициенты:

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

где $P(X_{rj})$ - вероятность состояний случайной величины X_{rj} .

$P(X_{ki}, X_{rj})$ – вероятность состояний случайных величин X_{ki} и X_{rj} .

Для параметров, приведенных в таблице 5.1, величина вероятности парного сочетания двух величин, при расчете в автоматическом режиме (приложение рис.15), сведена в таблицу 5.2

Таблица 5.2 – расчетная величина информации вероятности между заданными факторами

I_{41}	I_{42}	I_{43}	I_{32}	I_{31}	I_{21}
0,564	0,437	0,447	0,122	0,273	0

Значение I_{21} , равное нулю, подтверждает, установленное ранее, отсутствие взаимного влияния глубины кулирования и скорости вязания друг на друга.

Построим граф G , указывающий направление влияния факторов друг на друга. При этом количество ребер в графе определяется:

$$L = \frac{n(n-1)}{2}$$

где: n – количество факторов

Таким образом, для четырех факторов, граф G должен содержать шесть ребер. Но, необходимо учесть, что в данном эксперименте, расчетным методом установлено, что два фактора (глубина кулирования h_k и скорость вязания V_k) не оказывают влияния друг на друга, то есть одно ребро в графе между h_k и V_k следует исключить. Для определения направлений связи в графе предлагается использовать следующее соотношение: если $I_{12} : H_1 > I_{21} : H_2$, то направление связи

стремится от второго фактора к первому, I и H соответственно информация и энтропия распределения вероятностей случайных величин.

Так как $I_{21} = I_{12}$, то если $H_1 < H_2$, то направление связи будет от большего к меньшему. Таким образом, из двух связанных ребром графа вершин та, у которой значение больше, оказывает влияние на ту, у которой значение меньше.

Полученный граф [1.40] представим на рис. 5.1.

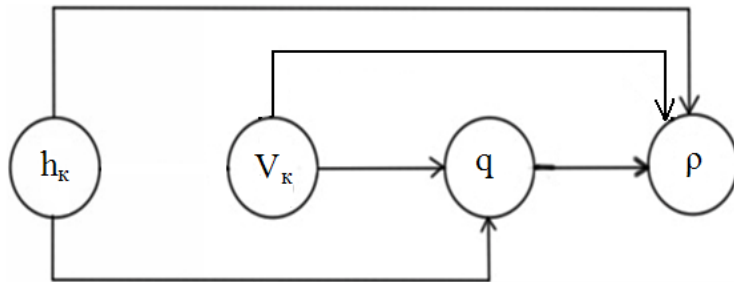


Рисунок 5.1 – Граф G с указанием направления влияния факторов друг на друга

Расчет коэффициента причинного влияния j -го фактора на i -й $-\Gamma_{ij}$, в программе THEORY (приложение рис.16) выполняется по формуле (5.3):

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

Следует учесть, что парные коэффициенты Γ_{ij} не могут служить мерой истинного влияния между факторами. В качестве такой меры могут использоваться частные коэффициенты причинного влияния g_{ij} , причем $\Sigma \Gamma_{ij} \leq \Sigma g_{ij}$. В качестве оценки косвенного причинного влияния X_j на X_i , может использоваться разность $\Gamma_{ij} - g_{ij}$.

Для определения частных коэффициентов причинного влияния g_{ij} , необходимо составить систему нелинейных относительно g_{ij} алгебраических уравнений, используя направления связей указанных в графе G , рисунок 5.1.

$$\begin{aligned}
 \Gamma_{41} &= g_{41} + g_{31} g_{43}; \\
 \Gamma_{42} &= g_{42} + g_{32} g_{43}; \\
 \Gamma_{43} &= g_{43}; \\
 \Gamma_{31} &= g_{31}; \\
 \Gamma_{32} &= g_{32};
 \end{aligned}
 \tag{5.4}$$

$\Gamma_{21} = 0$; отсутствие взаимного влияния.

Результаты расчетов составленных уравнений приведены в таблице 5.3

Электронный расчет представлен на рис.17 приложения.

Таблица 5.3 – Результаты решения уравнений 5.4

Направление связи	Парные коэффициенты Γ_{ij}	Частные коэффициенты g_{ij}	Разность $\Gamma_{ij} - g_{ij}$
1→4	0,937	0,75	0,23
2→4	0,726	0,101	0,11
3→4	0,778	0,516	0
1→3	0,453	0,45	0
2→3	0,203	0,203	0
1→2	0	0	0

Таким образом, можно сделать вывод, что наибольшее влияние на поверхностную плотность полотна оказывает глубина кулирования ($g_{14} = 0,75$) и число оборотов оттяжных валов, обеспечивающих оттяжку полотна ($g_{34} = 0,516$). Скорость каретки оказывает влияние на поверхностную плотность полотна в четыре раза меньше по сравнению с глубиной кулирования. Кроме того присутствует незначительное влияние глубины кулирования и скорости вязания на величину оттяжки полотна.

5.2 Прогнозирование параметров процесса вязания от требуемых параметров кулирного полотна

Используя ризоматический метод, проведем исследование кулирного трикотажа и установим взаимосвязи входящих и выходящих параметров.

Схема процесса вязания с указанием входящих (регулируемых) параметров и исходящих (расчетных) параметров представлена на рисунке 5.2.

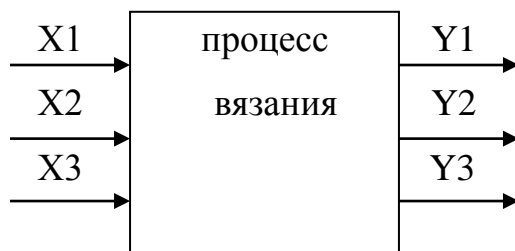


Рисунок 5.2 – Схема процесса вязания с указанием входящих и исходящих параметров

Так, с использованием ризоматического метода исследования при разработке трикотажных кулирных полотен с заданными выходящими параметрами, например, с заданными значениями поверхностной плотности, петельного шага и высоты петельного ряда можно установить стабильные условия выработки, то есть конкретизировать значения таких регулируемых параметров как, глубина кулирования, скорость каретки, усилие оттяжки.

Разрабатываемое полотно по требованию заказчика, должно иметь определенные значения по таким параметрам как поверхностная плотность ρ и пористость Π материала. Пористость материала при этом определяется площадью ячейки, получаемой на полотне, что в свою очередь зависит от значений петельного шага A и высоты петельного ряда B .

Таким образом, для составления уравнений зависимости, в качестве входящих (регулируемых) параметров будем использовать значения глубины

кулирования $h_k, \text{мм}$, скорости вязания $V_k, \text{м/с}$, усилия оттяжки в виде числа оборотов оттяжных валов $n, \text{мин}^{-1}$. В качестве исходящих параметров используем значения петельного шага $A, \text{мм}$, высоты петельного ряда $B, \text{мм}$ и поверхностной плотности $\rho, \text{г/м}^2$. Для исследования использовались три образца переплетения двухизнаночная гладь, выработанных на плосковязальной машине 7 класса из комбинированной титановой нити $d=0,06 \text{ мм}$. Значения установочных параметров на машине приведены для трех вариантов образцов. Расчет исходящих параметров проводился с использованием электронного комплекса «ДиаМорф». Исходящие параметры рассчитаны для образцов после удаления текстильной оболочки, то есть для образцов, содержащих только титановую нить, в виде, используемом медиками для хирургических операций. Значения установочных и расчетных параметров представлены в таблице 5.8.

Для значений представленных в таблице 5.8, матрица P , описывающая процесс ризоматического исследования, будет иметь размер три на три.

$$(hk ; V_k ; n ;) * \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{vmatrix}$$

Система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} A = (hkP_{11} + V_kP_{21} + nP_{31}); \\ B = (hkP_{12} + V_kP_{22} + nP_{32}); \\ \rho = (hkP_{13} + V_kP_{23} + nP_{33}). \end{cases}$$

Таблица 5.8 – значения входящих (установочных) и выходящих (расчетных) параметров

		Образец 1	Образец 2	Образец 3
Входящие параметры	глубина кулирования $h_k, \text{мм}$	2	2,5	3
	скорость вязания $V_k, \text{м/с}$,	0,3	0,4	0,6
	Частота вращения оттяжных валов $n, \text{мин}^{-1}$	28	30	32
Выходящие параметры	петельный шаг $A, \text{мм}$	3,6	3,5	3,4
	высота петельного ряда $B, \text{мм}$	2,4	2,8	3,2
	поверхностная плотность $\rho, \text{г/м}^2$	13,4	12,4	11,5

Теперь, в соответствии с тремя вариантами исследований, запишем каждое из полученных уравнений в виде системы, сначала для параметра A , потом для параметров B и ρ .

$$\begin{cases} A_1 = (hk_1 P_{11} + V_k P_{21} + nq_1 P_{31}) \\ A_2 = (hk_2 P_{11} + V_k P_{21} + n_2 P_{31}) \\ A_3 = (hk_3 P_{11} + V_k P_{21} + nq_3 P_{31}) \end{cases} \quad (5.13)$$

Для доказательства, что система имеет единственное решение, найдем значение определителя матрицы:

$$\begin{aligned}
 \Delta &= \begin{vmatrix} 2 & 0,3 & 28 \\ 2,5 & 0,4 & 30 \\ 3 & 0,6 & 32 \end{vmatrix} = \\
 &= (2 \times 0,4 \times 32) + (0,3 \times 30 \times 3) + (2,5 \times 0,6 \times 28) - (28 \times 0,4 \times 3) \\
 &\quad - (2,5 \times 0,6 \times 28) - (30 \times 0,6 \times 2) \\
 &= 25,6 + 27 + 42 - 33,6 - 42 - 36 = -17 \neq 0
 \end{aligned}$$

Если определитель матрицы не равен нулю, то система уравнений имеет единственное решение.

Систему уравнений 5.13 запишем с числовыми значениями в виде расширенной матрицы. Решим систему методом Гаусса [6.5]

$$\begin{pmatrix} 2 & 0,3 & 28 \\ 2,5 & 0,4 & 30 \\ 3 & 0,6 & 32 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3,6 \\ 3,5 \\ 3,4 \end{pmatrix}$$

Исходную систему запишем в виде:

$$\begin{aligned}
 X_3 &= \frac{4}{20} = 0,2; \\
 X_2 &= \frac{[-0,8 - (-4X_3)]}{0,12} = \frac{[-0,8 - (-4 \times 0,2)]}{0,12} = 0 \\
 X_1 &= \frac{3,4 - (0,6X_2 + 32X_3)}{3} = \frac{3,4 - (0,6 \times 0 + 32 \times 0,2)}{3} = -1
 \end{aligned}$$

Повторим результаты вычислений для каждого параметра.

$$\begin{cases} B_1 = hk_1 P_{11} + V_{k1} P_{21} + n_1 P_{31} \\ B_2 = hk_2 P_{11} + V_{k2} P_{21} + n_2 P_{31} \\ B_3 = hk_3 P_{11} + V_{k3} P_{21} + n_3 P_{31} \end{cases} \quad (5.14)$$

Запишем 5.14 в виде расширенной матрицы числовых значений:

$$\begin{pmatrix} 2 & 0,3 & 28 \\ 2,5 & 0,4 & 30 \\ 3 & 0,6 & 32 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2,4 \\ 2,8 \\ 3,2 \end{pmatrix}$$

Используем тот же принцип вычисления, что и для первой матрицы.

Запишем систему уравнений:

$$X_3 = \frac{0,8}{20} = 0,04;$$

$$X_2 = \frac{[0,16 - (-4X_3)]}{0,12} = \frac{[-0,16 - (-4 \times 0,04)]}{0,12} = 0$$

$$X_1 = \frac{3,2 - (0,6X_2 + 32X_3)}{3} = \frac{3,2 - (0,6 \times 0 + 32 \times 0,04)}{3} = 0,64$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_1 = hk_1 P_{11} + V_{K1} P_{21} + n_1 P_{31} \\ \rho_2 = hk_2 P_{11} + V_{K2} P_{21} + n_2 P_{31} \\ \rho_3 = hk_3 P_{11} + V_{K3} P_{21} + n_3 P_{31} \end{array} \right. \quad (5.15)$$

Запишем 5.15 в виде расширенной матрицы числовых значений:

$$\begin{pmatrix} 2 & 0,3 & 28 \\ 2,5 & 0,4 & 30 \\ 3 & 0,6 & 32 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 13,4 \\ 12,4 \\ 11,5 \end{pmatrix}$$

Используем тот же принцип вычисления, что и для первой матрицы.

Запишем систему уравнений:

$$X_3 = \frac{17,5}{20} = 0,875;$$

$$X_2 = \frac{[-3,38 - (-4X_3)]}{0,12} = \frac{[-3,38 - (-4 \times 0,875)]}{0,12} = 1$$

$$X_1 = \frac{11,5 - (0,6X_2 + 32X_3)}{3} = \frac{11,5 - (0,6 \times 1 + 32 \times 0,875)}{3} = -5,7$$

Результаты вычислений сведем в таблицу 5.9

	Петельный шаг, А, мм	Высота петельного ряда, В, мм	Поверхностная плотность ρ, г/м ²
X1	-1	0,64	-5,7
X2	0	0	1
X3	0,2	0,04	0,875

Обобщенная матрица примет вид:

$$P = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0,64 & -5,7 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0,2 & 0,04 & 0,875 \end{pmatrix}$$

$$(hk; V_k; n) * \begin{vmatrix} -1 & 0,64 & -5,7 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0,2 & 0,04 & 0,875 \end{vmatrix}$$

Используя матрицу P, можно записать систему уравнений 5.16

$$\begin{cases} A = hkP_{11} + V_k P_{21} + nP_{31} = -1 hk + 0V_k + 0,2n \\ B = hkP_{12} + V_k P_{22} + nP_{32} = 0,64hk + 0V_k + 0,04n \\ \rho = hkP_{13} + V_k P_{23} + nP_{33} = -5,7hk + 1V_k + 0,875n \end{cases} \quad (5.16)$$

Система уравнений 5.16, позволит установить взаимосвязь между входными и выходными параметрами, и задаваясь установочными параметрами процесса на вязальной машине, определить выходные параметры вырабатываемого полотна, такие как, петельный шаг А, высоту петельного ряда В и поверхностную плотность ρ, а значит заранее определять соответствие данного полотна заданным условиям.

Получение обратных уравнений, позволит определить установочные параметры процесса вязания для получения заданных параметров: петельного шага А, высоты петельного ряда В и поверхностной плотности ρ.

При построении обратной матрицы, необходимо вычислить величину определителя. Если определитель матрицы не равен нулю, то матрица имеет единственное решение.

Составим обратную матрицу и найдем значение определителя.

$$P^{-1} = R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

Система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} hk = Ar_{11} + Br_{21} + \rho r_{31} \\ V_k = Ar_{12} + Br_{22} + \rho r_{32} \\ n = Ar_{13} + Br_{23} + \rho r_{33} \end{cases} \quad (5.17)$$

Запишем матрицу 5.17 в числовом значении для нахождения определителя матрицы.

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} 3,6 & 2,4 & 13,4 \\ 3,5 & 2,8 & 12,4 \\ 3,4 & 3,2 & 11,5 \end{vmatrix} = \\ &= (3,6 \times 2,8 \times 11,5) + (2,4 \times 12,4 \times 3,4) + (3,5 \times 3,2 \times 13,4) \\ &\quad - (13,4 \times 2,8 \times 3,4) - (2,4 \times 3,5 \times 28) - (12,4 \times 3,2 \times 3,6) \\ &= 115,92 + 101,184 + 150,08 - 127,568 - 235,2 - 142,848 \\ &= -138,432 \neq 0 \end{aligned}$$

Запишем матрицу 5.17 для параметра глубины кулирования hk :

$$\begin{cases} hk_1 = A_1 r_{11} + B_1 r_{21} + \rho_1 r_{31} \\ hk_2 = A_2 r_{11} + B_2 r_{21} + \rho_2 r_{31} \\ hk_3 = A_3 r_{11} + B_3 r_{21} + \rho_3 r_{31} \end{cases} \quad (5.18)$$

В числовом значении матрица примет вид:

$$\begin{pmatrix} 3,6 & 2,4 & 13,4 \\ 3,5 & 2,8 & 12,4 \\ 3,4 & 3,2 & 11,5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2 \\ 2,5 \\ 3 \end{pmatrix}$$

Решим матрицу методом Гауса.

Запишем систему уравнений:

$$\begin{aligned} X_3 &= \frac{0}{0,103} = 0; \\ X_2 &= \frac{0,5725}{0,4812} = 1,1897 \\ X_1 &= \frac{3 - 3,2X_2}{3,4} = \frac{3 - (3,2 \times 1,1897)}{3,4} = -0,237 \end{aligned}$$

Запишем матрицу 5.17 для параметра скорости вязания V_k м/с:

$$\begin{cases} V_{k1} = A_1 r_{11} + B_1 r_{21} + \rho_1 r_{31} \\ V_{k2} = A_2 r_{11} + B_2 r_{21} + \rho_2 r_{31} \\ V_{k3} = A_3 r_{11} + B_3 r_{21} + \rho_3 r_{31} \end{cases} \quad (5.19)$$

В числовом значении матрица примет вид:

$$\begin{pmatrix} 3,6 & 2,4 & 13,4 \\ 3,5 & 2,8 & 12,4 \\ 3,4 & 3,2 & 11,5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,3 \\ 0,4 \\ 0,6 \end{pmatrix}$$

Запишем систему уравнений:

$$\begin{aligned} X_3 &= \frac{0,01}{0,103} = 0,097; \\ X_2 &= \frac{0,2116 - (-0,5404X_3)}{0,4812} = \frac{0,2116 - (-0,5404 \times 0,097)}{0,4812} = 0,5487 \\ X_1 &= \frac{0,6 - (3,2X_2 + 11,5X_3)}{3,4} = \frac{3 - (3,2 \times 0,5487 + 11,5 \times 0,097)}{3,4} = -0,6680 \end{aligned}$$

Запишем матрицу 5.17 для параметра числа вращения оттяжных валов, n , мин⁻¹:

$$\begin{cases} n_1 = A_1 r_{11} + B_1 r_{21} + \rho_1 r_{31} \\ n_2 = A_2 r_{11} + B_2 r_{21} + \rho_2 r_{31} \\ n_3 = A_3 r_{11} + B_3 r_{21} + \rho_3 r_{31} \end{cases} \quad (5.20)$$

В числовом значении матрица примет вид:

$$\begin{pmatrix} 3,6 & 2,4 & 13,4 \\ 3,5 & 2,8 & 12,4 \\ 3,4 & 3,2 & 11,5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 28 \\ 30 \\ 32 \end{pmatrix}$$

Запишем систему уравнений:

$$X_3 = \frac{0}{0,103} = 0;$$

$$X_2 = \frac{2,87 - (-0,5404X_3)}{0,4812} = \frac{2,87}{0,4812} = 5,9643$$

$$X_1 = \frac{32 - (3,2X_2 + 11,5X_3)}{3,4} = \frac{32 - (3,2 \times 5,9643)}{3,4} = 3,798$$

Результаты вычислений сведем в таблицу 5.10

Таблица 5.10 – Результаты вычисления систем уравнений 5.18, 5.19 и 5.20

	Глубина кулирования, h_k , мм	Скорость каретки, V_k , м/с	Частота вращения оттяжных валов, n , мин ⁻¹
X1	-0,237	-0,6680	3,798
X2	1,1897	0,5487	5,9643
X3	0	0,097	0

Обобщенная матрица примет вид:

$$(h_k; V_k; n) * \begin{vmatrix} -0,237 & -0,6680 & 3,798 \\ 1,1897 & 0,5487 & 5,9643 \\ 0 & 0,097 & 0 \end{vmatrix}$$

Используя матрицу P, можно записать систему уравнений 5.21

$$\begin{cases} h_k = AP_{11} + B P_{21} + \rho P_{31} = -0,237 A + 1,1897 B \\ V_k = AP_{12} + B P_{22} + \rho P_{32} = -0,6680 A + 0,5487 B + 0,097 \rho \\ n = AP_{13} + B P_{23} + \rho P_{33} = 3,798 A + 5,9643 B \end{cases} \quad (5.21)$$

Система уравнений 5.21, позволяет отрегулировать параметры вязания h_k , V_k и n для получения на полотне заданных параметров A, B, ρ .

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5

1. Установлено, что основным параметром, характеризующим разрабатываемые трикотажные полотна, является поверхностная плотность полотна ρ , что позволило принять его за основной выходной параметр исследования.
2. Исследование изменения поверхностной плотности кулирного трикотажа ρ , из комбинированной титановой нити диаметром 0,06мм, в зависимости от глубины кулирования h_k , скорости вязания V_k и числа оборотов оттяжных валов n , выполненное с использованием бинарной теории причинно-следственной информации показало, что на поверхностную плотность трикотажа, наибольшее влияние оказывает глубина кулирования ($g_{14}=0,75$) и число оборотов оттяжных валов, обеспечивающих оттяжку полотна ($g_{34}= 0,516$).
3. Установлено, что наибольшее влияние на поверхностную плотность кулирного трикотажа оказывает глубина кулирования ($g_{14}=0,75$), а влияние скорости движения каретки на поверхностную плотность полотна в семь раз меньше по сравнению с глубиной кулирования ($g_{24}= 0,101$).
4. Установлено присутствие незначительного влияния глубины кулирования и скорости вязания на величину оттяжки полотна ($g_{13}= 0,45$; $g_{23}= 0,203$), а также отсутствие зависимости между глубиной кулирования и скоростью движения каретки.
5. Получены уравнения позволяющие прогнозировать основные параметры кулирного полотна: поверхностная плотность ρ , петельный шаг A и высоту петельного ряда B , при заданных параметрах процесса: глубине кулирования h_k , скорости вязания V_k и частоты вращения оттяжных валов n .
6. Решена обратная задача прогнозирования параметров процесса вязания полотна на плосковязальной машине при заданных значениях параметров кулирного полотна: поверхностной плотности ρ , высоты петельного ряда B и петельного шага A .

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Установлено, что использование химической нити в качестве составляющей комбинированной титановой нити позволяет снизить коэффициент трения титановой нити в 2,8 раза и обеспечить возможность ее переработки на вязальном оборудовании различного типа.
2. Разработана технология выработки сверхлегких сетчатых материалов, применяемых для протезирования на базе основовязальной технологии, обладающих малой распускаемостью и пониженной материалоемкостью.
3. Установлено, что при выработке ССМ для достижения сверхлегкости основовязанных полотен, поверхностная плотность которых менее 35 г/м^2 , необходимо использовать титановую нить диаметром от 30 мкм до 40 мкм, при этом прочностные характеристики (прочность - не менее 16 Н/см), и характеристики пористости материала (пористость - не менее 80%) полностью соответствуют требованиям медиков.
4. Разработана технология выработки кулирных гладких ячеистых полотен из комбинированной титановой нити диаметром 60 мкм на базе двухзигзажных переплетений, на основе которых возможна выработка цельновязанных эндопротезов сложных форм, имеющих нераспускающиеся края и незакручивающуюся структуру.
5. Установлено, что для достижения необходимых физико-механических свойств кулирных цельновязанных эндопротезов сложной формы, возможно использование титановой нити диаметром 0,06 мкм в два сложения, при этом поверхностная плотность материала составит менее 35 г/м^2 , прочность материала в продольном направлении составит 29-31 Н/см, в поперечном направлении 23-29 Н/см, что полностью соответствует заданным характеристикам.
6. Разработана принципиально новая кулирная технология получения трикотажа с ворсовой поверхностью из специально вывязанной петельной

титановой нити, полученной с использованием основовязального или кулирного способов, что обеспечивает наличие на полотне двухстороннего короткого хаотично направленного ворса и позволяет использовать полученные ворсовые полотна в качестве основы для композиционных медицинских материалов и рекомендовать его в качестве самофиксирующегося материала.

7. Установлено, что на основные параметры полотна, вырабатываемого по основовязальной технологии, в большей степени оказывают влияние натяжение нитей основы и частота вращения оттяжных валов, а на параметры полотна выработанного по кулирной технологии, в большей степени влияют такие параметры процесса как глубина кулирования и частота вращения оттяжных валов.
8. На основе численных методов решены прямая и обратная задачи прогнозирования основных параметров кулирных и основовязанных полотен: поверхностной плотности ρ , петельного шага A и высоты петельного ряда B , при заданных параметрах процессов: при кулирной технологии - глубине кулирования h_k , скорости вязания V_k и частоте вращения оттяжных валов n ; при основовязальной технологии – натяжения нитей основы T , частоте вращения главного вала n , частоте вращения оттяжных валов, выраженной через передаточные отношения шестерен K_n .
9. На основании разработанной технологии выработана партия гладких основовязанных полотен, переданная для исследования в ЦКБ РАН и ФГБУ хирургии им. Вишневого, партия цельновязанных эндопротезов и плюшевых кулирных полотен, переданная для исследования в ООО НПФ «Темп».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**Книги:**

- 1.1 Жуковский В.А. Полимерные эндопротезы для герниопластики/ В.А. Жуковский.– СПб.: Эскулап, 2011, -104 с.
- 1.2 Гюнтер В.Э. Имплантаты с памятью формы в медицине / В.Э. Гюнтер.– Томск:СТТ, 2002,–232с.
- 1.3 Кудрявин Л.А. Основы технологии трикотажного производства. Учебное пособие для вузов/ Л.А. Кудрявин, И.И. Шалов. — М.: Легпромбытиздат, 1991, — 496 с.
- 1.4 Мукимов М.М. Кулирный плюшевый трикотаж/ М.М. Мукимов. – М.: Легпромбытиздат, 1991, — 224 с.
- 1.5 Торкунова З.А. Испытания трикотажа/ З.А. Торкунова. – М.: Легпромбытиздат, 1985, – 200с.
- 1.6 Щербаков В.П. Прикладная и структурная механика волокнистых материалов: Монография/В.П.Щербаков. – М.: Тисо Принт, 2013, – 304 с.
- 1.7 Кобляков А.И. Структура и механические свойства трикотажа/ А.И.Кобляков. – М.: Легкая индустрия, 1973, -240с.
- 1.8 Николаев С.Д. Методы и средства исследования технологических процессов в ткачестве/ С.Д.Николаев, А.А. Мартынова, С.С. Юхин, Н.А. Власова – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2003,- 336 с.
- 1.9. Геворкян Ю.Л. Основы линейной алгебры и её приложений в технике: Учебник/ Ю.Л.Геворкян, А.Л.Григорьев,– Харьков: НТУ «ХПИ», 2002, – 542 с.
- 1.10. Ильин В. А. Линейная алгебра: Учебник для вузов/В.А.Ильин, Э. Г. Позняк, — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004, — 280 с.

- 1.11. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы: пер. с англ. / Г. Корн, Т. Корн, И. Г. Араманович ; Под ред. И.Г. Арамановича. - М. : Наука, 1968, - 720с.
- 1.12 Кобляков А.И. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению: учеб. пособие для вузов / под общ. ред. А.И. Коблякова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Легпромбытиздат, 1986,343 с.
- 1.13 Кудрявин Л.А. Методические указания по применению программного комплекса «Диаморф» для компьютерного анализа структуры трикотажа/Л.А.Кудрявин, В.А.Заваруев, О.Ф. Беляев, О.С. Котович – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2009.
- 1.14 Кудрявин Л.А. Проектирование трикотажа рисунчатых и комбинированных переплетений с использованием ЭВМ : учеб. пособие / Л. А. Кудрявин. - М. : [б. и.], 1984. - 236 с.
- 1.15 Шалов И.И. Основы проектирования трикотажного производства с элементами САПР/И.И. Шалов, Л.А. Кудрявин. - М.: Легпромбытиздат, 1989, – 288 с.
- 1.16 Колесникова Е.Н. Основы автоматизированных методов проектирования технологии петлеобразования/ Е.Н.Колесникова, М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2000, – 240 с.
- 1.17 Кудрявин Л.А. Лабораторный практикум по технологии трикотажного производства: учеб. для вузов./под общей редакцией д.т.н. проф. Л.А.Кудрявина, - М.: 1999. - 476 с.
- 1.18 Лазаренко В.М. Процессы петлеобразования/ В.М.Лазаренко – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 136 с.
- 1.19 Кобляков В.А. Sintral – управление процессом вязания/ В.А. Кобляков, А.С. Лукин. – М.: ЗАО «Экон-информ», 2014. – 250с.

- 1.20 Агапов В.А. Конструкции и рабочие процессы плосковязальных автоматов/ В.А. Агапов, Т.А. Крячкова, А.В. Труевцев, А.Ю. Баранов. – СПб.: «Санкт-Петербург», 2002. - 128 с.
- 1.21 Гусева А.А. Общая технология трикотажного производства/ А.А.Гусева. М.: Легпромбытиздат, 1987. – 296 с.
- 1.22 Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности/ А.Г. Севостьянов. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 392 с.
- 1.23 Нешатаев А.А. Художественное проектирование трикотажных полотен/ А.А. Нешатаев, Г.М. Гусейнов, Г.Г. Савватеева. М.: «Легкая промышленность и бытовое обслуживание», 1986. – 271 с.
- 1.24 Колесникова Е.Н. Разработка программ для плосковязальных машин фирмы «Steiger»: учебное пособие для вузов/ Е.Н. Колесникова, Л.А. Кудрявин, А.Ю. Галактионова, Т.В. Муракаева. М.: ГОУВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2008. – 216с.
- 1.25 Шалов И.И. Технология трикотажа/ И.И. Шалов, А.С. Далидович, Л.А. Кудрявин. М.: Легпромбытиздат, 1986. – 376 с.
- 1.26 Щербаков В.П. Прикладная механика нити/В.П. Щербаков. М.: РИО МГТУ им. А. Н. Косыгина. 2001. – 301 с.
- 1.27 Байда Л. И. Электрические измерения: учебник для вузов / Л. И.Байда, Н. С. Добротворский, Е. М. Душин и др.; Под ред. А. В. Фремке и Е. М. Душина. — 5-изд., перераб, и доп. — Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1980. —392 с.
- 1.28.Кузнецов Б. А. Расчет и проектирование петлеобразующей системы основовязальных машин / Б. А. Кузнецов. - Москва : Легпромбытиздат, 1989. – 152 с.
- 1.29 Цитович И. Г. Теоретические основы стабилизации процесса вязания / И. Г. Цитович. - М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 137 с.
- 1.30Морозова. Л.В. Методологические основы прогнозирования базовых структур основовязанных переплетений/ Л.В. Морозова. -М.: РГУТиС, 2007, 184 с.

- 1.31 Окс, Б. С. Оптимизация процесса петлеобразования на трикотажных машинах / Б. С. Окс. - М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 152с.
- 1.32 Каценеленбоген А. М. Машины и технология основвязального производства: учебник для техникумов / А. М. Каценеленбоген, О. Д. Галанина. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Легкая индустрия, 1966. – 430с.
- 1.33 Игнатова Л. П. Подготовка пряжи для трикотажного производства / Л. П. Игнатова, - М.: Гизлегпром, 1954. - 132 с
- 1.34 Кукин Г. Н. Текстильное материаловедение: учебник для вузов по спец. "Прядение натуральных и химических волокон / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобляков; под ред. Г. Н. Кукина. М.: Легпромбытиздат, 1985 – 214с.
- 1.35 Сурикова, Г. И. Использование свойств полотна при конструировании трикотажных изделий / Г. И. Сурикова, Л. Н. Флерова, Л. П. Юдина. - М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 128с.
- 1.36 Гензер М. С. Лечебный трикотаж / М. С. Гензер. - Москва : Легкая индустрия, 1975. – 264с.
- 1.37 Бронз Г.А. Разработка основ оптимального проектирования трикотажа: Монография/Г.А. Бронз. Димитровград: ДИТУД УлГТУ, 2003. - 134с
- 1.38 Полянская Т.В. Особенности технологии обработки трикотажных изделий: Учебное пособие / Т.В. Полянская - М.:ИД ФОРУМ, ИНФРА-М Издательский Дом, 2016 -160с.
- 1.39 Севостьянов А.Г. Моделирование технологических процессов: учебник / А.Г. Севостьянов, П.А. Севостьянов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 344с.
- 1.40 Свами М. Н. Графы, сети и алгоритмы/ М. Н. Свами, К. Тхуласираман: пер. с англ. М. В. Горбатовой [и др.]; под ред. В. А. Горбатова М.: Мир, 1984. - 454 с
- 1.41 Кобляков В. А. Некоторые особенности моделирования структуры трикотажа / В. А.Кобляков , А. С. Лукин - М. : Экон-Информ, 2013. – 116с.

1.42 Строганов Б.Б. Процессы вязания и механизмы новоглопскофангового автомата CMS330 ТС фирмы «Штоль»: Монография/ Б.Б. Строганов. М.: РосЗИТЛП, 2011, - 97 с.

1.43 Спорыхина В.И. Математические методы проектирования трикотажных полотен / В. И. Спорыхина, Е. Ю. Шустов, М. А. Груздева. - М.: ЦДУ РАН, 2006. - 119 с.

1.44 Смирнов Л. С. Технология трикотажа из текстурированных нитей: производственно-практическое издание / Л. С. Смирнов. - Москва: Легкая индустрия, 1975. - 164 с.

1.45 Поспелов Е.П. Двухслойный трикотаж/ Е.П. Поспелов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 207с.

Статьи:

2.1 Федоров И.В. Протезы в хирургии грыж: столетняя эволюция / И.В.Федоров, А.Н. Чугунов// Герниология. – 2004. -№2. – с.45-52.

2.2. Шарков В.Ф. Ризоматическая логика –инструмент для построения новой научной парадигмы/ В.Ф. Шарков// Актуальные проблемы современной науки. – М: - 2007. –№6. –с. 47-49.

2.3 Usher FC, Ochsner J, Tuttle LL, Jr. Use of marlex mesh in the repair of incisional hernias. Am Surg 1958; 24(12):969-974

2.4 Usher FC, Ochsner JL. Marlex mesh: a new polyethylene mesh for replacing tissue defects. Surg Forum 1960; 10 319-323.

2.5 Бабиченко И.И. Влияние титанового покрытия на биосовместимость сетчатых эндопротезов из полипропилена/ И.И. Бабиченко, А.А. Казанцев, Д.Л.Титаров, К.А. Шемятовский, Н.М. Гевондян, Д.С. Мельченко, А.И.Алехин//Цитология - 2016. - № 58(1). - 44-51с.

2.6 Пивкина С.И. Математические модели описания вязального способа образования «Сплит-петель»/ С.И. Пивкина, Л.А. Кудрявин, О.П.Фомина //

Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 2016. - №2. - 143-146 с.

2.7 Frosch KH, Barvencik F, Lohmann CH et al. Migration, matrix production and lamellar bone formation of human osteoblast-like cells in porous titanium implants. *Cells Tissues Organs* 2002; 170 (4): 214-227.

2.8 Жуковский В.А. Современные тенденции и подходы к разработке полимерных эндопротезов для герниопластики/ В.А. Жуковский// Вестник хирургии им. И.И. Грекова. - 2011. - № 170 (1). - 102-105с.

2.9 Алексеева Т.Е. Исследование коэффициента трения волокон/ Т.Е. Алексеева, Н.Н. Труевцев// Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000. - №3(255) – 124с.

2.10 Николаева Е.В., Муракаева Т.В., Пивкина С.И. Анализ структуры интарзийных полотен с ажурным способом соединения и работы нитеводов при их выработке/ Е.В.Николаева, Т.В. Муракаева, С.И. Пивкина // Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 2015. - №6. - с.129-132.

2.11 Кудрявин Л.А., Пивкина С.И., Заваруев В.А. Особенности образования структур и узоров на основовязальной машине с селекторно-индивидуальным способом отбора РОУ/ Л.А. Кудрявин, С.И. Пивкина, В.А. Заваруев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 2010. - №1. - с.88-90.

2.12 Паршиков В.В. Прочностные характеристики брюшной стенки в зоне интраперитонеальной и ретромукулярной протезирующей пластики с использованием легких и ультралегких синтетических и титансодержащих эндопротезов (экспериментальное исследование)/ В.В. Паршиков, А.А. Казанцев, А.А. Миронов, В.А. Заваруев, А.Н. Черников, О.Ф. Беляев, А.И. Алехин // СТМ – современные технологии в медицине, том 8, 2016, - №3, - Электронное издание.

2.13 Кудрявин Л.А. Методы проектирования и оценка основных свойств поверхностей технического назначения с ячейками различных размеров и конфигураций на базе структур трикотажа/ Л.А. Кудрявин, О.Ф. Беляев, С.И.

Пивкина, Н.В. Заваруев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 2016. - №2. - с.139-143.

2.14 Кудрявин Л.А. Разработка подсистем машинной визуализации автоматизированного проектирования трикотажа основовязанных переплетений/ Л.А. Кудрявин, С.И. Пивкина, В.А. Заваруев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2009. - № 6. - 81-82 с.

2.15 Usher FC. Knitted Marlex mesh. An improved Marlex prosthesis for repairing hernias and other tissue defects. Arch Surg 196; 82 771-773.

2.16 Usher FC. Hernia Repair with Knitted Polypropylene Mesh. Surg Gynecol Obstet 1963; 117 239-240.

2.17 Kudryavin L, Khalimanovich, Zavaruev V. Textile in Space Technologies/L. Kudryavin, V. Khalimanovich, V. Zavaruev// In Russia. Innovations and Nanotechnologies of Russia. – 2011 – 41756 999-60-61.

2.18 Klosterhalfen B, Junge K, Klinge U. The lightweight and large porous mesh concept for hernia repair. Expert Rev Med Devices 2005; 2 (1):103-117.

2.19 Weyhe D, Belyaev O, Miller C et al. Improving outcomes in hernia repair by the use of light meshes a comparison of different implant constructions based on a critical appraisal of the literature. World J Surg 2007; 31 (1): 234-244.

2.20 Coda A., Lamberti R., Martorano S. Classification of prosthetics used in hernia repair based on weight and biomaterial. Hernia 2012; 16 (1): 9-20.

Диссертации:

3.1 Ануров М.В. Влияние структурных и механических свойств сетчатых протезов на эффективность пластики грыжевых дефектов брюшной стенки: диссертация на соискание учёной степени доктора медицинских наук: 14.01.17/Ануров Михаил Владимирович. – М., 2014. – 298 с.

3.2 Колесникова Е.Н. Основы проектирования технологии петлеобразования: диссертация на соискание учёной степени докто технических наук: 05.19.02/ Колесникова Елена Николаевна. – М., 2001. – 342 с.

3.3 Смирнова А.В. Разработка новых структур и процессов выработки трикотажа плюшевых переплетений для плосковязальных машин с электронным управлением: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.19.03/Смирнова Александра Владимировна.– М., 2000. – 243 с.

3.4 Степанова Т.Ю. Разработка и исследование эмульсирующих составов на основе полиэтиленгликолей как регуляторов трения волокно-волокно и волокно-металл: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.02.04/Степанова Татьяна Юрьевна. – Иваново, 2003. – 112 с.

3.5. Ермохина Т.Е. Разработка процесса выработки верхних трикотажных изделий сложных конструкций с минимальной швейной обработкой: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.19.02/Ермохина Татьяна Евгеньевна. – М., 2008. – 251 с.

3.6. Заваруев Н.В. Разработка технологии производства металлотрикотажного трубчатого полотна технического назначения для соединения деталей: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.19.02/ Заваруев Никита Владимирович. –М., 2016. – 143с.

3.7 Заваруев В.А. Разработка технологии производства металлотрикотажных сетчатых основ для изделий космической и наземной систем связи: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: 05.19.02/ Заваруев Владимир Андреевич. – М., 2006. – 466 с.

3.8 Едомина Н.А. Разработка структур и технологических процессов получения сетчатых основ связанных эндопротезов с противоспаечными свойствами: дис. канд. техн. наук: 05.19.02, 05.17.06/Едомина Надежда Андреевна. – СПб., 2014. – 202с.

3.9 Желтиков М.В. Разработка технологии вязания и метода проектирования трикотажа на мультиклассовых плосковязальных машинах: диссертация на

соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.19.02/ Желтиков Михаил Владимирович. – М., 2012 г. – 178 с.

3.10 Королева Н.А. Разработка метода расчета прочности комбинированных металлических нитей в условиях вязания кулирного трикотажа: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.19.02/Королева Наталия Алексеевна. – М., 2003. – 168 с.

Патентные документы:

4.1 Патент на полезную модель №121735 / Российская Федерация / Сетчатый имплантат для реконструктивной хирургии (варианты) / Казанцев А.А., 2012

4.2 Патент на полезную модель №152119 / Российская Федерация / Эластичный сетчатый титановый имплантат для реконструктивной хирургии / Юсупов А.А., Галиакберов Н.М., Коллеров М.Ю., Казанцев А.А., 2012 г.

Нормативно-технические документы:

5.1 ГОСТ 10681-75. Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения. М.: – ИПК Издательство стандартов, 1993.

5.2 ГОСТ 427-75. Линейки измерительные металлические. Технические условия. М.: Стандартиформ. 2007.

5.3 ГОСТ 24104-2001 "Весы лабораторные. Общие технические требования" (введен в действие постановлением Госстандарта РФ от 26 октября 2001 г. N 439-ст)

5.4 ГОСТ 8846-87. Полотна трикотажные. Методы определения линейных размеров, перекоса, числа петельных рядов и петельных столбиков и длины нити в петле. М.: Государственный комитет по стандартам. 1987.

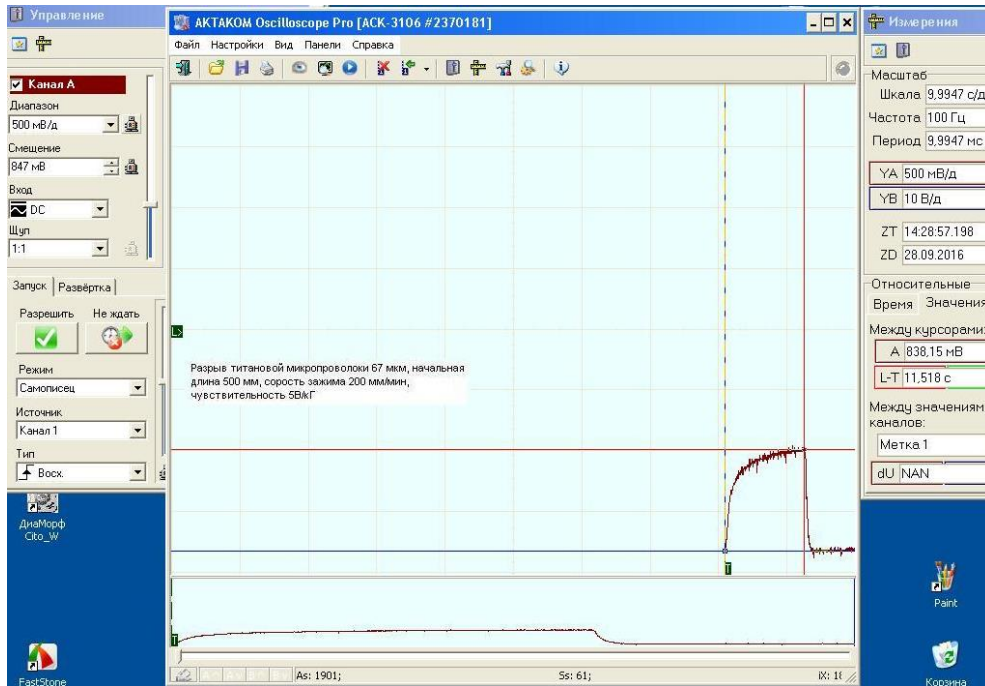
5.5 ГОСТ 8847-85. Полотна трикотажные. Методы определения разрывных

характеристик и растяжимости при нагрузках, меньше разрывных. М.: Государственный комитет по стандартам. Последние изменения 2016.

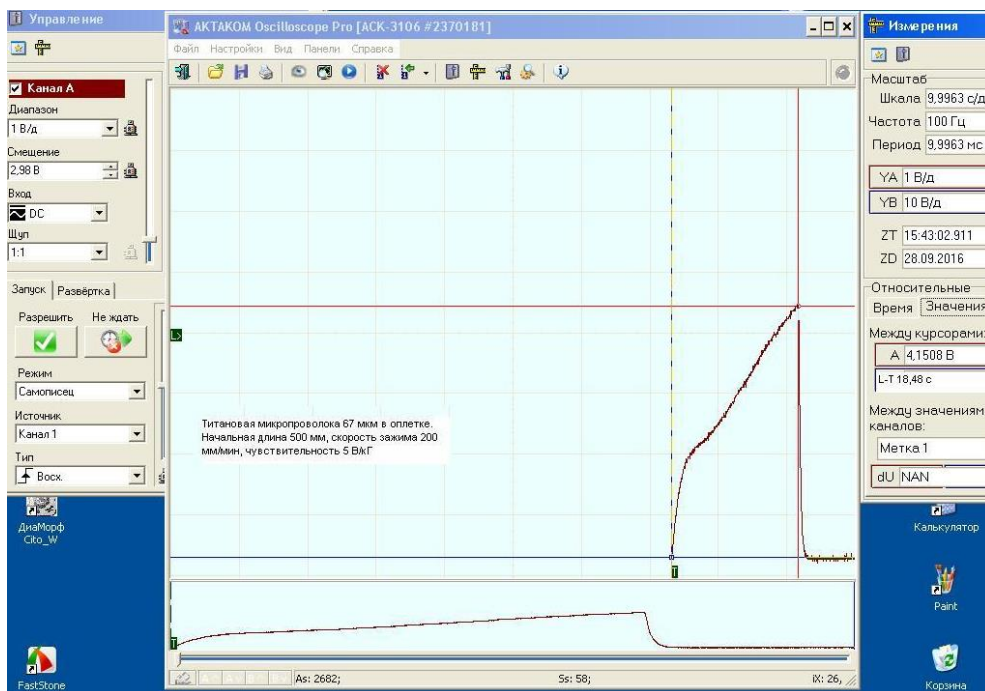
Интернет-ресурсы:

- 6.1. Титановый шелк. [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http:// titanell.ru](http://titanell.ru)
- 6.2. Продукция компании Covidien [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http:// covidien.com](http://covidien.com)
- 6.3. Испытательные машины. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.instron.com/ru-ru?region=Russia>
- 6.4. ДиаМорф объектив. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.diamorph.ru>
- 6.5. <http://math.semestr.ru>
- 6.6. Устойчивость структуры к разрезанию. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://костная-пластика.рф/upload/iblock/62c/62cec8a1074f90f2c7e2993bed53bc07.pdf>

ПРИЛОЖЕНИЕ



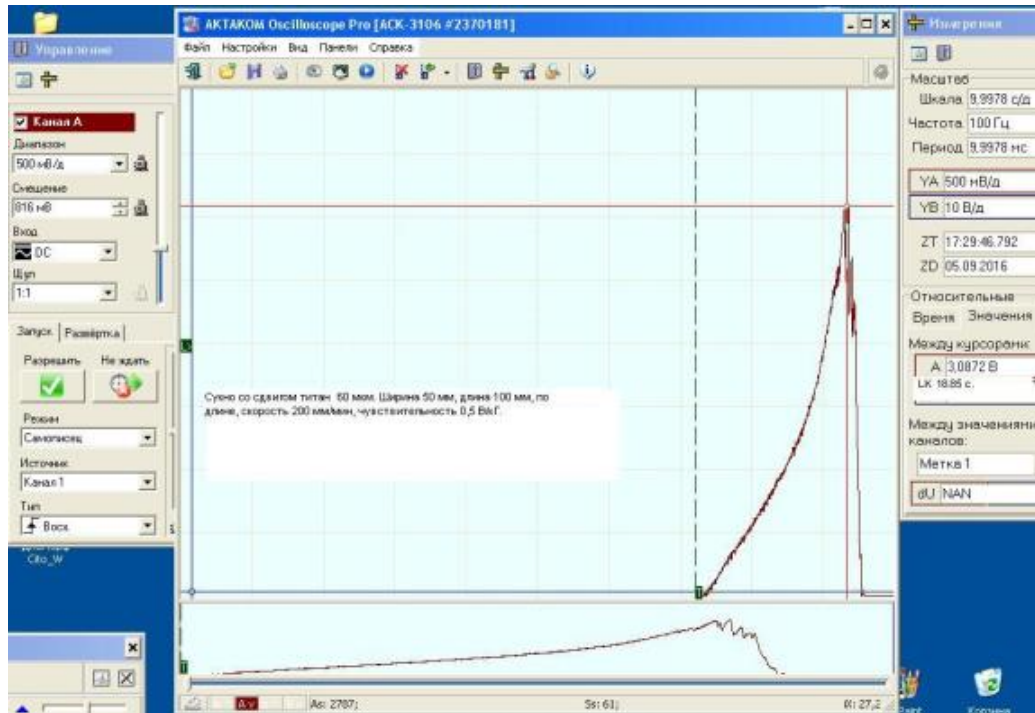
а



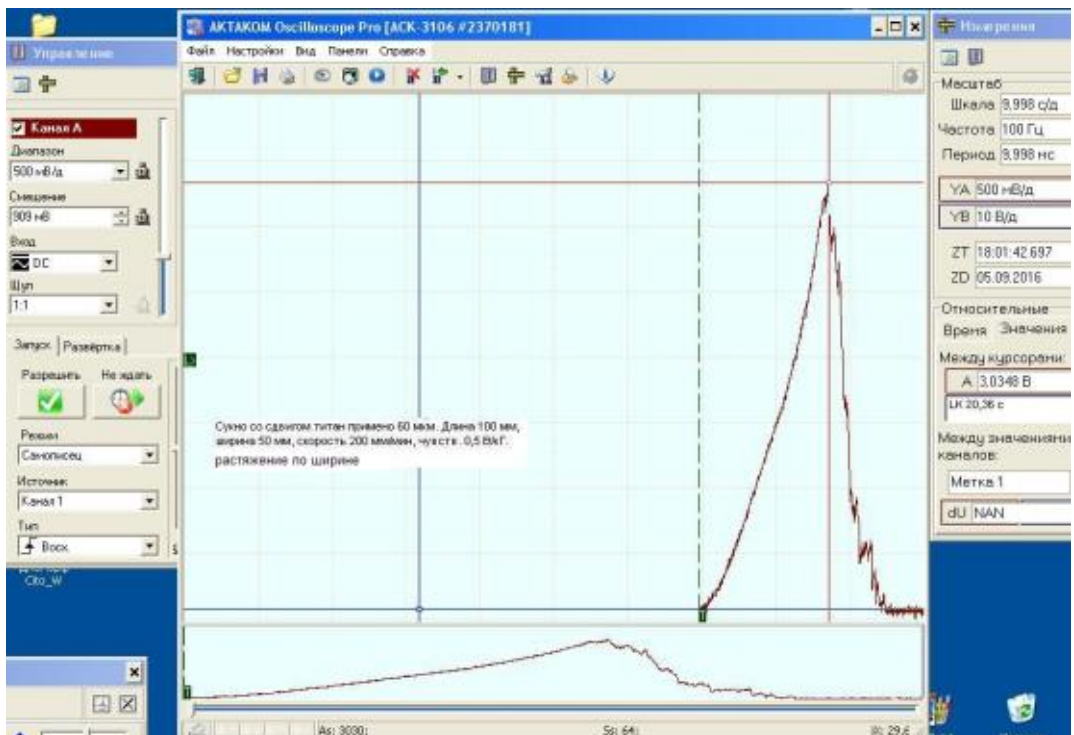
б

Рисунок 1

а – диаграмма растяжения титановой нити и рисунок;
б – диаграмма растяжения комбинированной титановой нити.



а

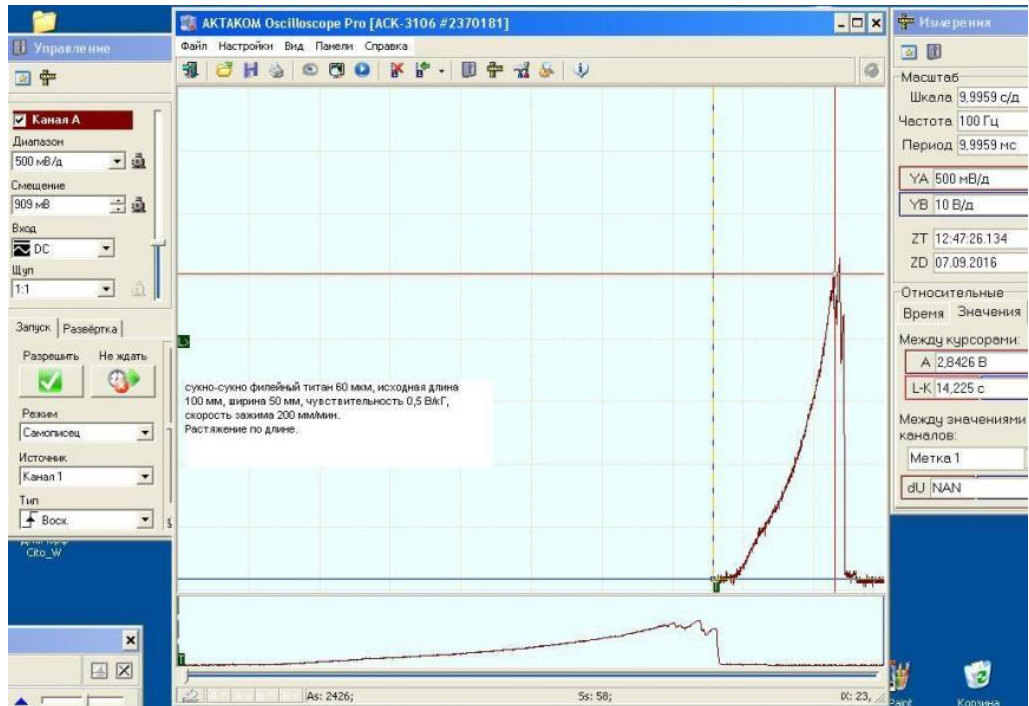


б

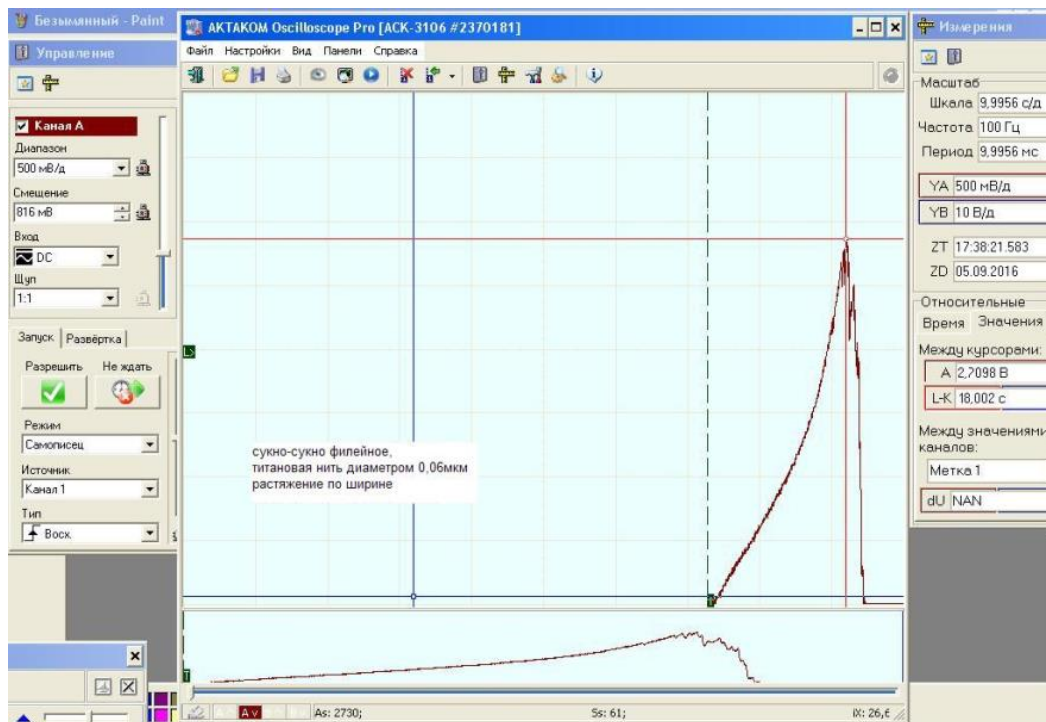
Рисунок 2 – Диаграммы растяжения по длине и ширине образца из титановой нити, переплетения сукно-сукно со сдвигом проборки

а – диаграмма растяжения образца по длине,

б – диаграмма растяжения образца по ширине.



а



б

Рисунок 3 – Диаграммы растяжения по длине и ширине образца из титановой нити, переплетения сукно-сукно филейное
 а, диаграмма растяжения образца по длине,
 б, диаграмма растяжения образца по ширине.

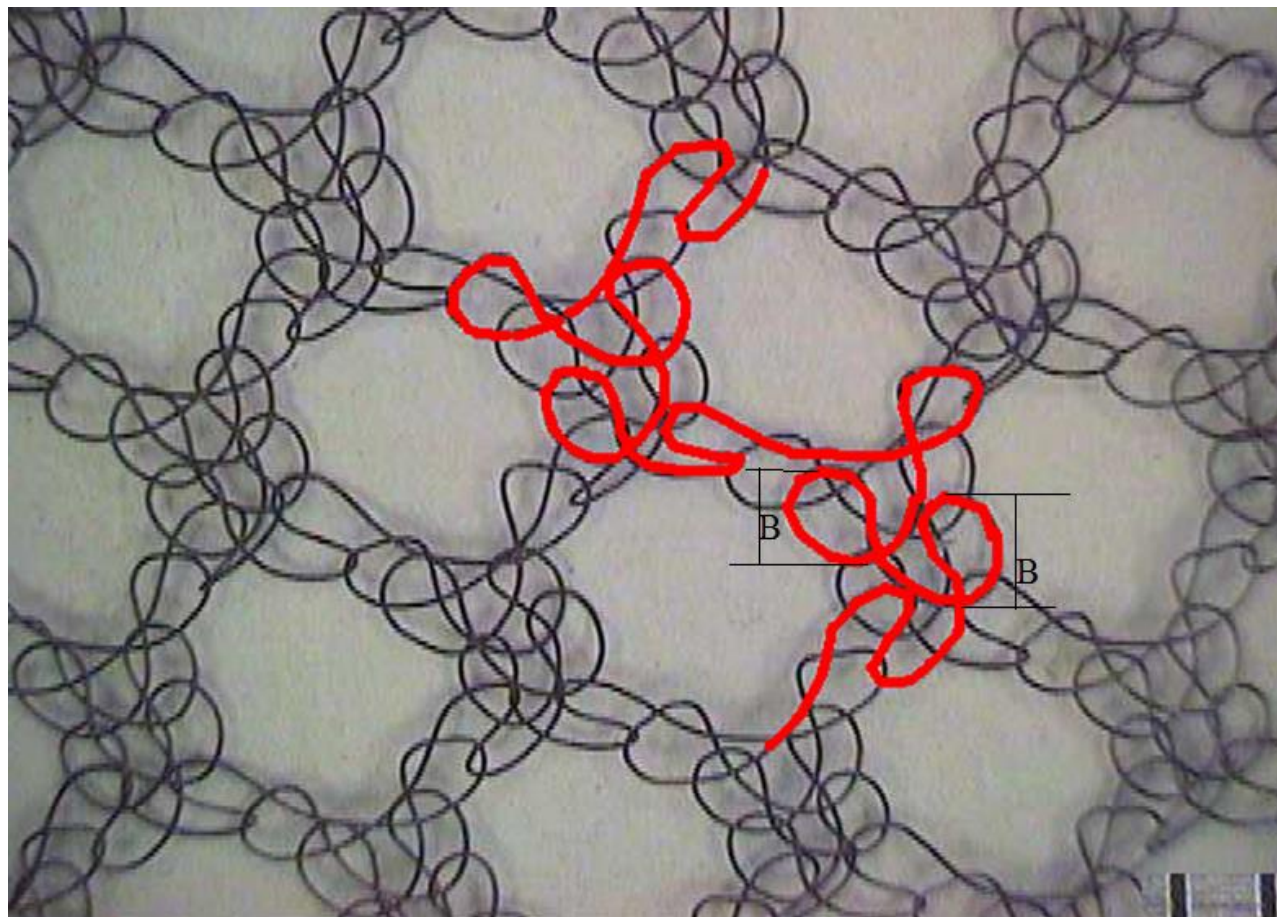
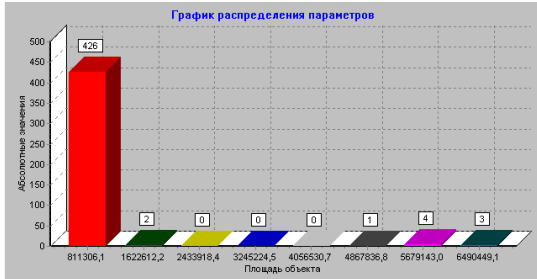


Рисунок 4 – Увеличенное (12x1) изображение структуры трикотажа образованной переплетением трико с атласным переходом

Данные статистики

Количество объектов:	436	Стандартная ошибка:	35986,38
№ макс. класса:	1	Медиана:	42333,51
Макс. значение:	6490449,15	Ср. кв. отклонение:	751417,73
Мин. значение:	0,00	Среднее значение:	197409,93



а

Данные статистики

Количество объектов:	436	Стандартная ошибка:	76,39
№ макс. класса:	1	Медиана:	886,13
Макс. значение:	13451,07	Ср. кв. отклонение:	1594,99
Мин. значение:	113,61	Среднее значение:	1311,22



б

Данные статистики

Количество объектов:	436	Стандартная ошибка:	0,01
№ макс. класса:	6	Медиана:	0,69
Макс. значение:	1,00	Ср. кв. отклонение:	0,20
Мин. значение:	0,00	Среднее значение:	0,67

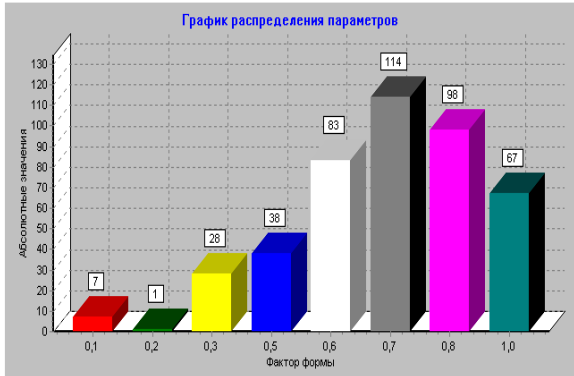
Данные статистики

Количество объектов:	436	Стандартная ошибка:	18,17
№ макс. класса:	1	Медиана:	232,17
Макс. значение:	2874,70	Ср. кв. отклонение:	379,32
Мин. значение:	0,00	Среднее значение:	327,82



в

График распределения параметров



г

Рисунок 5 – Гистограмма распределения числа объектов

а - по площади; б – периметру; в - диаметру круга; г - фактору формы.

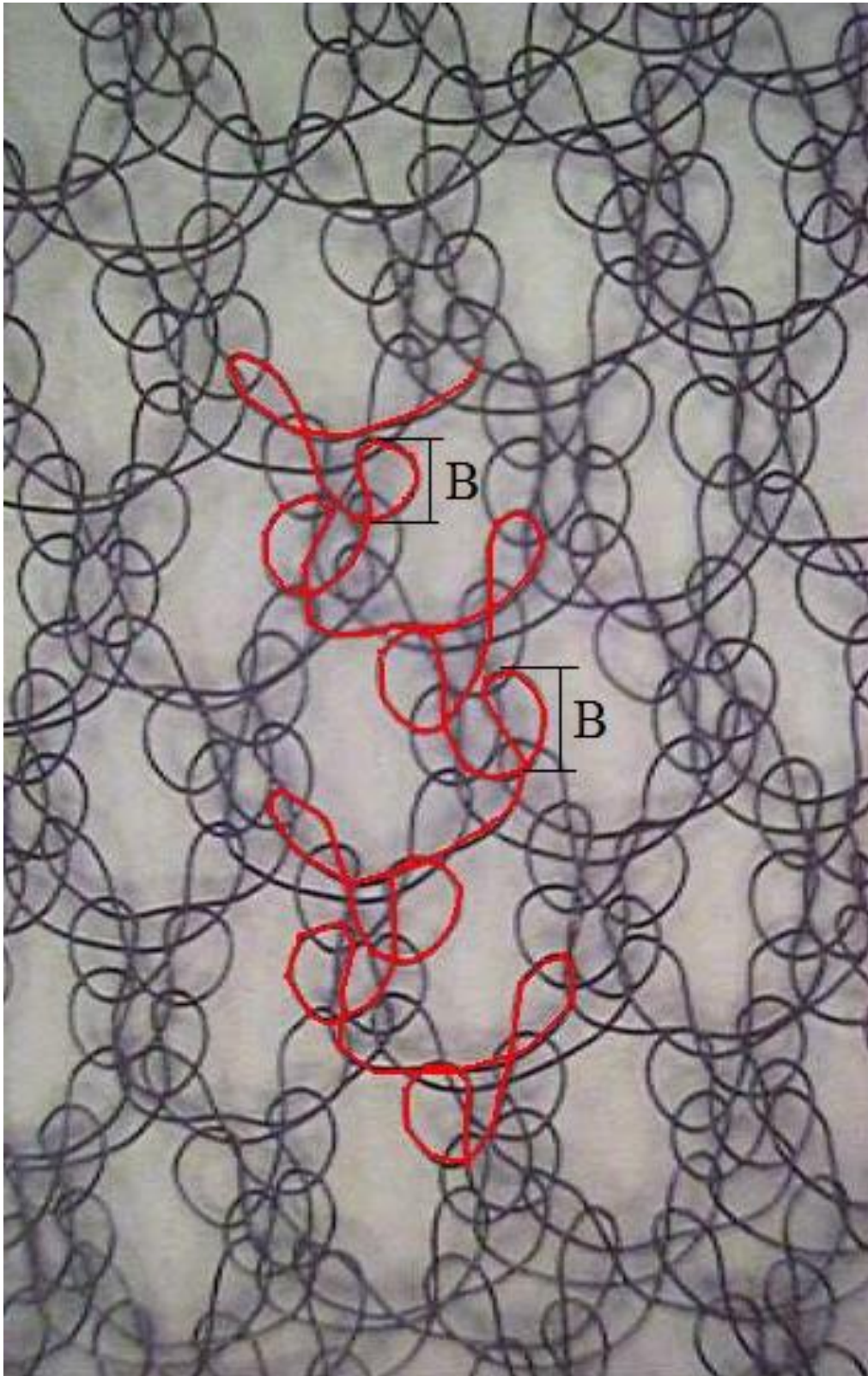
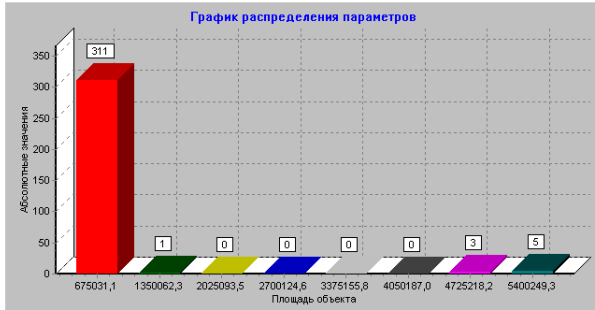


Рисунок 6 -Увеличенное изображение структуры переплетения трико с суконным переходом

Данные статистики

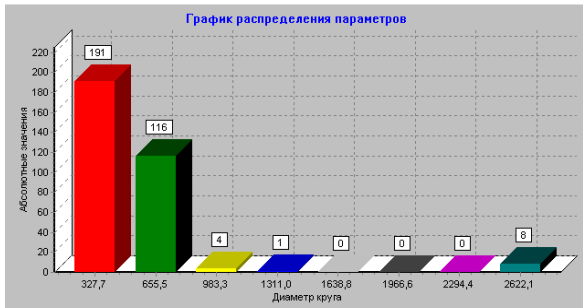
Количество объектов:	320	Стандартная ошибка:	42923,78
№ макс. класса:	1	Медиана:	51122,19
Макс. значение:	5400249,38	Ср. кв. отклонение:	767843,96
Мин. значение:	0,00	Среднее значение:	207153,99



а

данные статистики

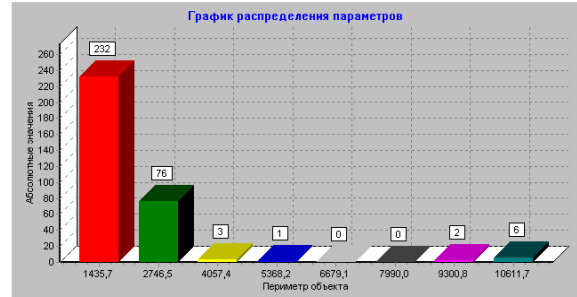
Количество объектов:	320	Стандартная ошибка:	21,80
№ макс. класса:	1	Медиана:	255,13
Макс. значение:	2622,18	Ср. кв. отклонение:	390,00
Мин. значение:	0,00	Среднее значение:	334,15



в

Данные статистики

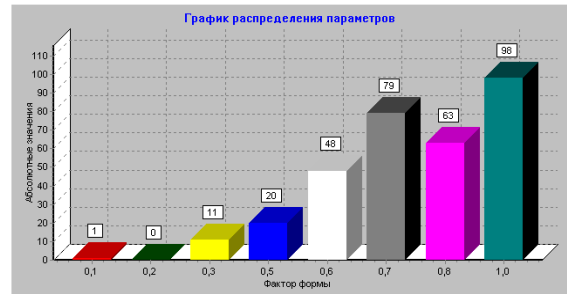
Количество объектов:	320	Стандартная ошибка:	85,17
№ макс. класса:	1	Медиана:	948,81
Макс. значение:	10611,74	Ср. кв. отклонение:	1523,63
Мин. значение:	124,64	Среднее значение:	1248,13



б

Данные статистики

Количество объектов:	320	Стандартная ошибка:	0,01
№ макс. класса:	8	Медиана:	0,75
Макс. значение:	1,00	Ср. кв. отклонение:	0,19
Мин. значение:	0,00	Среднее значение:	0,75



г

Рисунок 7 – Гистограммы распределения числа объектов

А - по площади; б - по периметру; в - по диаметру круга; г - по фактору формы.

соответственно

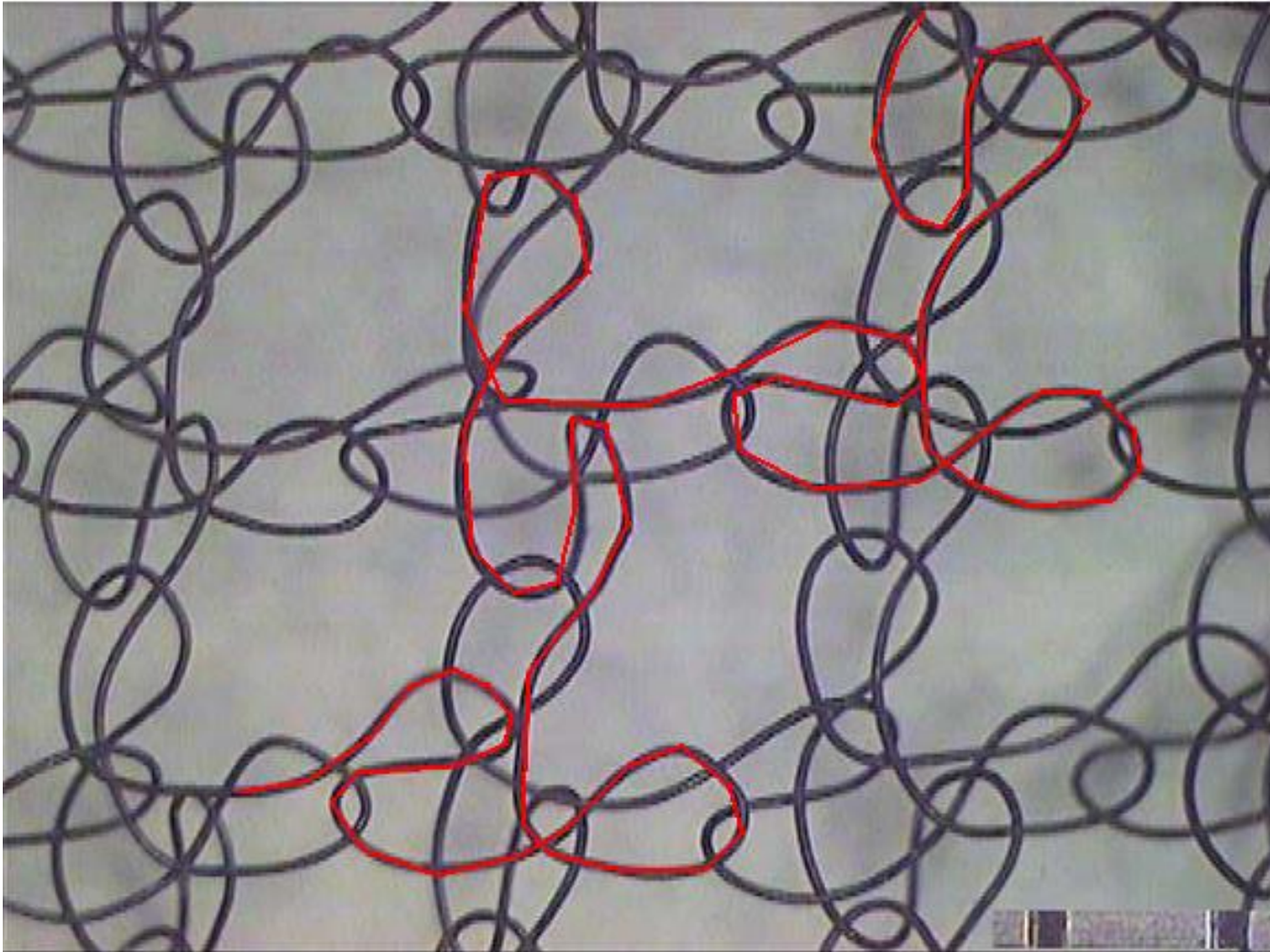
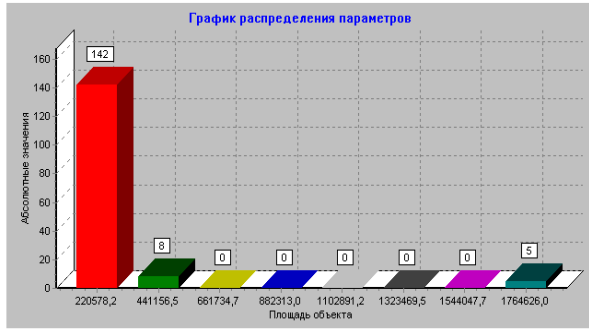


Рисунок 8 - Увеличенное изображение структуры образованной переплетением атлас-атлас.

Данные статистики

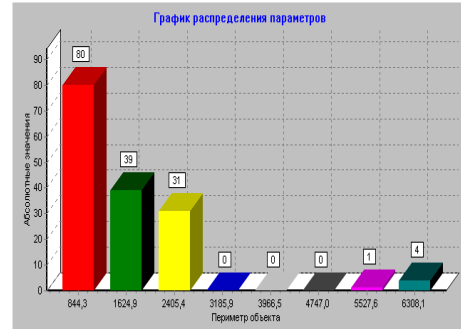
Количество объектов:	155	Стандартная ошибка:	23649,06
№ макс. класса:	1	Медиана:	36324,54
Макс. значение:	1764626,00	Ср. кв. отклонение:	294426,41
Мин. значение:	0,00	Среднее значение:	118403,19



а

Данные статистики

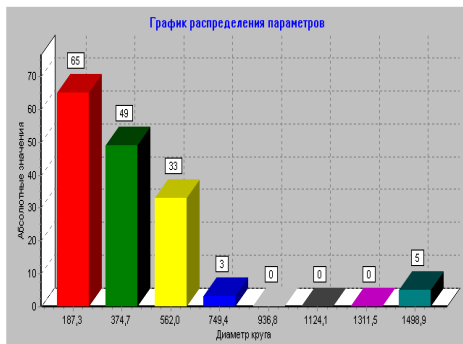
Количество объектов:	155	Стандартная ошибка:	86,81
№ макс. класса:	1	Медиана:	819,10
Макс. значение:	6306,15	Ср. кв. отклонение:	1000,74
Мин. значение:	63,83	Среднее значение:	1099,46



б

Данные статистики

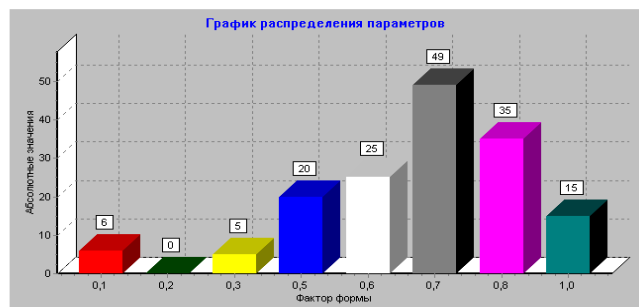
Количество объектов:	155	Стандартная ошибка:	21,61
№ макс. класса:	1	Медиана:	215,06
Макс. значение:	1498,93	Ср. кв. отклонение:	269,09
Мин. значение:	0,00	Среднее значение:	279,91



в

Данные статистики

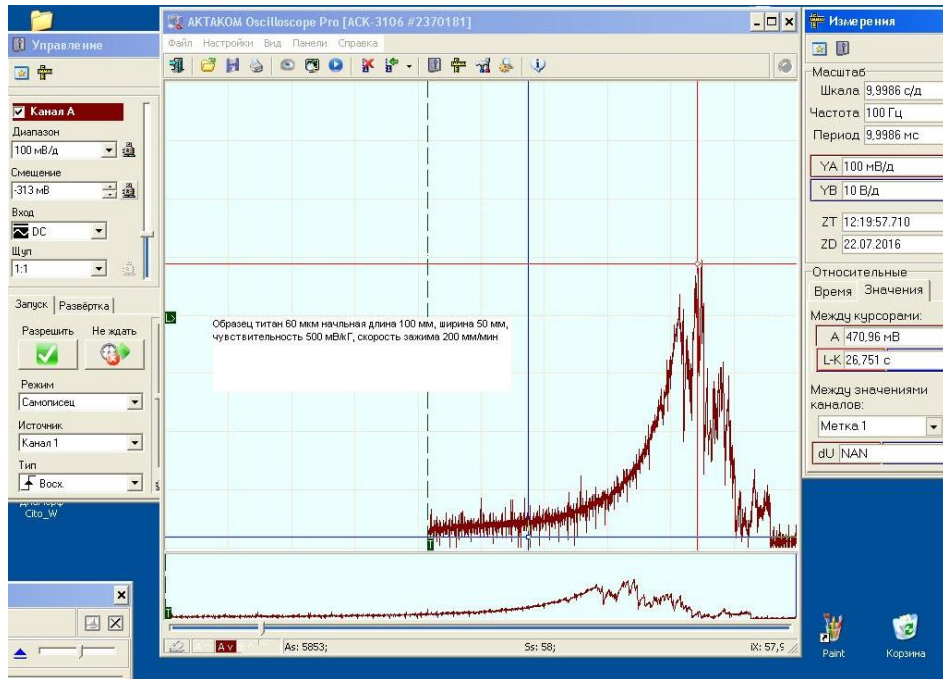
Количество объектов:	155	Стандартная ошибка:	0,02
№ макс. класса:	6	Медиана:	0,77
Макс. значение:	1,00	Ср. кв. отклонение:	0,21
Мин. значение:	0,00	Среднее значение:	0,65



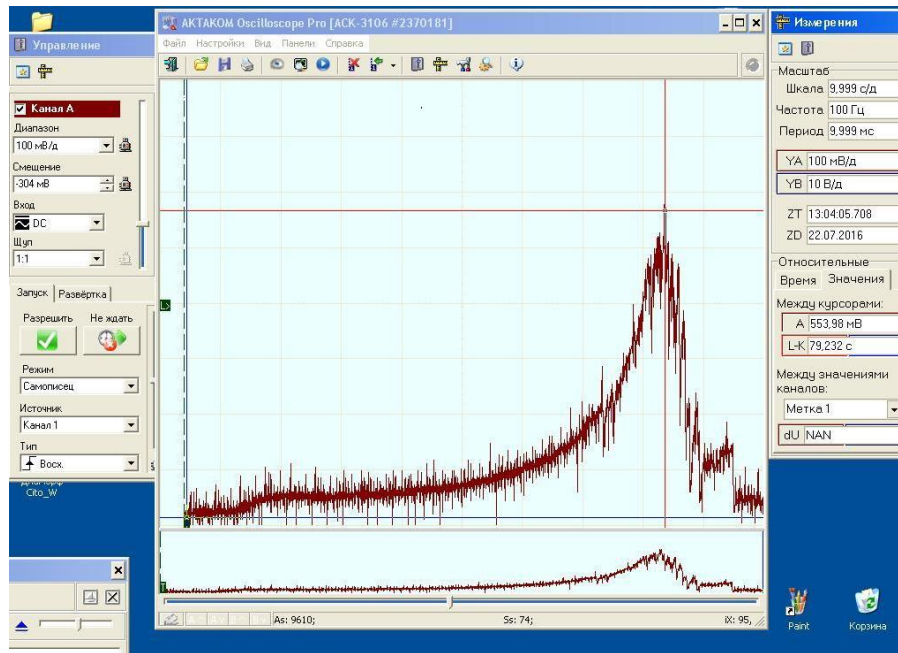
г

Рисунок 9 – Гистограммы распределения числа объектов:

а - по площади; б - по периметру; в - по диаметру круга; г – по фактору формы



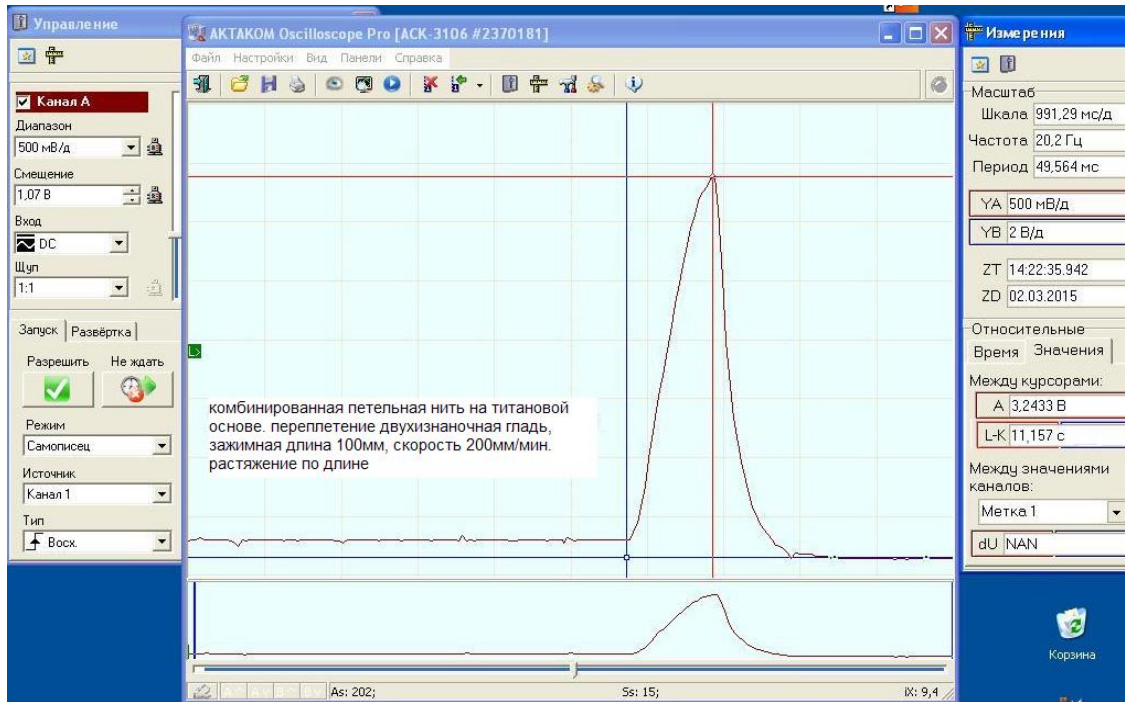
а



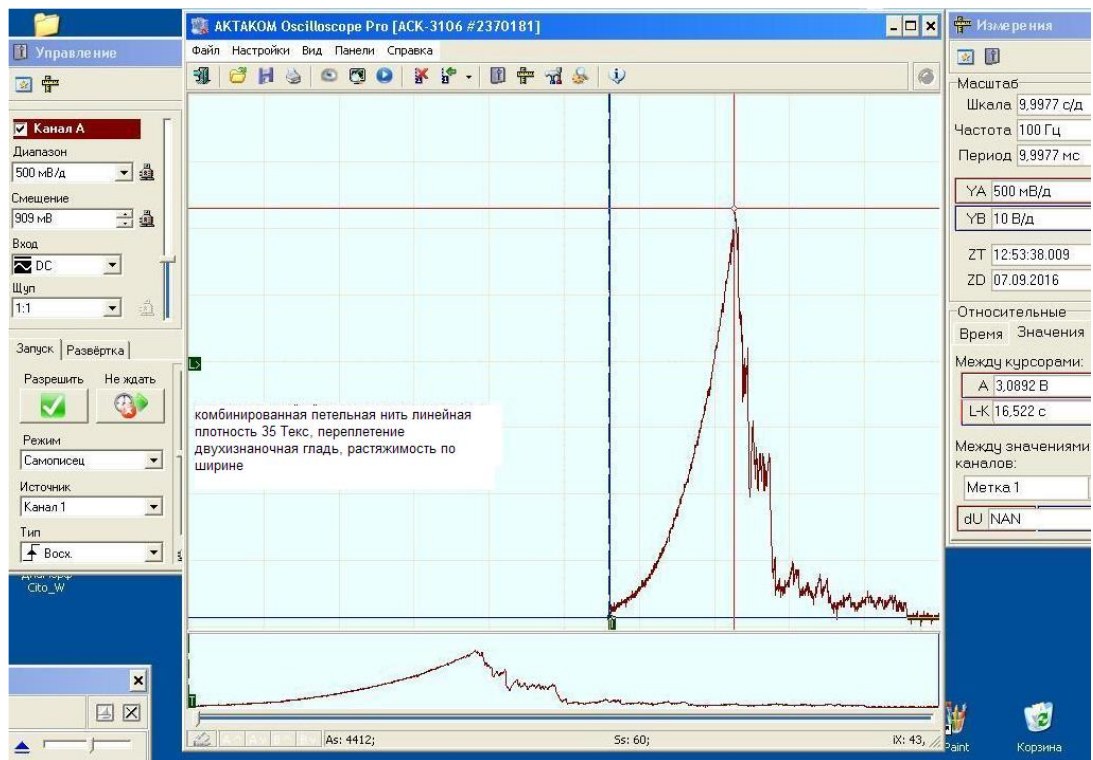
б

Рисунок 10 – Диаграммы растяжения по длине и ширине образца из титановой нити, переплетения двухизнаночная гладь

а, -диаграмма растяжения образца по длине; б, - диаграмма растяжения образца по ширине.



а



б

Рисунок 11 – Диаграммы растяжения по длине и ширине образца из петельной титановой нити, переплетения двухизнаночная гладь

а – диаграмма растяжения образца по длине;

б – диаграмма растяжения образца по ширине.

Фактор\№ опыта	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
X1	2	2.5	2.5	2.5	2.5	3	3	3	3	4	4	4	4
X2	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6
X3	30	30	30	32	32	32	32	34	34	32	32	34	34
Y	13.2	12.2	12.4	12.3	12.5	11.3	11.5	11.6	11.4	11.1	11.4	11.1	11.1

Рисунок 12 – Матрица эксперимента THEORY. EXE

Фактор	Описание фактора
X1	глубина кулирования, мм
X2	скорость каретки, м/сек
X3	частота вращения оттяжных валов, мин-1
Y	поверхностная плотность, г/м2

Рисунок 13 – Описание факторов причинно-следственных связей THEORY. EXE

Программа для расчета по бинарно-следственной теории информации - [C:\Documents ...]

Файл Редактирование Расчет Окно Помощь

Фактор	Энтропия
X1	0.602
X2	0.602
X3	0.574
Y	1.039

Матрица эксперимента / Описание факторов / Энтропия / Информация / Парные коэффициенты /

Пуск Theory диссерт... Докуме... Письмо... 12:42

Рисунок 14 Результаты автоматизированного расчета энтропии THEORY. EXE

Программа для расчета по бинарно-следственной теории информации - [C:\Documents ...]

Файл Редактирование Расчет Окно Помощь

Фактор	X2	X3	Y
X1	0.000	0.273	0.564
X2		0.122	0.437
X3			0.447

Матрица эксперимента / Описание факторов / Энтропия / Информация / Парные коэффициенты /

Пуск Theory диссерт... Докуме... Письмо... 12:43

Рисунок 15 Расчет величины информации THEORY. EXE

Фактор	X2	X3	Y
X1	0.000	0.453	0.937
X2		0.203	0.726
X3			0.778

Рисунок 16 - Величина вероятности парного сочетания двух величин. THEORY. EXE

Edit		Solution	
Line	Col	Line	Col
4	38	13	
$g_{12}=0$ $g_{13}+g_{12}g_{23}=0.453$ $g_{14}+g_{12}g_{24}+g_{13}g_{34}+g_{12}g_{23}g_{34}=0.750$ $g_{23}=0.203$ $g_{24}+g_{23}g_{34}=0.181$ $g_{34}=0.516$		$g_{12} = .00000000$ $g_{13} = .45300000$ $g_{14} = .51625200$ $g_{23} = .20300000$ $g_{24} = -.0037480000$ $g_{34} = .51600000$	

Рисунок 17 - Частные коэффициенты причинного влияния. EUREKA.EXE