

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
“Московский государственный университет дизайна и технологии”**

*На правах рукописи*

**Заваруев Никита Владимирович**

**Разработка технологии производства металлотрикотажного  
трубчатого полотна технического назначения для соединения  
деталей**

**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 Кудрявин Лев Александрович**

**Москва – 2015 г.**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР АРМИРОВАНИЯ МЕСТ СОЕДИНЕНИЙ ПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ МЕТАЛЛОТРИКОТАЖНЫМ ТРУБЧАТЫМ ПОЛОТНОМ .....	9
1.1 Область использования и способы соединения пластиковых труб.....	10
1.2 Анализ известных способов соединения пластиковых труб.....	14
1.3 Требования к металлическим трубчатым полотнам.....	21
1.4 Особенности нитей, используемых для вязания металлического трубчатого полотна.....	24
1.5 Обоснование выбора оборудования для выработки трубок малого диаметра.....	26
1.6 Обоснование выбора переплетения для выработки трубчатого трикотажного полотна.....	31
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1.....	35
2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТРУБЧАТОГО ТРИКОТАЖА ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НИТЕЙ .....	36
2.1 Исследование условий прокладывания нити.....	36
2.2 Особенности операции кулирования при изменении раппорта кладки.....	44
2.3 Разработка и исследование работы механизма подачи металлической нити.....	48
2.4 Исследование операции оттяжки при переработке металлической нити с разным раппортом кладки.....	50
2.5 Определение величины усилия оттяжки для обеспечения заданной ширины полотна.....	55
2.6 Экспериментальная проверка возможности вязания трубчатого полотна из металлической нити при разных раппортах кладки.....	58
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2.....	69

3	ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЯЗАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛОТРИКОТАЖНОГО ТРУБЧАТОГО ПОЛОТНА.....	70
3.1	Определение числа кручений нити, возможное в одном петельном ряду при сходе нити с катушки.....	70
3.2	Расчёт параметров металлического трикотажа при помощи нелинейной теории деформирования упругой нити.....	72
3.3	Исследование изменения числа кручений по мере срабатывания катушки.....	83
3.4	Экспериментальная оценка дефектности трубчатого полотна из металлической нити.....	87
3.5	Исследование влияния крутки и условий подачи металлической нити на структуру и разрывные характеристики полотен.....	92
	ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3.....	107
4	ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЯЗАНИЯ МЕТАЛЛОТРИКОТАЖНОГО ТРУБЧАТОГО ПОЛОТНА.....	108
4.1	Исследование изменения петельного шага в зависимости от основных факторов.....	108
4.2	Ризоматический метод исследования.....	114
4.3	Оценка площади заливки клея при соединении пластиковых труб с металлическими стержнями.....	126
	ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4.....	133
	ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	135
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	137

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время трикотаж широко применяется не только для бытовых целей, но и в технических отраслях промышленности.

Достаточно часто трикотаж в технических изделиях применяется в автомобильной промышленности, в самолётостроении, в космической отрасли в качестве армирующих материалов для изготовления корпусных или других деталей, например, для армирования кордов автомобильных шин. В этих изделиях трикотаж используется в основном в виде широких полотен или лент.

Сегодня перед конструкторами встала новая задача создания армирующего материала для соединения пластиковых труб малого диаметра, от 10 до 100 мм.

Широкое применение пластиковых труб в строительстве, кабельной, автомобильной и других отраслях промышленности, а также в самолётостроении и космонавтике из-за ограниченности длин труб ставит с одной стороны общую задачу: разработку прочных мест соединений труб ограниченной длины.

С другой стороны, соединения углепластиковых труб, применяемых в космических системах и антеннах, кроме прочности должны обладать особыми свойствами: электропроводностью и теплопроводностью, что может быть создано за счёт особых конструкций соединений и особых материалов. Электропроводность может быть создана за счёт свойств армирующего материала, а теплопроводность и прочность соединения – за счёт структуры этого материала.

В качестве армирующего материала для мест соединений труб малого диаметра может служить трубчатое трикотажное полотно.

Использование трубчатого трикотажного полотна в качестве армирующего материала для соединения всего диапазона малых диаметров труб, применяемых в космических системах и антеннах, является актуальной задачей.

**Цель работы** - разработка технологии трубчатых полотен с сетчатой структурой, обладающих электропроводностью и теплопроводностью, предназначенных для армирования мест соединений углепластиковых труб малого диаметра от 10 до 100 мм.

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

- разработан способ получения трубчатых полотен малых диаметров при использовании минимального количества различных диаметров вязального оборудования;
- разработан механизм подачи нити, обеспечивающий минимальную обрывность нити и стабилизирующий натяжение при нитеподаче;
- усовершенствован механизм оттяжки трубчатого полотна, обеспечивающий получение трикотажа заданных ширин;
- выполнен анализ и экспериментальная проверка влияния установки бобин и сматывания нитей на прочность образцов;
- методами нелинейной механики упругой нити получены уравнения расчёта параметров трикотажа из металлической нити;
- выполнен расчёт длины петли с учётом особенностей её формы и свойств металлической нити;
- определена оценка дефектности трикотажных трубчатых полотен, влияющей на качество полотна и возможную длину нарабатываемого полотна;
- выполнена экспериментальная оценка влияния глубины кулирования, изменения усилия оттяжки и числа работающих игл на изменение ширины полотна;
- выполнен анализ образцов трикотажного полотна на разрыв;
- установлена зависимость ширины получаемого трикотажа от параметров вязания, позволяющую определить наиболее значимые из выбранных факторов и установить причинно-следственные связи;
- установлены оптимальные параметры вязания трубчатого полотна с использованием “ризоматической логики”, что позволит более эффективно настраивать машины при вязании трубчатых полотен с заданными параметрами.
- выработаны трубчатые полотна шириной 13, 40, 60, 100 мм.

Задачи, поставленные в работе, решены экспериментальными и теоретическими методами. Нарботка образцов трубчатых полотен диаметрами 13, 40, 60 мм выполнялась на усовершенствованном круглочулочном автомате типа “Свит” 14

класса диаметром  $2\frac{3}{4}$ ", а трубчатого полотна диаметром 100 мм на той же модели и классе машины, но диаметром  $3\frac{1}{2}$ ". Все эксперименты проводились в инженеринговом центре МГУДТ.

Выработка партий трубчатого полотна всех диаметров для предприятий "Арсенал" ( Санкт-Петербург) и "Информационные спутниковые системы" им. академика М.Ф. Решетнева ( Железногорск) выполнялась также в инженеринговом центре МГУДТ. Выработанные образцы трубчатых полотен прошли испытания на предприятиях: "Арсенал" ( Санкт-Петербург) и "Информационные спутниковые системы" им. академика М.Ф. Решетнева ( Железногорск).

Механические характеристики используемых нитей и трубчатых полотен с сетчатой структурой получены с помощью электронного диагностического комплекса "Диаморф", разрывной машины "Instron", электронного микроскопа и программы "Цито" и электронного курвиметра.

Результаты проведённых испытаний обработаны методами математической статистики с помощью программ MS Excel и MathCAD.

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

- разработана технология выработки трубчатых полотен диаметрами от 13 до 60 мм сетчатой структуры на одном диаметре и классе кругловязальной машины диаметром  $2\frac{3}{4}$ " и трубчатого полотна диаметром 100 мм на той же модели и классе машины, но диаметром  $3\frac{1}{2}$ ";
- разработан механизм пассивной подачи металлической нити и обоснованы условия подачи одновременно двух нитей при заданном направлении вращения вязальной машины;
- усовершенствован механизм оттяжки валичного типа, обеспечивающий плавность оттяжки полотна в течение одного оборота машины и не допускающий проскальзывания полотна;
- разработан метод расчёта параметров металлического трикотажа при помощи нелинейной теории деформирования упругой нити;

- разработана теория расчёта площадей клеевых участков, обеспечивающих прочность соединений, с учётом площади, занимаемой структурой полотна;
- с помощью бинарной причинно- следственной теории информации определена взаимосвязь влияния входных факторов процесса петлеобразования на основной выходной параметр полотна – петельный шаг, определяющий ширину полотна;
- с помощью ризоматической теории определены оптимальные параметры процесса вязания, такие как число работающих игл в цилиндре, усилие оттяжки полотна и глубина кулирования для полотен шириной 13, 40, 60 и 100 мм.

**Практическая значимость** полученных результатов диссертационного исследования заключается:

- в разработке и реализации технологии трубчатых полотен малого диаметра из металлических нитей шириной 13, 40, 60 и 100 мм, определении скоростных, силовых и геометрических факторов, обеспечивающих вязание полотен заданных ширин;
- в разработке сетчатой структуры трикотажного трубчатого полотна из металлической нити, обеспечивающей электропроводность и теплопроводность мест соединений углепластиковых труб;
- в наработке партий трубчатых полотен шириной 13, 40, 60 и 100 мм из металлической нити диаметром 0,05 мм в два сложения для предприятий “Арсенал” (Санкт-Петербург) и “Информационные спутниковые системы” им. академика М.Ф. Решетнева (Железногорск).

Реализация результатов работы проведена на предприятиях “Арсенал” (Санкт-Петербург) и “Информационные спутниковые системы” им. академика М.Ф. Решетнева (Железногорск), где наработанные сетчатые полотна были использованы для соединения пластиковых труб соответственно диаметров 10, 40, 60 и 100 мм, применяемых в космических системах.

По результатам исследований опубликовано 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ; опубликовано 3 статьи в других изданиях; подана заявка на патент РФ на полезную модель; представлено 4 доклада на научных конференциях.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав с выводами, общих выводов по диссертационной работе и библиографического списка использованной литературы. Работа изложена на 143 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков, 29 таблиц, библиографический список использованных литературных источников включает 76 наименований.

Положения, выносимые на защиту:

- технология получения трубчатого трикотажного полотна малого диаметра с кругловязальными машинами;
- механизм подачи металлических нитей с катушек цилиндрической формы и метод установки механизмов при работе одновременно двух нитей;
- усовершенствованный механизм оттяжки, обеспечивающий равномерность усилия оттяжки и уменьшающий проскальзывание оттягиваемого металлотрикотажного трубчатого полотна;
- способ расчёта параметров трикотажа из металлических нитей, обладающих упругими свойствами;
- использование ризоматического метода для определения взаимосвязи между входными параметрами процесса и выходными параметрами полотна.



# 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР АРМИРОВАНИЯ МЕСТ СОЕДИНЕНИЙ ПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ МЕТАЛЛОТРИКОТАЖНЫМ ТРУБЧАТЫМ ПОЛОТНОМ

Всё шире в России используют трикотаж, вырабатываемый из нетрадиционных нитей. В основном такой трикотаж применяют в технических целях. Одним из важнейших направлений развития технического трикотажа является создание производств по выпуску трикотажа из металлических нитей.

Трикотажные металлические полотна применяются в качестве армирующих материалов в автомобильной промышленности при изготовлении шин, в самолётостроении, в кораблестроении, при создании высокопрочных материалов, обладающих электро- и теплопроводностью для космических кораблей и антенных систем.

Обычно, металлические трикотажные материалы имеют плоскую форму и используются для армирования мест соединений плоских металлических или пластиковых деталей.

В рамках солнечных батарей, работающих в космическом пространстве [4.3] переходят на фитинговые соединения, в которых детали, имеющие круглую форму, изготавливаемые из дюралюминиевых сплавов, соединяются с пластиковыми фитингами-трубами.

Известно, что для соединений, работающих в космическом пространстве со знакопеременной температурой и её резкими колебаниями предъявляются особые требования. Соединяемые детали и материалы для соединения должны обладать высокими и близкими по значениям электропроводностью и теплопроводностью.

Известно, что трикотаж обладает хорошей растяжимостью в обоих направлениях и поэтому может быть использован в качестве армирующего материала для придания теплопроводных свойств мест соединений трубчатых изделий.

Соединяемые стержни и трубы имеют круглую форму и малые размеры от 10 до 100мм и достаточно жёсткие допуски между диаметрами соединяемых деталей.

Разработка армирующего трикотажного трубчатого материала малого диаметра, обладающего электро- и теплопроводностью, является сложной технической задачей. В качестве материала для изготовления трикотажных трубчатых полотен предполагается применять металлические нити. Использование для выработки полотна металлических нитей будет способствовать электропроводности мест соединений, а непрерывность связей в трикотажных структурах исключит возможность нарушения, например, передачи сигнала. Известны технологии вязания полотен из металлических нитей только на основовязальных машинах [3.1]. Технологии выработки трубчатых трикотажных полотен из металлических нитей на кулирных машинах отсутствуют.

Создание технологии металлических трубчатых трикотажных полотен малого диаметра, обладающих высокой растяжимостью, электропроводностью, способствующих повышению теплопроводности мест соединений в рамках солнечных батарей, является актуальной задачей и одним из важнейших направлений развития технического трикотажа в России.

### **1.1 Область использования и способы соединения пластиковых труб**

С целью выбора способа соединения алюминиевых стержней с углепластиковыми трубами изучим сначала известные виды пластиковых труб, области применения и способы их соединения.

В связи с растущим развитием рынка полимерных труб, использование стальных и чугунных труб для сантехнических, отопительных, канализационных систем и других промышленных нужд становится всё менее актуальным. Благодаря развитию химической отрасли, ассортимент рынка полимерных труб растёт в арифметической прогрессии. К очевидным плюсам можно отнести снижение металлоёмкости и повышение надёжности системы, сокращение времени на строительство кабельной канализации [1.1].

Представляет интерес рассмотреть виды пластиковых труб, широко используемых в промышленности ( таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Используемые пластиковые трубы [1.2]

Тип материала труб	Область применения	Особенности
Поливинилхлорид ( ПВХ / PVC )	Безнапорная внутренняя система канализации	Широкое распространение находят по причине простоты их сборки и установки. Соединяются методом склеивания, причём соединение может быть прочнее самой трубы.
Полипропилен ( ПП / PP )	Водонапорные, отопительные и канализационные системы	Хорошая химическая стойкость. Неразъёмные соединения. На данный момент самые популярные на Российском рынке ввиду простого монтажа, относительно низкой стоимости и большом разнообразии ассортимента труб, различающихся как толщиной стенки, так и возможностью наличия армирующего слоя, предотвращающего линейное расширение трубы и повышающего прочность.

## Продолжение таблицы 1.1 - Используемые пластиковые трубы

Полибутилен ( ПБ )	Водоснабжение	Незначительное расширение в условиях знакопеременных температур. Теплостойкие и эластичные трубы. Применяются зажимные и сварные соединения.
Полиэтилен ( ПЭ )	Холодное водоснабжение и водоотведение	Морозостойки. Сохраняют пластичность при пониженной температуре. При повышении температуры, значительно снижается прочность, поэтому температура жидкости в таких трубах строго ограничена. Также чрезвычайно чувствительны к механическим повреждениям.
Сшитый полиэтилен ( РЕХ )	Горячее и холодное водоснабжение	Большая прочность и высокая стойкость к температурным изменениям.  Высокая стоимость.

## Продолжение таблицы 1.1 - Используемые пластиковые трубы

Углепластиковые, более 30 марок ГЭ, ЭГП, МТ, АГ-1500С05, СГ- Т, И1, И3 и т.д.	Металлургическая, де- ревообрабатывающая, горнодобывающая, космическая, строи- тельная промышленно- сти, исследовательские лаборатории	Для защиты и изоляции прово- дов, кабелей, обеспечения без- опасности разного рода ком- муникаций, записи, передачи и воспроизведения сигналов, контроля аппаратуры, магнит- ной записи.
---	--	--

В таблице 1.1 приведены лишь сферы основного применения пластиковых труб, однако применение их этим не ограничивается. Пластиковые трубы также применяются для защиты и изоляции проводов и кабелей, для обеспечения безопасности разного рода коммуникаций [6.1].

Используемые полимерные трубы малого диаметра можно разделить на два самостоятельных вида: защитные трубки с внешним диаметром 32, 40 и 50 мм, которые применяются для прокладки (задувки) в них оптических кабелей, и трубы (каналы) с внешним диаметром 63–75 мм, предназначенные для применения в распределительных сетях, или 90–125 мм – для магистральных сетей.

Сегодня в качестве полимерных каналов используются как гладкие, так и двустенные гофрированные трубы из полиэтилена. Однако гладкие трубы не нашли такого широкого применения при строительстве кабельной канализации, как двустенные.

При монтаже пластиковой кабельной канализации отсутствует необходимость в использовании специализированного оборудования, а благодаря низкому коэффициенту трения при протаскивании кабеля в смонтированной трубе облегчается протяжка. Малый вес труб упрощает перемещение материалов по объекту. Все это позволяет монтажным организациям существенно сократить временные и материальные затраты на строительство кабельной канализации [2.1].

Однако, трубы имеют ограниченную длину и при строительстве кабельной канализации требуется выполнять соединение отдельных кусков. Ниже рассмотрим виды соединений, применяемые для пластиковых труб.

## **1.2 Анализ известных способов соединения пластиковых труб**

Известны два способа соединения полимерных труб: разъёмные и неразъёмные (рисунок 1.1)

К разъёмным относятся фланцевые. К неразъёмным относятся: муфтовое соединение, встык и врасруб, соединённые методом склеивания или сваркой. На рисунке 1.1 приведена схема методов соединения пластиковых труб.

Для углепластиковых труб может применяться неразъёмное соединение клеевым способом с армированием. Использование клеевого способа с армированием для других видов пластиковых труб принципиально возможно, однако не применяется из-за удорожания процесса соединения и достаточной прочности других видов соединений.

Использование клеевого способа с армированием для углепластиковых труб вызвано требованием теплопроводности и электропроводности мест соединений.

Проведём анализ других способов соединения, представленных на рисунке 1.1.

На рисунке 1.2 представлен фланцевый способ соединения пластиковых труб [6.3].

Фланцевый способ применяется при соединении поливинилхлоридных труб. Для соединения труб используются резиновые фланцы, соединяемые металлическими болтами [6.2].

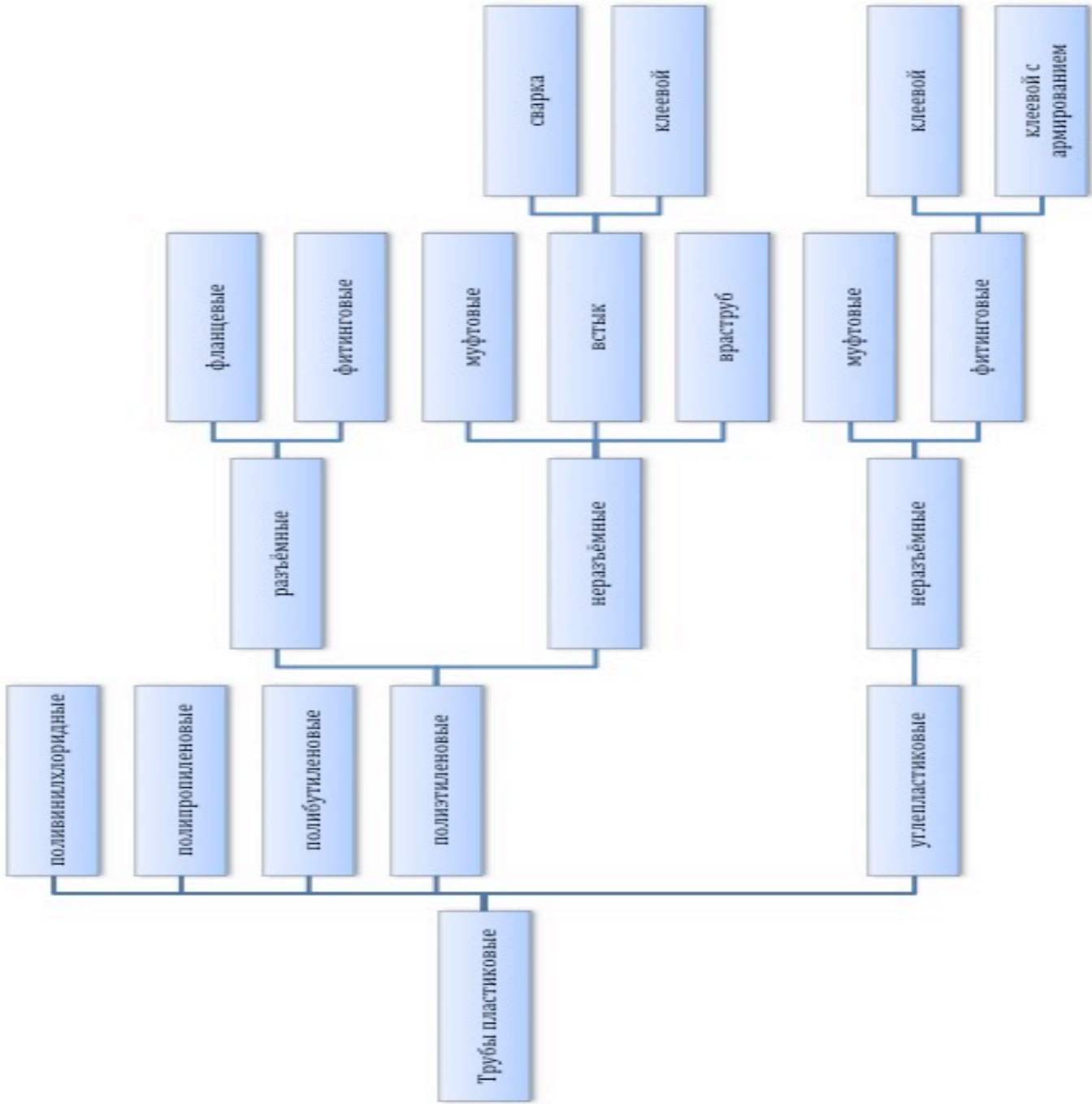


Рисунок 1.1 – Способы соединения труб

На рисунке 1.3 приведена схема фланцевого соединения труб в разрезе [6.3].

Данное соединение из-за использования резиновых фланцев обладает низкой теплопроводностью, что не позволяет его использовать при знакопеременных температурах.

Кроме того, недостатком фланцевого соединения является увеличение объёма места соединения, что на космических антеннах или кораблях, а также в других системах с малыми помещениями не позволяет использовать подобное соединение труб даже при замене материалов резиновых фланцев и металлических болтов на материалы с необходимыми свойствами.

Муфтовый способ соединения в основном применяется при ремонте трубопроводов, напорных и безнапорных труб [6.4].

На рисунке 1.4 приведена схема муфтового соединения труб. В месте соединения труб между непосредственно самими трубами 1 и обжимной муфтой 2 наносят слой полимеризующего клея 3.

Муфтовый способ не применим при знакопеременных температурах, так как такое соединение обладает низкой теплопроводностью.

В настоящее время при соединении труб способами встык и в раструб известны два метода: сваркой и клеевой.

Стыковая сварка предполагает оплавление соединяемых концов труб и их соединение с приложением умеренного давления [6.3].

При сваривании труб в раструб сварочным аппаратом одновременно оплавляются наружная часть гладкого конца одной трубы и внутренняя поверхность раструба другой. После оплавления, детали трубопровода быстро соединяются [6.5].





Рисунок 1.2 - Фланцевый способ соединения труб

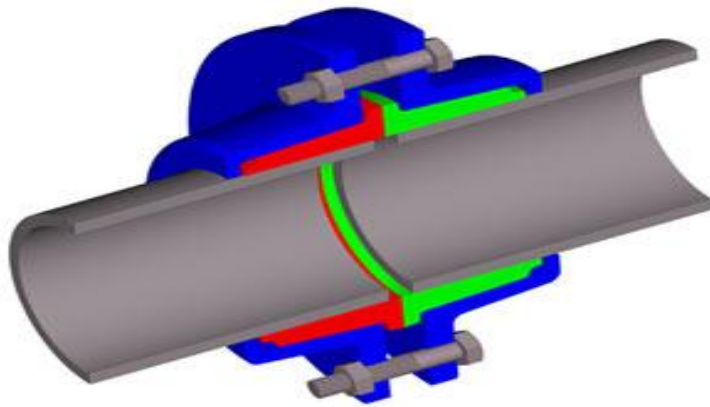


Рисунок 1.3 - Фланцевое соединение труб в разрезе

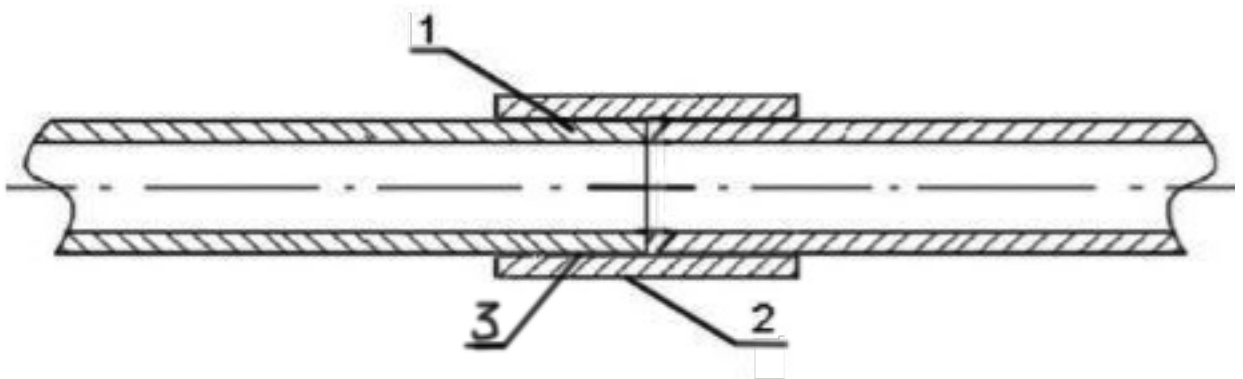


Рисунок 1.4 - Схема муфтового соединения труб

Сварочный способ соединения труб позволяет получить более надёжное и крепкое соединение по сравнению со склеиванием, однако, посредством сварки могут быть соединены лишь металлические и полимерные трубы, что является недостатком, так как соединение, например, углепластиковых труб таким способом практически невозможно, так как температура плавления таких труб, изготовленных из графита, составляет 3845-3890°С при давлении 1-0,9 атм. Таких температур достичь при сварке невозможно [6.6].

Последним возможным методом выполнения неразъёмного соединения является клеевое соединение труб, при осуществлении которого специальным клеем промазываются подлежащие к склеиванию кромки труб.

В зависимости от того, какие поверхности подлежат склеиванию, применяются различные виды клея [6.3]:

- для соединения металлических и полимерных деталей – эпоксидный клей;
- для пластмассовых и металлических труб – БФ-2;
- «металл + резина» или «резина + резина» – 88Н.

Процесс склеивания производится в три этапа [6.7]:

-подготовка труб к склеиванию (рисунок 1.5), включающая в себя ошкуривание соединяемых участков поверхностей труб и последующее их обезжиривание;

-ошкуренные и затем обезжиренные края труб покрываются с помощью тампона или кисти специальным клеем ( рисунок 1.6) и вставляют друг в друга;

-повторное промазывание стыка труб клеем для обеспечения высокой герметичности.

Соединение путем склеивания широко используется на канализационных трубах. При использовании труб ПВХ, трубы могут довольно скоро после монтажа эксплуатироваться. В этом заключается преимущество данного способа соединения. Однако, конструкции, соединённые таким способом не обладают теплопроводностью. Кроме того, недостатком всех способов неразъёмных соединений является невозможность разъединения труб без нарушения их целостности.

Принципиально, углепластиковые трубы или трубы из алюминиевых сплавов можно соединить муфтовым, фланцевым способами с последующим клеевым методом.

Однако, для упрочнения и обеспечения теплопроводности и электропроводности мест соединений необходимо использовать клеевой метод с армированием мест соединений трикотажным полотном из металлической нити [4.1].

В космических кораблях и антеннах используют углепластиковые трубы или трубы из алюминиевых сплавов, соединяемые с вставляемыми в них углепластиковыми стержнями или стержнями из алюминиевых сплавов.

Необходимым требованием к способам соединений является обеспечение теплопроводности и электропроводности мест соединения. Таким способом может быть только клеевой способ соединения с армированием. Ниже рассмотрим известный клеевой способ соединения с армированием [4.1].



Рисунок 1.5 - Подготовка труб к склеиванию

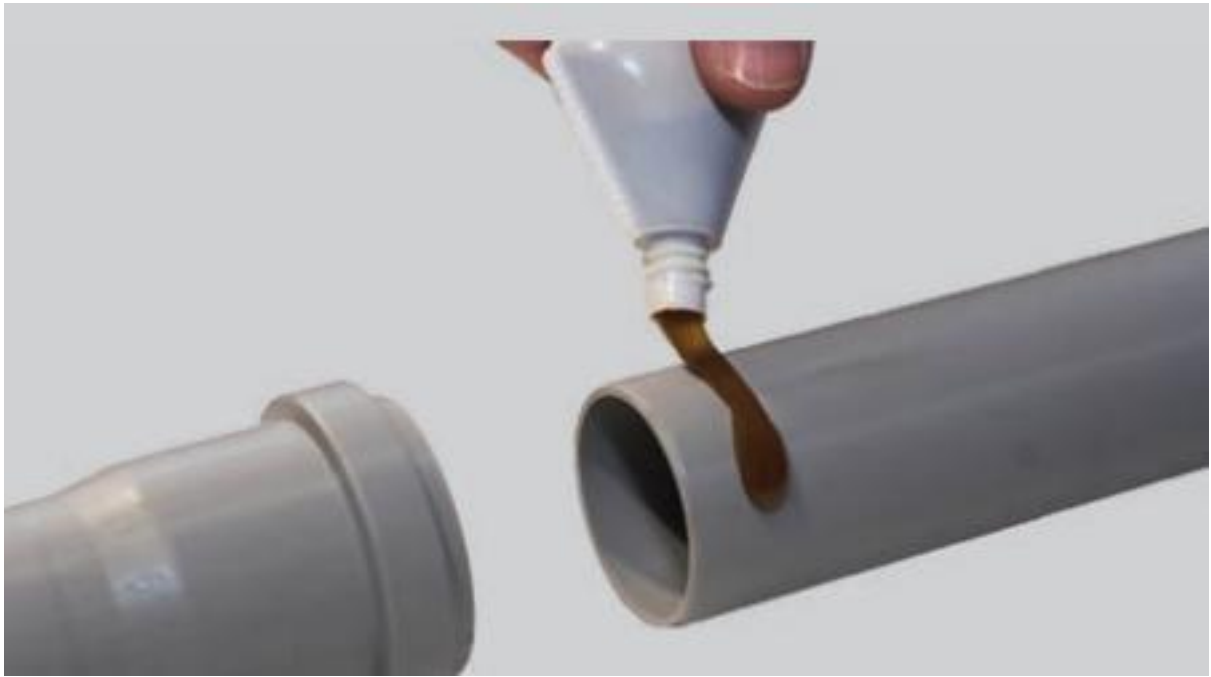


Рисунок 1.6 - Нанесение специального клея

При соединении двух углепластиковых труб или трубы и стержня, одна труба 3 охватывает другую трубу или стержень 1, но перед операцией соединения на охватываемую трубу или стержень надевается металлотрикотажное полотно 1 (рисунок 1.7), которое будет являться армирующей сетчатой основой соединения [4.1].

Поверх полотна 1 (рисунок 1.8) наносится слой клея, который позволяет повысить прочность соединения, а трикотаж из металлических нитей обеспечивает теплопроводность и электропроводность соединения деталей. После нанесения клея, трубы или труба и стержень соединяются, образуя единую прочную конструкцию (рисунок 1.8). Повышение прочности и обеспечение теплопроводности соединения особенно важно при использовании соединённых труб или стержня 2 и трубы 3 при знакопеременных температурах, например, в космических антеннах.

Принципиально данный способ соединения может быть применён для любых пластиковых труб, используемых при знакопеременных температурах и требующих прочности мест соединения.

При изменении температуры может происходить удлинение или укорачивание труб, при этом армированное трикотажем соединение будет также изменять размеры, что не позволит разорвать места соединений, так как армированные соединения оказываются более прочными и обладают высокой теплопроводностью [4.1].

Так как ни один из способов соединения, кроме клеевого с армированием, не обладают достаточной теплопроводностью, то для соединения труб, работающих в условиях знакопеременных температур необходимо использовать только клеевой способ с армированием соединений, например, трикотажем.

На рисунке 1.8 показано уже готовое соединение упомянутых выше деталей 2 и 3 с надетым металлотрикотажным трубчатым полотном 1.

### **1.3 Требования к металлическим трубчатым полотнам**

В соответствии с заказом Российских предприятий: “Арсенал” ( Санкт- Петербург ) и “Информационные Спутниковые Системы им. М.Ф. Решетнёва“ ( Железногорск ), необходимо разработать трубчатые полотна из металлических нитей для армирования мест соединений углепластиковых труб малого диаметра с алюминиевыми стержнями или трубами, имеющими наружный диаметр, близкий к наружному диаметру вставляемых стержней или труб.

На изготовление трубчатых металлических полотен для труб или стержней диаметром 10, 40, 60 и 100мм в соответствии с этим заказом были представлены технические требования [5.1] к металлическим полотнам, на основании которых ширины трубчатых полотен в сложенном состоянии должны быть соответственно 40мм, 60мм, 100мм и 13мм, не указанное в технических условиях.

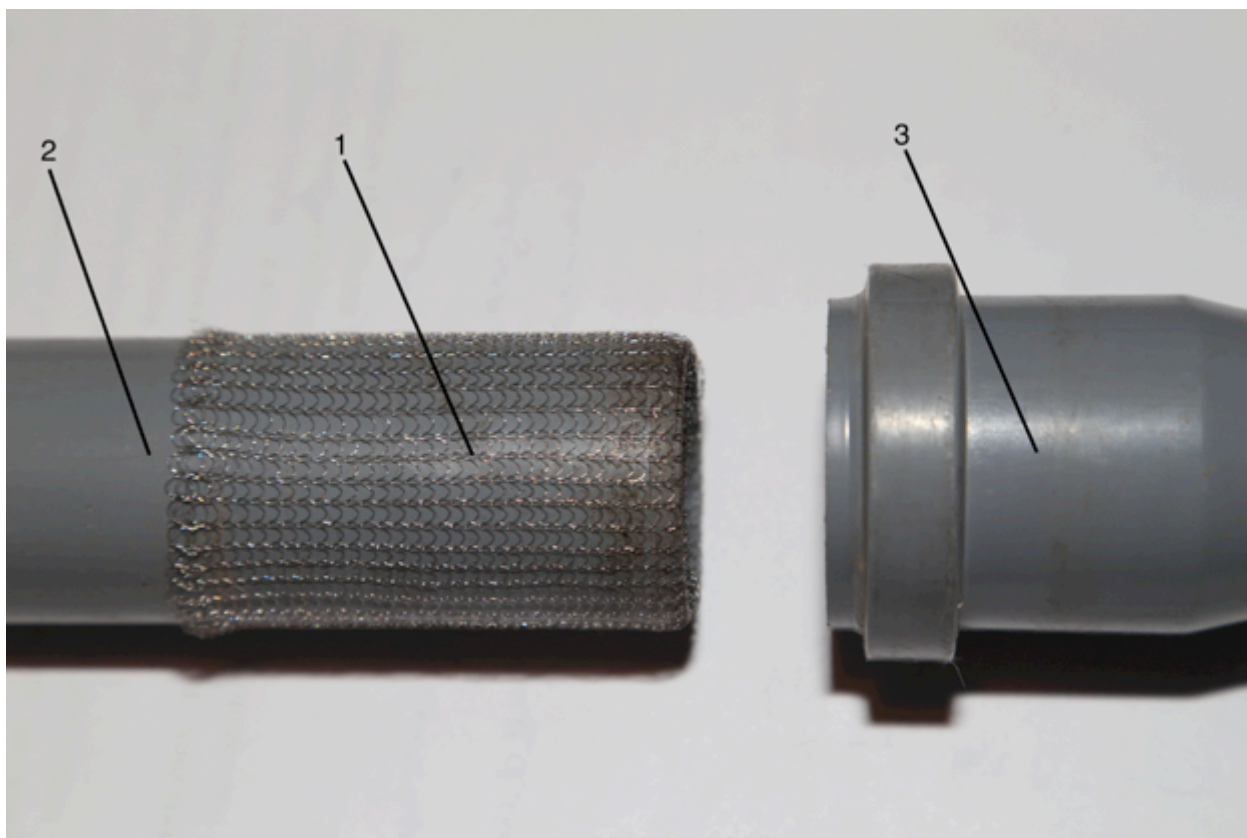


Рисунок 1.7 - Надевание армирующего трикотажного полотна

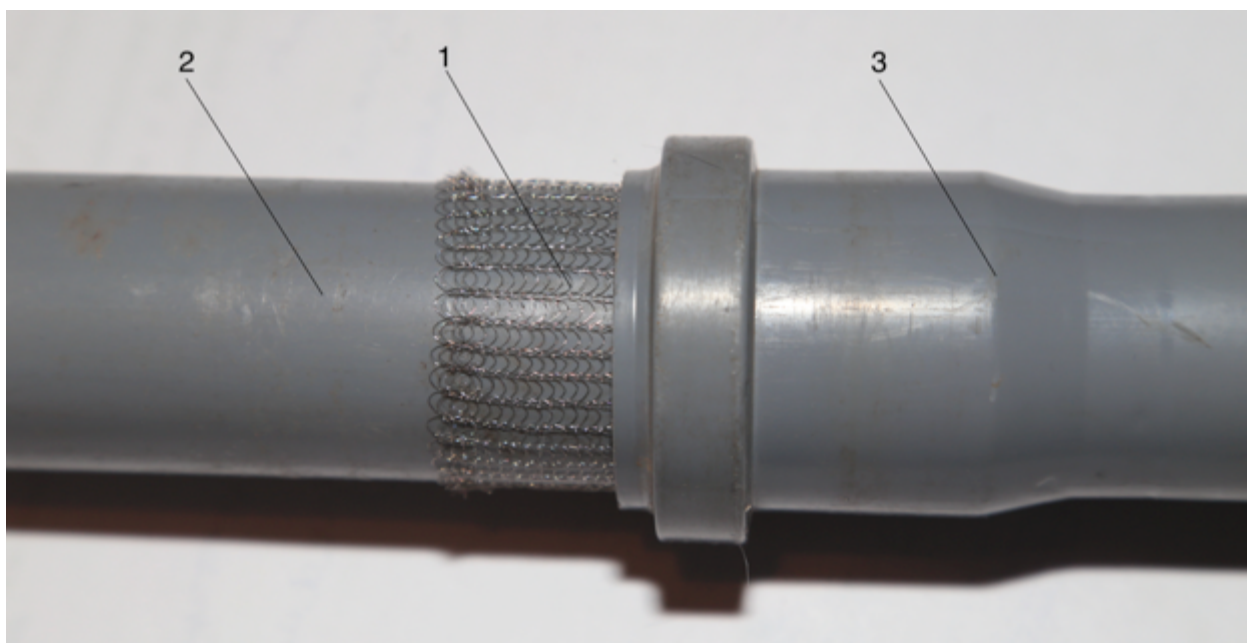


Рисунок 1.8 - Готовое соединение углепластиковых труб

Соответственно, относительное удлинение  $\varepsilon$  при растяжении трубчатого полотна при натягивании на стержень или трубу должно быть равно :

$$\varepsilon = \frac{\pi d_{\text{тр}} - 2Ш_{\text{п}}}{2Ш_{\text{п}}}$$

где  $d_{\text{тр}}$  - диаметр вставляемого стержня или трубы;

$Ш_{\text{п}}$  – необходимая ширина трубчатого полотна;

В таблице 1.2 представлены диаметры вставляемых стержней или труб и соответствующие им ширины армирующих трубчатых полотен и определено относительное удлинение трубчатого полотна при натягивании на стержни или трубы.

Таблица 1.2 - Ширины армирующих трубчатых полотен, используемых при соединении трубчатых деталей

Вариант №	Диаметр вставляемого стержня или трубы, $d_{\text{тр}}$ , мм	Необходимые ширины трубчатых полотен, $Ш_{\text{п}}$ , мм	Относительное удлинение при растяжении трубчатого полотна при натягивании на стержень или трубу, $\varepsilon$
1	10	13	0,21
2	40	40	0,57
3	60	60	0,57
4	100	100	0,57

Как можно видеть из таблицы 1.2, требования по расширению трубчатого полотна при надевании их на стержни к вариантам 2,3,4 одинаковы, на основании чего можно предположить, что размеры ячеек трубчатых полотен в вариантах 2, 3, 4 должны быть одинаковыми или близкими по форме и размерам, чтобы обес-

печить необходимую растяжимость. Ячейки для заполнения клеем должны иметь форму, близкую к прямоугольнику. Ячейки в варианте 1 могут несколько отличаться по форме от ячеек по вариантам 2, 3, 4, поэтому требуется сравнить форму и площадь ячеек во всех вариантах.

#### **1.4 Особенности нитей, используемых для вязания металлического трубчатого полотна**

Для металлического трубчатого полотна должна быть использована магнитная проволока для записи гармонических сигналов, изготавливаемая в соответствии с ГОСТ 18834-83 [5.2] и техническими условиями [5.1].

Проволока изготавливается из сплава марки ЭИ-708ВИ и предназначена для записи и воспроизведения гармонических сигналов, контроля аппаратуры и магнитной записи.

Диаметр проволоки составляет 0,05мм. Очень важным показателем проволоки в соответствии с техническими условиями является диаметр завитка, образуемого свободным отрезком проволоки, который составляет 20мм. При вязании на машинах проволока проходит ряд изгибов, имеющих значительно, по крайней мере на порядок, меньшие размеры изгибающих её деталей, что может влиять на прочность и дефектность полотна. Так, диаметр сечения головок игл на машинах разных классов может колебаться от 0,3-2мм [1.3]. Изгибание нити при кулировании на иглах может вызвать появление излома проволоки и изменить качество полотна. Поэтому при отработке технологии необходимо провести оценку дефектности полотна, определить виды дефектов и их частотность, выявить причины появления дефектов.

Проволока поставляется на катушках с параллельной намоткой с массой проволоки не менее 135г. На катушке должен быть плотно намотан один отрезок проволоки. Допускается масса отрезка на катушке для проволоки диаметром 0,05мм не менее 70г – 80% партии и 20% массой 40г.



Физико-механические показатели свойств металлической нити диаметром 0,05мм приведены в таблице 1.3 [5.2].

Таблица 1.3 - Физико-механические показатели свойств металлической нити

Физико-механические свойства	Нить стальная ЭИ-708А
Линейная плотность, Т, текс	1,55x1
Жесткость при изгибе, EJ, сН· мм <sup>2</sup>	6,563
Удельная жесткость, С, сН· мм <sup>2</sup> /текс	0,423
Плотность, Р, г/см <sup>3</sup>	7,9
Модуль упругости E, Н/мм <sup>2</sup>	21· 10 <sup>4</sup>
Разрывное напряжение, $\delta$ , Н/мм <sup>2</sup>	2320

Для изготовления трубчатых полотен рекомендовано использовать металлические нити линейной плотности 1,55x1 текс в два конца [5.1].

В настоящее время металлические нити находят широкое применение в производстве трикотажа, используемого в вибро- и ударопоглощающих деталях, для изготовления разнообразных прокладок, фильтров и так далее [6.8; 2.2; 6.9; 2.3; 6.10; 6.11]. Свойства металлических нитей отличаются от свойств волокон и нитей органического происхождения. Они имеют сравнительно большую жесткость при изгибе, высокую пластичность и наибольшую прочность при испытании на разрыв [1.3]. Модуль упругости стальных нитей превышает модуль упругости нитей: стеклянных – в 3 раза [1.4], вязкозных – в 40 раз и более [1.5]. Относительное разрывное удлинение металлических нитей находится на уровне стеклянных нитей и составляет 1,5-4,0% [1.4]. Особенностью свойств металлических нитей является возникновение упруго-пластической деформации нити в процессе петлеобразования.

Металлические трубчатые полотна малого диаметра в качестве армирующего элемента мест соединений труб, обладающих теплопроводностью и электропроводностью разрабатываются впервые.

Так как металлическая нить при переработке на трикотажной машине может быть повреждена из-за значительных перегибов при прохождении направляющих глазков и особенно при кулировании на иглах, необходимо провести анализ образцов трикотажа на разрыв.

### **1.5 Обоснование выбора оборудования для выработки трубок малого диаметра**

Металлотрикотажное трубчатое полотно малого диаметра можно вырабатывать на трёх типах трикотажного оборудования: кругловязальных машинах малого диаметра, плосковязальных и основовязальных машинах.

Использование плосковязальных машин для производства трубчатого полотна малого диаметра из металлических нитей нецелесообразно по нескольким причинам: при заправке машины даже в пять ручьёв и относительно высокой линейной скорости перемещения кареток, при длине её хода в один метр в секунду и работе одной вязальной системы, один ход каретки в одну сторону выполняется за 1 с, а полный оборот за 2 с, таким образом за одну минуту на каждом ручье вырабатывается всего 30 петельных рядов. Или на всех ручьях 150 петельных рядов, то есть скорость выработки полотна очень низкая даже на предельных показателях скорости. Кроме того, при работе машины в пять ручьёв требуется пять нитеводителей.

Сложным на плосковязальных машинах является подача металлической нити [4.2], намотанной на специальные маленькие катушки, имеющие параллельную намотку. Смотывание нити при параллельной намотке требует установки на машине специальных устройств, причем при выработке полотна в пять ручьёв таких устройств должно быть десять.

Кроме того, известно, что при реверсивном движении каретки, натяжение подаваемой нити меняется от 28 до 150 сН [3.2].

Такое изменение натяжения при переработке металлических нитей диаметром 0,05 мм даже в два сложения может вызвать её обрыв или образование сукрутин, что скажется на качестве полотна и увеличении его дефектности.

И, наконец, сложность обеспечения равномерности полотна по всей окружности трубки из-за определённого, заранее установленного расстояния между игольницами. При переходе с вязания с одной игольницы на другую на трубке может получаться более длинная или более короткая протяжка, изменяющая структуру полотна в двух местах трубки.

Всё сказанное выше позволяет отказаться от использования плосковязальных машин для производства трубчатого полотна из металлических нитей.

Использование основовязальных машин для вязания трубчатого полотна требует применения обязательно двухфонтурных машин, оснащенных по крайней мере четырьмя гребёнками, две из которых должны вязать два полотна трубки, а две другие выполнять их соединение. Постоянное расстояние между игольницами так же, как и на плосковязальных машинах может привести к неравномерности полотна на стыках полотен.

Однако самым главным недостатком производства трубчатого полотна из металлических нитей на основовязальном оборудовании является необходимость выполнения дополнительных операций по перематыванию и дальнейшему снованию нитей на сновальные катушки, что значительно усложняет и удорожает процесс выработки полотен.

При заправке нитей по две в одну ушковину при использовании четырехгребеночных машин очень сложным является процесс заправки и обслуживания, так как обрыв одной из нитей, заправленных в одну ушковину на трубчатом полотне может быть малозаметен при вязании, что приведёт к увеличению длины участка бракованного полотна. Увидеть быстро обрыв одной нити на участке до зоны вязания при использовании четырех гребенок практически невозможно.

При использовании восьми гребенок обнаружить обрывы нитей до зоны вязания также весьма сложно, поэтому от использования основовязального производства трубок пришлось отказаться.

Современные кругловязальные машины малого диаметра для выработки чулочно-носочных изделий выпускаются диаметрами от  $2\frac{3}{4}$  до  $4\frac{1}{2}$  дюймов, от 6 до 34 классов. На одноцилиндровых автоматах высоких классов (32-34) рекомендуется перерабатывать в основном эластичную пряжу от 2,2 текс [6.12; 6.13]. Такие машины имеют диаметр от  $3\frac{3}{4}$  до  $4\frac{1}{2}$  (5) и предназначены для вязания женских чулок и колготок, имеющих мелкочаеистую структуру, нецелесообразную для использования при заливке её клеем, так как клей будет разливаться по поверхности трикотажной структуры и практически не заливаться в её ячейки, что не позволит обеспечить необходимую теплопроводность и прочность соединения склеиваемых поверхностей.

Одноцилиндровые автоматы средних классов, выпускаемые в основном от 7 до 20 классов [6.12; 6.13], предназначены для вязания детских и мужских носков, имеют диаметр  $2\frac{3}{4}$  -  $3\frac{3}{4}$  дюйма, имеющих соответственно 72 – 240 игл, позволяют вырабатывать носочные изделия шириной от 65-85 мм и предназначены для переработки пряжи в основном из натуральных волокон: хлопчатобумажной и шерстяной пряжи следующих линейных плотностей, например, для машин 7 класса – хлопчатобумажная пряжа 25 текс х 2, полушерстяная пряжа 31 текс х 2, для машин 14 класса – хлопчатобумажная пряжа 11,8 текс х 2, полушерстяная пряжа 31 текс х 2 [6.12; 6.13].

Изучение каталогов [6.14] автоматов малого диаметра среднего класса, выпускаемых ОАО “Тулаточмаш” и предназначенных для вязания носочных изделий, показало, что на одноцилиндровых автоматах одного и того же диаметра, изменяя его класс, то есть число установленных в цилиндре игл, так, например, на машинах  $2\frac{3}{4}$ ” модели Гамма 105/112 11 класса, имеющих в цилиндре 96 игл можно вязать носочные изделия от 12-16 размера, а на автоматах модели Гамма 105/142 14 класса, имеющих тот же диаметр  $2\frac{3}{4}$ ” и число игл в цилиндре 120 при использовании пряжи тех же линейных плотностей: хлопчато-

бумажной – 11,8 текс х 2, полиамидной текстурированной нити – эластик – 15,6 текс и полушерстяной пряжи – 31 текс х 2 можно получить изделия 16-18 размера, то есть на машинах одного диаметра, но разного класса можно получать изделия от 12 до 18 размеров [6.14].

Аналогично на двухцилиндровых автоматах [6.14], например, модели Гамма 201М/142 – 14 класса диаметром 2  $\frac{3}{4}$ ” можно выпускать носочные изделия 14-18 размеров, а на автоматах моделей ГАММА 201М/122 – 12 класса диаметром 2  $\frac{3}{4}$ ” можно вырабатывать при использовании аналогичной пряжи изделия 12-14 размера. Ширина изделий 12 и 18 размеров значительно отличается и может меняться от 40 до 80мм. Таким образом, возможности кругловязальных машин показывают, что изменение числа работающих игл в цилиндре позволяет получать разную ширину трубчатого полотна. Однако, какое число работающих игл должно быть в цилиндре при переработке нетрадиционной металлической нити для получения заданных ширин полотна и каковы должны быть в каждом варианте параметры вязания: глубина кулирования, усилие оттяжки, усилие натяжения нити и скоростные режимы неизвестны.

Также неизвестно, возможно ли обеспечить получение заданных ширин 13, 40, 60 и 100мм трубчатого полотна с близкими параметрами на машине одного диаметра, или потребуются машины разных диаметров. Важным показателем полотна является его длина, которая зависит от вида оборудования, длина полотна вырабатываемого кулирными переплетениями, связанными на плосковязальной и кругловязальных машинах может достигать практически любой длины, поскольку замена нитей на бобинах может производиться без остановки вязания, путём привязывания конца заканчивающейся нити к концу нити новой бобины.

Естественным фактором, который может повлиять на ограничение длины вырабатываемого полотна может быть только обрыв нити во время вязания. Чтобы определить возможную длину полотна, необходимо провести эксперименты по статистике обрывов.

На основовязальных машинах длина полотен без учета обрывов зависит от длины нити, намотанной на катушках, который лимитируется сновкой.

Как показали эксперименты, проведённые Заваруевым В.А. [3.1], длина полотен, выработанных на основовязальных машинах может достигать 500 м.

Принципиально на кругловязальных машинах полотна, не допуская обрыва нити, могут иметь длину, превышающую 500 м за счёт подвязывания нити, что подтверждает необходимость использования для вязания трубчатого полотна из металлических нитей на кругловязальных машинах малого диаметра.

Технологии полотен из металлических нитей, вырабатываемые на основовязальных машинах разработаны профессором В.А. Заваруевым. Однако, технологии трубчатых полотен из металлических нитей неизвестны.

В работах указывается достаточно широкое применение металлических нитей в различных изделиях. Так, компания “Инмор” [6.8] решила использовать металлические нити по программе импортозамещения для изготовления основной детали амортизаторов, применяемых в гражданских судах.

В работе [6.11] указывается о применении металлических нитей при изготовлении бумажных денег для их упрочнения.

В работе [6.21] описывается сетка из полимерных и металлических нитей, разработанная профессором Гарвардского университета Чарльзом Лебером. Сетки предназначены для внедрения в мозг для изучения его работы. Эти сетки, как указывается, могут быть хорошими электродами.

В работе [6.24] журналиста М. Базамишвили указывается, что дизайнер Йорис Лаарман предполагает выполнить 3Д- печать из металлических нитей. Он считает, что эта технология в будущем станет базовой строительной технологией. Автор проекта МХЗД, Лаарман планирует построить мост в 2017 г. В качестве материала для 3Д- печати используются металлические нити.

Металлические нити широко применяются в кордах для придания жёсткости основанию шины [6.9].

Таким образом, металлические нити достаточно широко используются для производства или упрочнения изделий, а также для придания им электропроводности. Однако, описание технологий вязания трубчатых полотен отсутствует.

Фирма МТК Тао Пласт ( Китай) [6.23] предлагает оборудование для производства труб диаметрами 7,6-273 мм из металлической ленты, толщина труб меняется в пределах 0,3 – 12 мм. Такие толщины превышают толщину двух нитей  $0,05 \times 2 = 0,1$ мм, предложенных для использования. Однако, описание технологии изготовления отсутствует.

Из-за отсутствия структур и технологий трубчатых вязаных изделий из металлических нитей, необходимо обосновать структуру переплетения для вязания трубчатых полотен и разработать технологию их выработки.

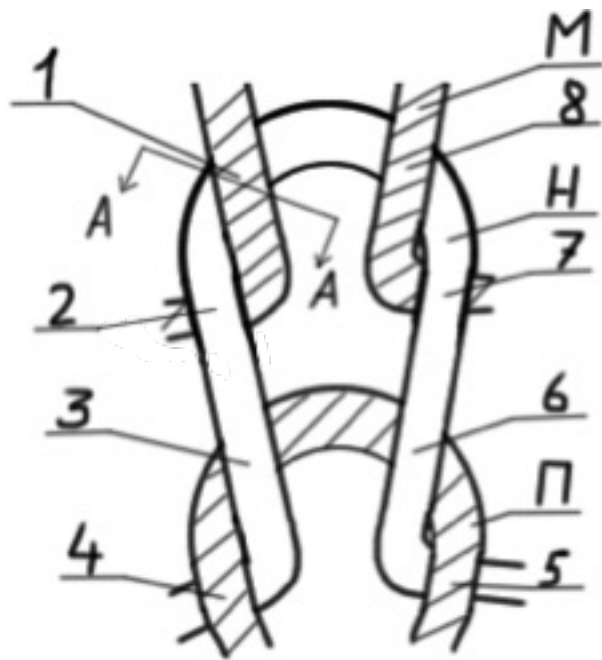
### **1.6 Обоснование выбора переплетения для выработки трубчатого трикотажного полотна**

Толщина трубчатого трикотажного полотна, предназначенного для армирования мест соединений трубчатых изделий, имеющих минимальные допуски диаметров, должна быть по возможности минимальна.

Чтобы обеспечить это требование по толщине, трикотажное полотно должно иметь минимальное количество наложений нитей друг на друга в местах соединений петель и не иметь дополнительных наложений элементов структуры трикотажа друг на друга [2.13].

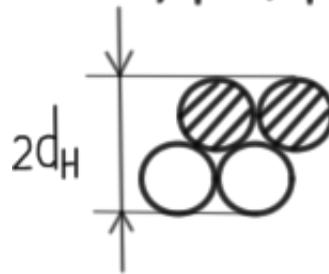
Таким переплетением может быть только кулирная гладь, каждая из петель которой имеет всего восемь точек наложения ( 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, рисунок 1.9 а) одной петли Н на предыдущую П и последующую М ( рисунок 1.9 а) петли. Какие-либо другие наложения петель в структуре глади (рисунок 1.9 в) отсутствуют, что нельзя сказать о других переплетениях; даже интарзийных и продольно соединённых, выработанных на базе глади и имеющих дополнительные наложения петель в местах соединения отдельных участков.

Кроме того, эти переплетения требуют дополнительных устройств для управления нитеводами, устройств отбора игл или механизмов переноса.



а

A - A



б

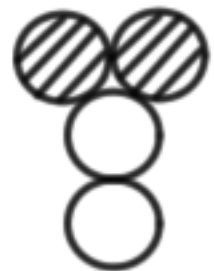
в



г



д



е

Рисунок 1.9 – точки пересечения петель



Такие переплетения как ажурные, ананасные [1.6] имеют дополнительные наложенные элементы структуры трикотажа петли [2.12] или протяжки.

Прессовые, жаккардовые, уточные, футерованные переплетения [1.7], образованные даже на базе одинарных переплетений имеют также дополнительные наложенные элементы и не могут быть рекомендованы для вязания трубчатых полотен, предназначенных для армирования мест соединений трубчатых изделий.

В полотнах, выработанных из металлических нитей, имеющих круглое сечение, одиночные нити, не сплюсцивающиеся в структуре трикотажа, оставаясь круглыми в сечении, нити, образующие петли, при наложении в точках 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 имеют максимальную толщину, равную двум толщинам нити  $2d_n$ , так как в положениях (рисунок 1.9 в, 1.9 г, 1.9 д), нити удержаться, особенно при надевании полотна на трубы, не могут.

Таким образом, по толщине переплетение гладь будет иметь наименьшую величину, равную не более  $2d_n$  (рисунок 1.9 б). На более длинных участках 2-3, 6-7, находясь в свободном состоянии, полотно также может иметь толщину, равную  $2d_n$ , а в натянутом на трубу, толщина равна  $d_n$ .

Кроме того, при надевании на трубу или круглый стержень петли глади могут легко деформироваться, изменяя параметры трикотажа  $A$  – петельный шаг и  $B$  – высоту петельного ряда за счёт перемещения металлической нити из палочек петель в протяжки и выпрямления петельных дуг.

Такая деформация структуры изменит её параметры на  $A_p$  –  $B_p$  и приблизит форму ячейки к прямоугольному виду.

Таким образом, переплетение гладь может удовлетворить как по виду ячейки, так и по толщине полотна.

Таким образом, целью данной работы является разработка технологии трикотажного трубчатого полотна малых диаметров переплетения гладь с ячеистой структурой, выработанное из металлических нитей заданного диаметра, применяемое для армирования мест соединений углепластиковых труб с трубами и стержнями из алюминиевого сплава и способствующее приданию теплопроводности и электропроводности мест соединений.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать способ получения трубчатого полотна малых диаметров по возможности на машине одного диаметра и класса кругловязальной машины;
- разработать механизм подачи нити, обеспечивающий минимальную обрывность нити и стабилизирующий натяжение при нитеподаче;
- усовершенствовать механизм оттяжки трубчатого полотна, обеспечивающий получение трикотажа заданных ширин;
- выполнить анализ и экспериментальную проверку влияния установки бобин и сматывания нитей на прочность образцов;
- выполнить расчёт длины петли с учётом особенностей её формы и свойств металлической нити;
- определить оценку дефектности трикотажных трубчатых полотен, влияющей на качество полотна и возможную длину нарабатываемого полотна;
- выполнить экспериментальную оценку влияния глубины кулирования, изменения усилия оттяжки и числа работающих игл на изменение ширины полотна;
- выполнить анализ образцов трикотажного полотна на разрыв;
- установить зависимость ширины получаемого трикотажа от параметров вязания, позволяющую определить наиболее значимые из выбранных факторов и установить причинно-следственные связи;
- установить оптимальные параметры вязания трубчатого полотна с использованием “ризоматической логики”, что позволит более эффективно настраивать машины при вязании трубчатых полотен с заданными параметрами.
- выработать трубчатые полотна шириной 13, 40, 60, 100 мм.

**ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1**

1. Обоснована актуальность разработки технологии металлических трубчатых трикотажных полотен, обладающих высокой растяжимостью, теплопроводностью и электропроводностью, используемых для соединения углепластиковых труб с трубами или стержнями из алюминиевых сплавов.
2. Анализ способов соединения пластиковых труб показал, что для соединения углепластиковых труб или труб и стержней из алюминиевого сплава с углепластиковыми трубами, наиболее целесообразно применять клеевое соединение с армированием.
3. В качестве армирующего материала мест соединений целесообразно использовать трикотаж с ячеистой структурой, выработанной из стальной нити марки ЭИ-708А, обладающей высокой электропроводностью, диаметром 0,05 мм в два конца.
4. Установлено, что для выработки трубчатых полотен разного малого диаметра от 13 мм до 100 мм, наиболее экономично использовать машины малого диаметра, такие как чулочно-носочные автоматы.
5. Анализ работы чулочно-носочных автоматов показал, что на машинах одного диаметра при изменении числа работающих игл могут быть получены полотна значительно отличающиеся по ширине. Так, на машине 2  $\frac{3}{4}$  ” с разным числом игл можно вырабатывать чулочно-носочные изделия от 12 до 18 размеров, что позволило предположить возможность получения металлических трубок разного диаметра от 13 мм до 100 мм на машинах одного, двух разных диаметров.
6. Установлено, что в качестве основного переплетения для вязания трубчатых полотен малого диаметра необходимо использовать структуру переплетения – кулирная гладь.
7. Для решения поставленной цели по разработке технологии выработки трубчатого полотна из металлической нити поставлены задачи.

## 2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТРУБЧАТОГО ТРИКОТАЖА ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НИТЕЙ

Металлические нити, которые предполагается использовать для выработки трубчатых полотен являются нетрадиционными, поэтому перед их переработкой на вязальных машинах произведём анализ особенностей наиболее важных операций процесса петлеобразования: прокладывания и кулирования. Для выработки полотна была выбрана кругловязальная машина “Свит” 14 класса, диаметром  $2 \frac{3}{4}$ ”, предназначенная для выработки носочных изделий при работе игл только в нижнем цилиндре для обеспечения вязания глади.

### 2.1 Исследование условий прокладывания нити

Наиболее важной операцией процесса петлеобразования на вязальной машине является операция прокладывания нити на иглы, от которой зависит захват нити иглами. Графический анализ возможных вариантов расположения нитеводоов позволяет выявлять оптимальное размещение нитевода относительно игл и отбойной плоскости, что в последствии позволит уменьшить возможность незахвата нити иглами при её прокладывании и, как результат, исключить сбрасывание предыдущих петель с игл при вязании.

Графический анализ рисунка 2.1 процесса петлеобразования, проведённый для кругловязальной машины “Свит” 14 класса, с углом кулирования  $\alpha_k = 47^\circ$  показывает, что нитевод Н можно располагать на разной высоте  $Z_0$  и разном удалении от точки начала кулирования К. Причём при разных классах машин, но одинаковом диаметре, удаление нитеводоов от центра машины должно увеличиваться с уменьшением класса. Так, например, если диаметр расположения нитеводоов для машин 10 класса соответствует диаметру  $D_{н1}$ , то для машин 12 класса он должен быть меньше, соответственно  $D_{н2}$ , по крайней мере на величину изменения диаметра головки крючка, то есть  $D_{н2} < D_{н1}$ , соответственно, диаметр расположения нитевода на машинах 14 класса будет равен  $D_{н3} < D_{н2}$ . Эти условия должны быть учтены при математическом анализе процесса петлеобразования при прокладывании металлической нити с разными раппортами прокладывания нити на

машинах разных диаметров и классов. Раппортом кладки металлической нити назовём различный пропуск игл при вязании.

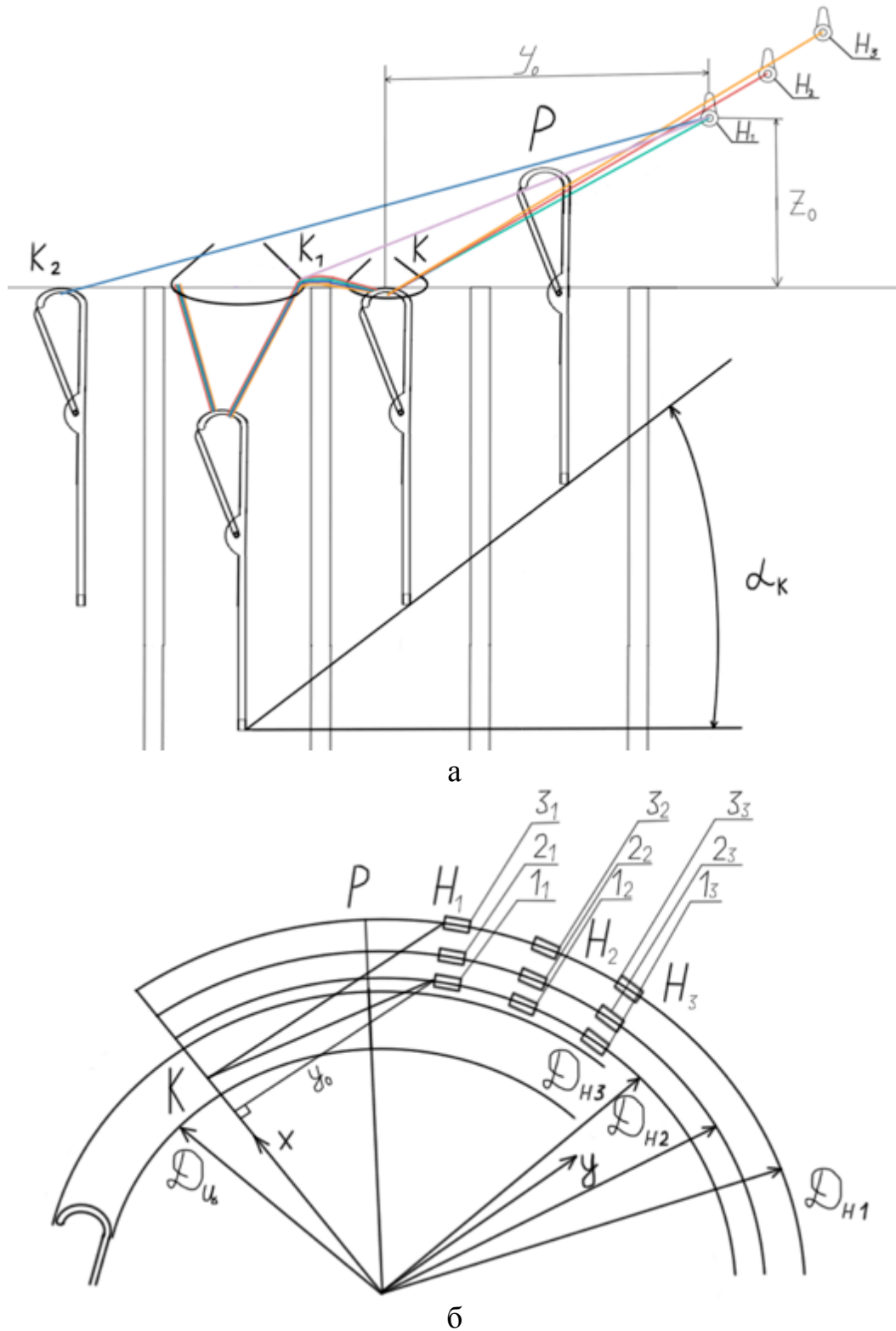


Рисунок 2.1 – Графический анализ процесса петлеобразования

Как было показано выше, за счёт изменения класса машины на одном и том же диаметре кругловязальной машины можно получать разную ширину трубчатого трикотажа в сложенном состоянии или разный диаметр трубки (глава 1). Фирмы-производители оборудования достигают изменения класса машин за счёт изменения шага нарезки пазов игольных цилиндров, при этом изменяется величина игольного шага и условия прокладывания нити. В этом случае, при использовании нитей одних и тех же линейных плотностей на машинах разных классов иглы, работающие на машине, при одинаковой ширине пазов могут быть одинаковыми [3.4].

Очевидно, что аналогичного изменения класса машин можно достигнуть на одной машине при работе игл с определённым шагом, то есть, например, при работе всех игл, через одну, две, три и так далее игл. При этом изменяется раппорт кладки нити. При пропуске игл, то есть захвате нити не всеми иглами, изменяются условия прокладывания, а именно условия захвата нити.

Причём, при одинаковой установке нитеводителей по высоте  $Z_0$  относительно плоскости отбоя и удалении от цилиндра, условия захвата нити при аналогичных классах и пропусках игл на разных диаметрах машин  $D_{ц}$  могут быть разными (рисунок 2.1).

Поэтому представляет интерес провести анализ процесса петлеобразования, исходя из изменения раппорта кладки нити.

Количество работающих игл в раппорте кладки будем менять за счёт ритмичного пропуска игл, путём выключения их из работы. При этом класс машины будет также меняться.

В свою очередь, количество работающих игл в раппорте кладки при выработке трубчатого полотна из металлической нити будет влиять на ширину и форму остова петель, длину и форму протяжек, а также на упругость трубок и их ширину.

Для расчёта класса  $K$  машины при изменении раппорта кладки воспользуемся формулами 2.1 и 2.2

$$K = \frac{25,4I_p}{\pi D_{\text{ц}}} \quad (2.1)$$

$$K_i = \frac{K}{R_1 + R_2} \quad (2.2)$$

где  $K$  – класс машины при работе всех игл;

$K_i$  – класс машины при выключении игл в раппорте кладки;

$R_1$  - работающая игла в раппорте кладки;  $R_1$  всегда равна 1;

$R_2$  – количество выключенных игл в раппорте кладки;

$D_{\text{ц}}$  - диаметр цилиндра машины по центру головок игл, мм;

$I_p$  - число работающих игл.

Расчёты классов машин, выполненные по формулам 2.1 и 2.2 сведём в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Изменение классов машин в зависимости от изменения числа работающих игл в раппорте кладки

Раппорт кладки	lllllll	lililil	liililii	liiililiii	liiiiliiii	liiiiiiii
Изменение классов $K_i$	10	5	3,3	2,5	2	1,66
	12	6	4	3	2,4	2
	14	7	4,6	3,5	2,8	2,33

Где l – работающая игла;

i – выключенная из работы игла.

Для машины “Свит” 14 класса, диаметром  $2 \frac{3}{4}$ ”, имеющей 120 игл в цилиндре, сохраняя чёткий ритм кладки, принципиально возможно пропускать до пяти

игл в раппорте. Все возможные варианты кладки с получением чёткого ритма для указанной машины представлены в схеме на рисунке 2.2.

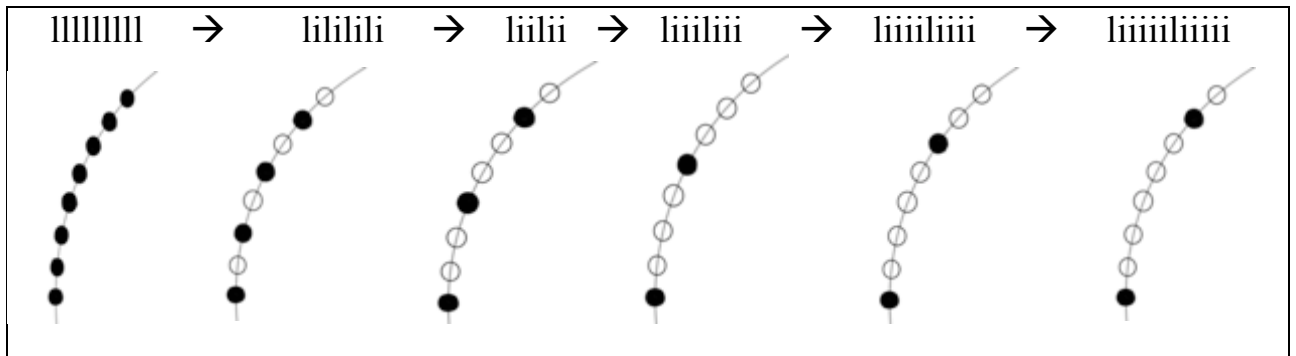


Рисунок 2.2 - схема возможной кладки нити на машине “Свит” 14 класса, диаметром  $2\frac{3}{4}$ ”

Однако, известно, что при вязании на трикотажных машинах и в том числе кругловязальных машинах, можно пропускать не любое число игл. Критическое максимальное число пропускаемых игл можно определить из условий захвата нити при прокладывании [3.3].

Известно [3.2], что критическое число пропускаемых игл на кругловязальных машинах от 100мм до 800мм практически не зависит от диаметра машины и в значительной степени зависит от размещения нитеводителя, параметров игольно-платинных изделий (игл) и класса машины.

Критическое число пропускаемых игл  $m$  для кругловязальных машин малого диаметра ( до 100мм) рассчитаем на основании графического анализа ( рисунок 2.1) [3.3], используя формулу 2.3.

$$m = \frac{K(PF-r)\left(\frac{\pi D_{ц}}{360} \arcsin \frac{2y_0}{D_{н}} - \frac{PF}{tg\alpha_k}\right)}{25,4(Z_0 - PF + r)} - 1 \quad (2.3)$$

где  $PF$  - расстояние от верхней внутренней точки на крючке иглы до центра оси иглы ( мм);

$r$  – высота крючка (мм);

$D_{ц}$  – диаметр машины по спинкам игл ( дюйм);



$D_n$  - диаметр размещения нитеводителя (мм);

$Y_0; Z_0$  - координаты размещения нитеводителя, соответственно, по осям  $Y$  и  $Z$  относительно точки “соединения” (рисунок 2.1.) (мм);

$\alpha_k$  - угол кулирования;

$K$  – исходный класс машины.

Для анализа рассмотрим рисунок 2.1, на котором точка  $K$  является точкой начала кулирования, точка  $P$  – момент прессования, при котором происходит закрывание язычка иглы.  $H_1K$  – положение прокладываемой нити при захвате её последней иглой 1. Если последняя захватившая игла 1 переместится относительно следующей захватывающей иглы, находящейся в точке прессования, в точку  $K1$ , то прокладываемая нить займёт положение  $H_1K1$  и условия захвата изменятся. Очевидно, что при большем числе пропущенных игл, последняя захватившая нить игла переместится дальше, например в точку  $K2$  и прокладываемая нить, идущая по линии  $H_1K2$  не будет захвачена иглой, находящейся в точке прессования. Рассчитаем возможное число пропускаемых игл по формуле 2.3, исходя из условий захвата нити для нескольких диаметров машин :  $2 \frac{3}{4}$ ”,  $3$ ”,  $3 \frac{1}{4}$ ”,  $3 \frac{3}{4}$ ” для 10, 12 и 14 классов машин.

Данные расчётов сведём в таблицы с учётом условий установки нитеводителя.

Исходные данные для расчёта критического числа пропускаемых игл на кругловязальных машинах малого диаметра приведены в таблицах 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2 - Исходные данные для расчёта критического числа пропускаемых игл

Класс	Параметры игл		Установка нитеводителя		Угол кулирования
	$PF$ , мм	$r$ , мм	$Z_0$ , мм	$Y_0$ , мм	$\alpha_k$ , град
10	7	2	6,8,10,12	10,15,20,25	47
12	6	1,8			
14	5	1,5			

Диаметры установки нитеводителя приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Диаметр установки нитеводителя

Диаметр цилиндра		Класс, диаметры установки нитеводителя					
d	D <sub>ц</sub> (мм)	К	D <sub>н1</sub> (мм)	К	D <sub>н2</sub> (мм)	К	D <sub>н3</sub> (мм)
2 ¾"	69,85	10	77,85	12	77,45	14	76,85
3"	76,2		84,2		83,8		83,2
3 ¼"	82,55		90,55		90,15		89,55
3 ½"	88,9		96,9		96,5		95,9
3 ¾"	95,25		102,25		100,3		100

Результаты расчётов по формуле 2.3 для машин диаметров 2 ¾" ÷ 3 ¾" 10, 12 и 14 классов при угле кулирования 47 градусов, критические числа пропускаемых игл из условий надёжности захвата нити представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Критическое число пропускаемых игл при Z<sub>0</sub> = 6мм, Y<sub>0</sub> = 10мм, Z<sub>0</sub> = 8мм, Y<sub>0</sub> = 15мм, Z<sub>0</sub> = 10мм, Y<sub>0</sub> = 20мм

Диаметр, дюйм	Расчётные значения критического числа пропускаемых игл при установке нитеводителей.								
	Z= 6 мм Y= 10 мм			Z= 8 мм Y= 15 мм			Z= 10 мм Y= 20 мм		
	Класс	10	12	14	10	12	14	10	12
2 ¾	4,9	3,7	3,4	4,5	3,6	3,9	4,6	4,4	4,2
3	4,6	3,5	3,5	4,5	3,8	3,9	4,7	4,4	4,3
3 ¼	5,6	3,9	3,5	4,9	3,8	4,0	4,8	4,6	4,2
3 ½	5,2	4,0	3,4	4,6	3,9	4,0	4,8	4,5	4,2
3 ¾	5,2	3,9	3,9	4,9	3,9	4,1	4,9	4,6	4,4

Таблица 2.5 – Критическое число пропускаемых игл при  $Z_0 = 10\text{мм}$ ,  $Y_0 = 25\text{мм}$ ,  
 $Z_0 = 11\text{мм}$ ,  $Y_0 = 25\text{мм}$ ,  $Z_0 = 12\text{мм}$ ,  $Y_0 = 25\text{мм}$

Диаметр, дюйм	Расчётные значения критического числа пропускаемых игл при установке нитеводителей.								
	Z= 10 мм Y= 25 мм			Z= 11 мм Y= 25 мм			Z= 12 мм Y= 25 мм		
Класс	10	12	14	10	12	14	10	12	14
2 ¾	6,8	6,3	5,8	5,7	5,4	5,0	4,8	4,7	4,49
3	6,9	6,3	5,8	5,7	5,4	5,06	4,9	4,7	4,46
3 ¼	6,9	6,3	5,9	5,7	5,4	5,1	4,95	4,7	4,5
3 ½	6,8	6,3	5,8	5,7	5,4	5,09	4,9	4,7	4,49
3 ¾	6,8	6,3	6,02	5,6	5,4	5,22	4,8	4,7	4,6

Как показали расчёты для машин малого диаметра, с увеличением класса критическое число пропускаемых игл несколько уменьшается, что можно объяснить влиянием параметров игл, также с подъёмом нитеводителя по высоте и удалением от точки начала кулирования критическое число пропускаемых игл несколько снижается, что говорит о влиянии параметров игл ( табл. 2.4).

На основании таблицы 2.4 можно сделать вывод, что для машин 10 класса при размещении нитеводителя по высоте  $Z_0 = 6\text{мм}$  и удалении от точки начала кулирования на 10 мм, критическое число пропускаемых игл при диаметрах машин 2 ¾” и 3” может быть равным 4, а на диаметрах 3 ¼”, 3 ½”, 3 ¾” равным даже 5, для машин 12 и 14 классов при том же размещении нитеводителя, критическое число пропускаемых игл равно 3.

При размещении нитеводителя по высоте  $Z_0 = 8\text{мм}$  и удалению от точки начала кулирования  $Y_0 = 15\text{мм}$ , для машин 10 класса критическое число  $m$  можно принять равным также 4, для машин 12 класса – равным 3, а для 14 класса в зависимости от диаметра цилиндра от 3 до 4 игл.

При размещении нитеводителя по высоте  $Z_0 = 10\text{мм}$  и удалению от точки начала кулирования  $Y_0 = 20\text{мм}$  для машин всех классов: 10, 12, 14, критическое число пропускаемых игл независимо от класса машины и диаметра цилиндра можно принять равным 4.

Как показали расчёты на критическое число пропускаемых игл, большее влияние оказывает размещение нитеводителя и размеры игольных изделий.

Как видим, при  $Z_0 = 12\text{мм}$  и  $Y_0 = 25\text{мм}$  (табл.2.5), число пропускаемых игл для машин 10, 12 и 14 классов равно 4. Анализируя формулу 2.3 видим, что при опускании нитевода, то есть изменяя значение  $Z_0$  можно увеличить число пропускаемых игл.

Для уточнения установочных параметров нитевода, обеспечивающего получение числа пропускаемых игл, равного пяти, были проведены дополнительные расчёты при следующей установке нитеводителя  $Z_0 = 10\text{мм}$  и  $Y_0 = 25\text{мм}$ ;  $Z_0 = 11\text{мм}$  и  $Y_0 = 25\text{мм}$ . Данные расчётов сведены в таблицу 2.5. Результаты расчётов показывают, что гарантированный захват нити при работе каждой пятой иглы на машине 14 класса может быть достигнут при  $Z_0 = 10\text{мм}$  или  $Z_0 = 11\text{мм}$  при  $Y_0 = 25\text{мм}$ . Данные установочные параметры нитевода ( $Z_0 = 10\text{мм}$ ;  $Y_0 = 25\text{мм}$ ) были приняты для выработки трубчатого трикотажного полотна из металлической нити.

Для подтверждения правильности расчётов необходимо было провести эксперименты на машине малого диаметра.

Однако, при изменении раппорта кладки изменяются не только условия захвата нити, но и условия операции кулирования. Поэтому, сначала рассмотрим особенности выполнения операции кулирования.

## **2.2 Особенности операции кулирования при изменении раппорта кладки**

Анализ процесса кулирования для вязания трубчатого полотна из металлических нитей при разных расстановках игл выполним для чулочно-носочного ав-

томата “СВИТ” (Чехословакия), диаметр цилиндра – 2 3/4”, 14 класса при работе игл только в нижнем цилиндре, так как трубчатое полотно должно вырабатываться переплетением гладь.

Для выполнения анализа рассмотрим участвующие при вязании рабочие органы и особенности вязальной системы.

В процессе петлеобразования участвуют ( рисунок 2.3) двухголовочные язычковые иглы 1, иглопроводители 2, платины 3, отбойный гребень 4. На рисунке 2.3 показано их взаимное расположение [1.8]. Иглопроводитель имеет крючок для сцепления с иглой и удлиненный верхний конец, за который иглопроводитель отводится в сторону при расцеплении с иглой. При выработке трубчатого полотна переплетением гладь расцепления игловода с иглой не происходит. Количество игл, первоначально установленных в цилиндре, было равно количеству пазов нижнего цилиндра и равно 120. При расстановке игл в

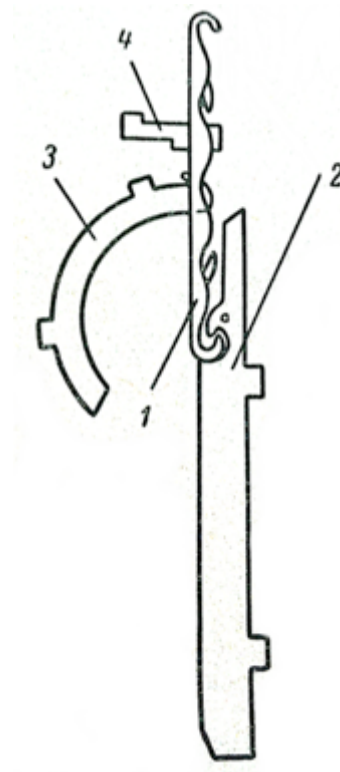


Рисунок 2.3 – Рабочие органы машины, участвующие в процессе петлеобразования

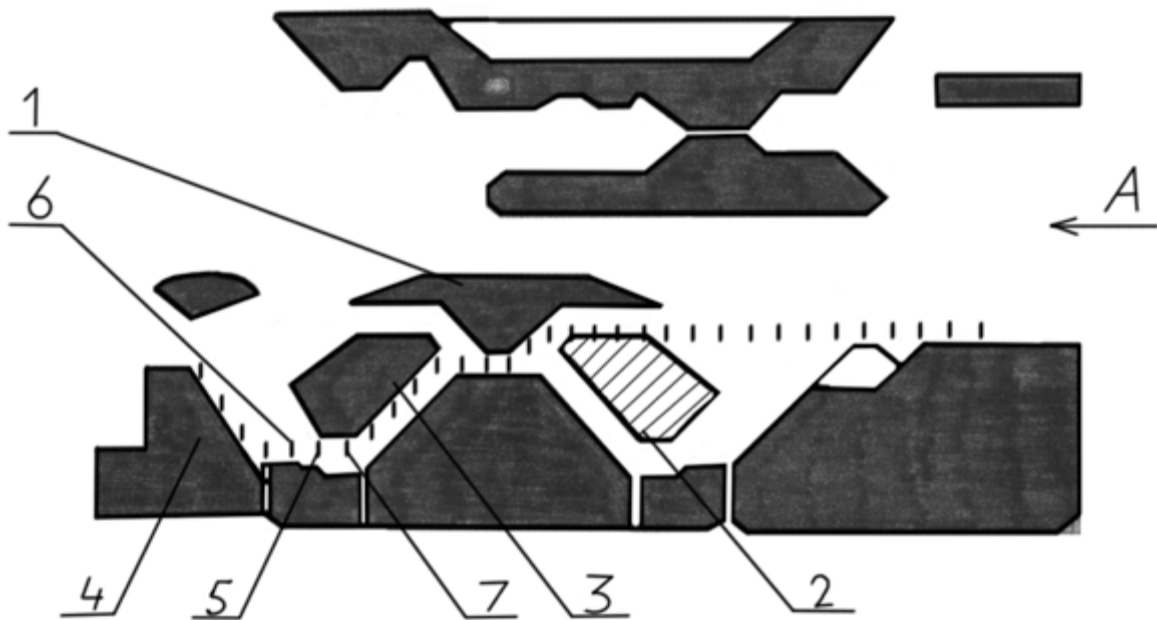


Рисунок 2.4 - Развёртка клиньев вязальной системы

соответствии с другими раппортами кладки из машины удалялись только неработающие иглы. Иголоводы, платины и отбойные гребни из машины не удалялись.

Иголоводы 2 в процессе петлеобразования поднимаются и опускаются за верхнюю пятку с помощью клиньев вязальной системы, представленной на рисунке 2.4. Кулирный клин 2 в вязании трубчатых полотен переплетений кулирная гладь и неполная гладь в процессе вязания не участвует и поэтому был удалён из системы. Таким образом, движение пяток иголоводов в процессе вязания выполнялось по стрелке А при опускании иголоводов по верхнему среднику 1 и кулирному клину 3, а подъём иголоводов, а вместе с ними и игл, после выполнения операции кулирования по клину 4.

При выработке образцов, игольный цилиндр вращался только в одну сторону и его движение осуществлялось против часовой стрелки.

При работе всех игл в цилиндре, пятки иголоводов перемещаются по схеме, указанной на рисунке 2.4. Игла, управляемая иголоводом 7, выполняющая операцию кулирования, потребляет нить только из нитеводителя, так как иголовод 5, управляющий предыдущей иглой, уже выполнившей кулирование, удерживается в нижнем положении площадкой клина 3, что исключает возможность перетяжки

нити от иглы, управляемой игловодом 5. Такой процесс обеспечивает ровноту петель, а их длина в значительной степени зависит от установленной глубины кулирования.

Однако, при выключении в раппорте переплетения работающих игл, например, если игловод 5 не работает и предыдущий игловод 6, обеспечивающий соответствующей его игле ранее захват нити, выходит из-под площадки кулирного клина 3. То есть игловод 6 находится в зоне, где расстояние от клина 4 до кулирного клина 3 превышает размер пятки игловода, что может обеспечить перетяжку нити от иглы, управляемой игловодом 6, игле, управляемой игловодом 7. Игловод 6 и соответствующая ему игла поднимутся.

Таким образом, при выключении игл в раппорте переплетения за счёт процесса перетяжки нити, длина нити в петлях трикотажа может уменьшаться, при этом ровнота петельной структуры может снижаться, а надёжность процесса увеличиваться, так как внезапное увеличение натяжения нити, идущей из нитеводителя может компенсироваться за счёт её перетяжки из предыдущей петли.

Однако, на величину перетяжки нити в процессе петлеобразования влияет не только натяжение нити, глубина кулирования, но и усилие оттяжки полотна и сопротивление игловода, перемещающегося в пазу цилиндра.

Следует отметить, что даже при всех одинаковых указанных условиях перетяжки нити, перетяжка может быть также разной из-за разного зазора между клиньями 3 и 4 на разных участках вязальной системы.

На основании сказанного, представляет интерес подтвердить возможность вязания при разных раппортах переплетения, выявить параметры процесса, обеспечивающие получение одинаковых или близких по ширине трубчатых полотен из металлических нитей.

Прежде чем выполнить наработку образцов трубок полотен из металлических нитей, необходимо было разработать механизмы подачи нити и оттяжки полотна.

Механизм изменения глубины кулирования будет использован стандартный, который установлен на машине и позволяет регулировать глубину кулиро-

вания от 0 до 3мм. Установленный механизм позволяет изменять глубину кулирования за счёт подъёма или опускания кулирного клина специальным винтом.

### **2.3 Разработка и исследование работы механизма подачи металлической нити**

Металлические нити поставляются на цилиндрических катушках, число слоёв на которых равно:

$$R_H = \frac{D_H - d_{BH}}{2d_H} + 1, \quad (2.4)$$

где  $d_H$  – диаметр металлической мононити, мм;

$d_{BH}$  - внутренний диаметр намотки или диаметр катушки, на который наматывается первый слой нити;

$D_H$  – диаметр катушки, на который наматывается последний слой металлической нити.

При сматывании нити с катушки, для того чтобы исключить скручивание или свести к минимуму образование сукрутин на нити, необходимо либо вращать саму катушку, либо вращать глазок-бегунок вокруг катушки.

Так как скорость подачи нити  $V_H$ , равная скорости потребления нити, должна быть постоянной, катушка, имеющая переменный диаметр  $D_H$ , должна иметь переменную частоту вращения  $n$  (мин<sup>-1</sup>)

$$V_H = \frac{\pi D_H n}{60 \cdot 1000}, \text{ м/с}, \quad (2.5)$$

Создать механизм с переменной частотой вращения катушки весьма сложно, поэтому было принято решение разработать механизм с вращающимся глазком-бегунком. Через глазок нить сматывается пассивно, со скоростью, равной скорости  $V_H$  потребления нити. Механизм сматывания представлен на рисунке 2.5.



Катушка 1 установлена на ось 6, где закреплена с помощью шпонки 2, что не позволяет катушке вращаться на оси. Глазок 3, закреплённый с помощью рычажка 4, вспомогательного кольца 7 и подшипника качения 5, вращается вокруг катушки, сматывая её с линейной скоростью потребления  $V_H$  нити.

$$V_H = \frac{l}{t_u} V_M, \quad (2.6)$$

где  $l$  – длина нити в петле, мм;

$t_u$  – игольный шаг с учётом кладки нити, мм;

$V_M$  – линейная скорость вращения цилиндра, м/с.

В дальнейшем глазок 3 будем называть бегунком – глазком.

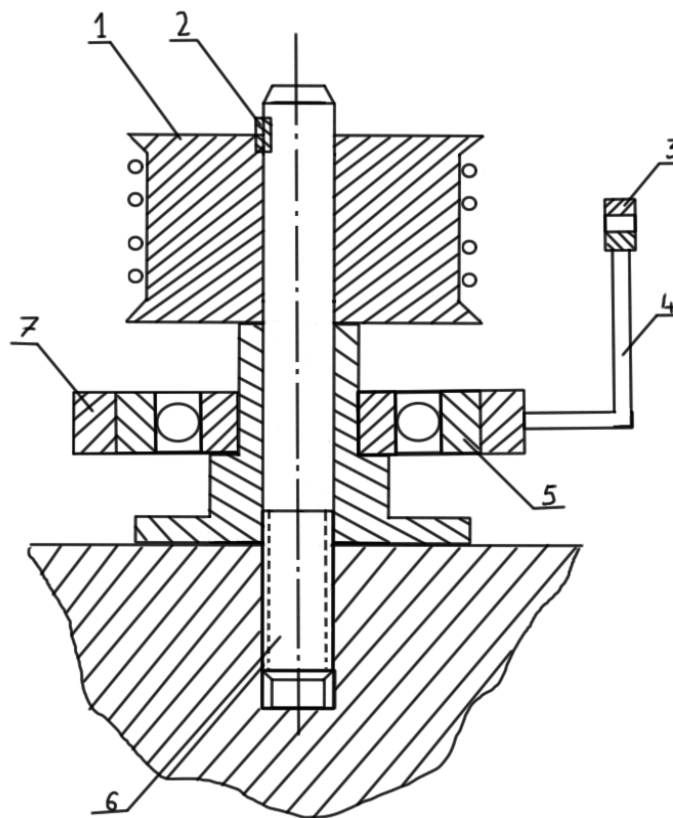


Рисунок 2.5 – Механизм сматывания металлической нити с катушки

Однако при сматывании нити бегунком-глазком на нити появляется крутка: одно кручение на длину нити, смотанной за один оборот глазка вокруг катушки. Причём частота кручений на нити будет увеличиваться по мере сматывания её с катушки, так как диаметр катушки при срабатывании нити уменьшается. Анализ появления сукрутин при сматывании нити с катушки будет произведён ниже, после наработки образцов.

## **2.4 Исследование операции оттяжки при переработке металлической нити с разным раппортом кладки**

Двухцилиндровый чулочно-носочный автомат “Свит” в нижнем цилиндре имеет платины, обеспечивающие сосредоточенную оттяжку петель при вязании в нижнем цилиндре переплетения гладь из традиционных видов пряжи, например, хлопчатобумажной. Однако, при переработке металлических нитей, обладающих высокоупругими свойствами и, особенно при большой глубине кулирования (вплоть до 3 мм), такой оттяжки оказалось недостаточно, как при вязании переплетения кулирная гладь со всеми работающими иглами, так и при вязании с выключенными иглами.

При вязании на машине металлических нитей только с обеспечением оттяжки платинами в процессе петлеобразования, после сбрасывания петель, возникает явление накидывания петельных протяжек предыдущих петель на мыски платин, которые мешают прокладыванию нити, что приводит к незахвату и даже обрывам нити.

Для исключения этих явлений, помимо оттяжки платинами, была дополнительно использована оттяжка валами, обеспечивающая помимо сосредоточенной оттяжки, ещё и общую оттяжку.

Наличие оттяжных валов на машинах типа “Свит” ещё раз подтвердило правильность выбора типа оборудования для переработки металлических нитей.

Экспериментально было установлено, что при вязании микропроволоки диаметром 0,05мм в два конца на размеры петель сильное влияние оказывает ве-

личина оттяжки. Особенно это сказывается при вязании глади с выставленными иглами.

Было замечено, что с увеличением усилия оттяжки происходит уменьшение ширины вырабатываемой трубки.

Устройство механизма оттяжки, выполненное в виде оттяжных валов с одной стороны увеличивает усилие оттяжки и позволяет выполнять регулирование этого усилия. Конструкция существующего механизма оттяжных валов представлена на рисунке 2.6 [1.8].

Изделие заправляется между валиками 1 и 2, усилие прижатия которых регулируется пружинами, за счёт винтов и гаек (на рисунке 2.6 не показаны). Ввёртыванием винтов давление увеличивается и сила оттяжки возрастает. Оба винта должны быть ввёрнуты одинаково, чтобы избежать перекоса рифлёных валиков и усилие оттяжки было равномерным вдоль всей поверхности валов.

Валики периодически поворачиваются навстречу друг другу, получая движение от неподвижного кольца 4 имеющего наклон по окружности, равный углу  $\alpha$ . Перемещающийся по кольцу ролик 3, то опускается за счёт пружины, то поднимается. Вместе с роликом поднимается и опускается рычаг 5, на конце которого располагается собачка 6. От собачки поворачивается храповик 7, находящийся на одной оси с валиком 1. При опускании рычага, собачка под действием пружины становится в исходное положение. Валики 1 и 2 связаны между собой через шестерни (на рисунке не показаны). Вся система валиков обегает по шестерне, а ролик 3 обегает по кольцу 4.

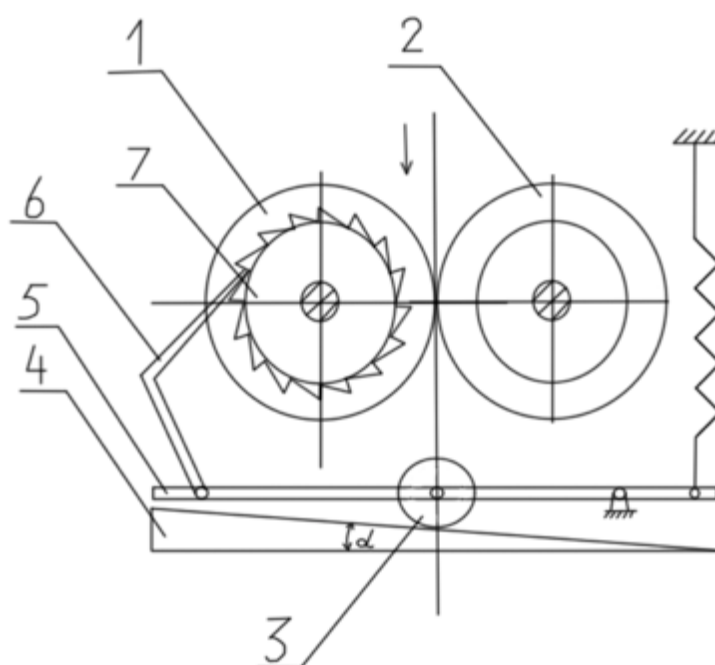


Рисунок 2.6 - Устройство механизма оттяжки

При работе данного механизма, длина оттягиваемого полотна, проходящего между валами за один оборот машины, зависит от угла наклона кольца 4, который всегда постоянен на машинах “Свит”, а усилие поджатия валов 1 и 2 может регулироваться винтами. Для изменения усилия оттяжки и длины оттягиваемого материала при выработке трубчатых полотен из традиционных нитей достаточно выполнить регулировку винтами и закрепить.

При переработке металлических нитей с разным раппортом кладки, даже при одинаковой глубине кулирования для деформации петель при оттяжке, обеспечивающей перетяжку протяжек в остовы новых образующихся петель и создания необходимого усилия оттяжки для формирования определенной ширины полотна и его структуры, регулирование усилия оттяжки винтами оказалось недостаточным. Для увеличения усилия оттяжки был разработан дополнительный кулачок 1 (рисунок 2.7, а) высотой 5мм, позволивший увеличить угол поворота собачки и оттяжных валов 1 и 2 при каждом обороте цилиндра машины.

Дополнительный кулачок 1 (рисунок 2.7 а) устанавливается на кольце 4 (рисунок 2.6) в зоне, где нет подъема кольца, величина проталкивания будет зависеть от высоты дополнительного кулачка. Чем больше высота, тем на больший дополнительный угол повернется вал оттяжки. Таким образом, за один оборот цилин-

дра храповое колесо будет иметь суммарный угол поворота за счёт дополнительного кулачка и за счёт наклона самого кольца.

Высота подъёма ролика за счёт наклонного кольца составляет 7мм, а за счёт дополнительного кулачка ещё на 5мм. Для более плавного вращения оттяжных валов за один оборот игольного цилиндра было предложено установить на наклонном кольце второй дополнительный кулачок (рисунок 2.7, б), но меньшей высоты. В этом случае толкание храпового колеса стало выполняться в три этапа за один оборот цилиндра, а вращение валов стало более равномерным. Таким образом, величина усилия оттяжки была увеличена за счёт установки двух дополнительных кулачков 1 (рисунок 2.7, а) и 2 (рисунок 2.7, б) на наклонное кольцо. Суммарная величина проталкивания за счёт наклонного кольца и двух кулачков стала равной 16 мм при высоте второго дополнительного кулачка, равной 4 мм.

Установка второго кулачка 2 высотой 4мм повысила равномерность вращения оттяжных валов, а также увеличила усилие оттяжки трикотажного полотна из металлической проволоки, способствовала формированию структуры полотна и получению заданных ширин полотна.

На рисунке 2.7 а, б приведены фотографии механизма оттяжки, на которых показаны две установленные дополнительные накладки 1,2 на кольцо 3.



а

Рисунок 2.7, а - Механизм оттяжки с дополнительной накладкой



б

Рисунок 2.7, б - Механизм оттяжки со второй дополнительной накладкой

Перерабатывая металлические нити, необходимо учитывать условия взаимодействия металлического трубчатого трикотажа с металлическими рифлёными оттяжными валиками. В зоне взаимодействия полотна с металлическими валиками под действием большого усилия оттяжки происходит пластическая деформация металлической нити и даже возможно её разрушение. Для устранения этих явлений в процессе работы оттяжные валы обтягивались текстильным материалом - тканью (драп), толщиной 1,5мм и основовязаным плюшевым полотном из х/б пряжи, толщиной 3мм. Мягкое воздействие оттяжных валов через текстильный материал не позволяло повреждать металлические нити при достижении необходимого усилия оттяжки для выработки материала. Однако, недостатком текстильных покрытий явилась недолговечность их работы - достаточно быстрый износ. В процессе износа текстильной оболочки происходило изменение усилия оттяжки трикотажа, что приводило к изменению ширины полотна. Как показала практика ( табл. 2.6), покрытия текстильной оболочкой рифлёных валиков хватает на выработку примерно 500-600 пог. м полотна, то есть приблизительно на 3-4 смены работы машины. Покрытия рифлёных валов плюшевым полотном хватало

на 6-8 смен, то есть на выработку 1000-1200 м трикотажного трубчатого полотна из металлических нитей.

С целью увеличения долговечности покрытия при создании необходимого усилия оттяжки, текстильные покрытия рифлёных валов были заменены на резиновые. Жёсткие резиновые покрытия марки 9024 позволили получать бесперебойную работу оттяжного механизма в течение более 100 смен или при выработке 15000 м трикотажного полотна. Для оценки влияния усилия оттяжки на параметры трикотажа было выполнено торрирование усилия для получения полотен заданных ширин 40, 60 мм.

Таблица 2.6 – Износ покрытий оттяжных валов

Покрытие оттяжных валов	Работа без истирания, смен	Количество наработанного полотна, пог. м
Драп, п/ш	3-4	500-600
Трикотажное плюшевое полотно, х/б	6-8	1000-1200
Резина марки 9024	100 и более	15000

## 2.5 Определение величины усилия оттяжки для обеспечения заданной ширины полотна

Эксперимент по определению величины усилия оттяжки, необходимой для получения трикотажного полотна заданной ширины, выполнялся при снятом механизме оттяжных валов. Нитеподача выполнялась с помощью разработанного механизма, имеющего подвижный бегунок-глазок ( рисунок 2.5).

Оттяжка полотна осуществлялась посредством подвешивания грузов определённых масс : 210г, 2\*350г, 890г.

Эксперимент проводился на образце с раппортом кладки через две неработающие иглы ( l i l i l i i ), при глубине кулирования, равной 2 мм. Сначала измере-

ния ширины полотна проводились на полотне, находящемся в натянутом состоянии. К наработанному образцу, выходящему из машины, прикладывалось последовательно усилие оттяжки 3,5 Н, 7 Н, 11 Н, 14,5 Н. Как показали эксперименты, при изменении нагрузки, ширина полотна в натянутом состоянии изменялась от 30 мм до 22 мм ( таблица 2.7). Затем, после снятия образцов, они отлёживались в течение часа и вновь замерялась ширина полотна. В результате, после отлёжки ширина полотна стабилизировалась до 40мм только на образце №4.

Таким образом, было установлено, что в процессе работы для получения образцов шириной 40мм при работе каждой третьей иглы, усилие оттяжки оттяжными валами должно быть равным 14,5 Н и, соответственно, усилие оттяжки на одну петлю при работающих 40 иглах должно составлять 0,3625 Н (таблица 2.7), что обеспечило получение необходимой ширины полотна.

Таблица 2.7 - Изменение усилия оттяжки

№ варианта	Усилие оттяжки, Н	Усилие оттяжки на одну петлю, Н	Ширина полотна в натянутом состоянии, мм	Ширина полотна после отлёжки, мм
1	3,5	0,0875	30	59
2	7	0,175	27	52
3	11	0,275	25	49
4	14,5	0,3625	22	40

На основании проведённых экспериментов построен график изменения ширины полотна от усилия оттяжки (рисунок 2.8).



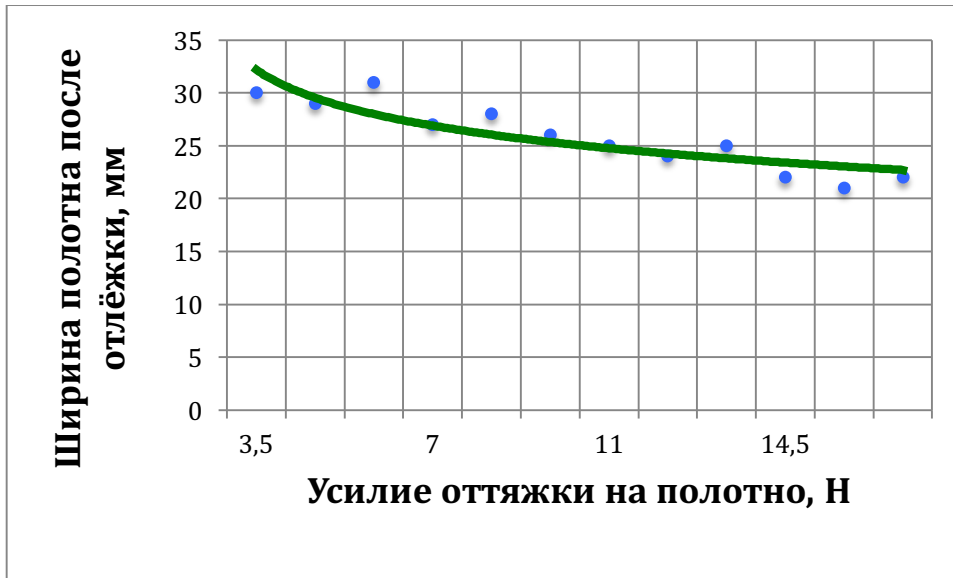


Рисунок 2.8 - График зависимости ширины полотна в натянутом состоянии от силы оттяжки

На основании полученного графика видим, что для получения трубчатого полотна шириной 40мм, величина усилия оттяжки должна быть равной 14,5 Н, а для получения трубчатого полотна шириной 60 мм – 3,5 Н при одинаковом раппорте кладки нити через две неработающие иглы и одинаковой глубине кулирования, равной 2 мм.

Таким образом, при одинаковом раппорте кладки, известном усилии оттяжки и глубине кулирования, можно получить трубчатые полотна двух заданных ширин 40 мм и 60 мм.

Однако, в соответствии с техническим заданием, ширина трубчатого полотна, кроме 40 мм и 60 мм, должна быть равной 13 мм и 100 мм, поэтому встала необходимость проверки возможности вязания трубчатого полотна из металлической нити при других раппортах кладки.

## 2.6 Экспериментальная проверка возможности вязания трубчатого полотна из металлической нити при разных раппортах кладки

Экспериментальная проверка возможности вязания трубчатого полотна из металлической нити при разных раппортах кладки выполнялась также на круглочулочном автомате 14 класса, с диаметром цилиндра  $2\frac{3}{4}$ " , имеющем 120 пазов в игольном цилиндре.

В процессе предварительного эксперимента было проверено шесть вариантов заправки машины при изменении: числа работающих игл в цилиндре, глубины кулирования и усилия оттяжки, а натяжение нити при сходе одного её витка с катушки при любом варианте заправки колебалось в пределах 0,05-0,1 Н.

Исходные данные предварительного эксперимента приведены в таблице 2.8.

Как показали предварительные эксперименты, вязание металлической нити диаметром 0,05мм в два конца на кругловязальной машине малого диаметра, равного  $2\frac{3}{4}$  дюйма, возможно при всех шести вариантах расстановки игл, что подтверждается фотографиями рисунка 2.9; 2.10; 2.11; 2.12; 2.13; 2.14, при установке нитевода на высоте  $Z_0 = 10$ мм и удалённости от точки начала кулирования  $Y_0 = 25$ мм.

Полученные образцы в соответствии с шестью вариантами трубчатых полотен представлены на фотографиях, рисунок 2.15; 2.16; 2.17; 2.18; 2.19; 2.20.

Параметры полученных образцов представлены в таблице 2.9.

Фотографии образцов структур трикотажа были выполнены с помощью электронного диагностического комплекса "Диаморф" с увеличением в 10 раз без растяжения полотна.

Таблица 2.8 - Исходные данные вязания трубчатого полотна из металлических нитей

№ варианта	Расстановка игл	Диаметр металлической нити	Натяжение нити	Глубина кулирования	Усилие оттяжки на одну петлю	Линейная скорость вращения цилиндра	Частота вращения цилиндра
		мм	Н	мм	Н	м/с	Мин <sup>-1</sup>
1	llllllllll	0,05*2	0,05-0,1	1	0,3625	0,36	80
2	llllllllll	0,05*2	0,05-0,1	1,5	0,3625	0,36	80
3	llllllllll	0,05*2	0,05-0,1	2	0,3625	0,36	80
4	llllllllll	0,05*2	0,05-0,1	2,5	0,3625	0,36	80
5	llllllllll	0,05*2	0,05-0,1	3	0,3625	0,36	80
6	llllllllll	0,05*2	0,05-0,1	3	0,3625	0,36	80

Таблица 2.9 - Параметры экспериментальных образцов трубчатого полотна из металлических нитей

Вариант	Рапорт кладки	Длина нити в петле ( $l_1$ ), мм	Расчёт- ная плот- ность по горизон- тали ( $P_g$ ), пе- тель	Петель- ный шаг ( $A$ ), мм	Высота петли ( $B$ ), мм	Расчётная плотность по верти- кали ( $P_v$ ), петель	Ширина остова петли ( $Ш$ ), мм	Радиус окружно- сти про- тяжки ( $R$ ), мм	Масса од- ного по- гонного метра по- логна ( $m$ ), г	Ширина трубчатого полотна ( $Ш_t$ ), мм
IIIIIIII	1	5,3	86,2	1,16	1,6	31,3	0,7	0,6	13,4	69,6
IIIIIIII	2	6,2	73,5	1,36	1,8	55,6	0,75	0,75	6,99	41
IIIIIIII	3	7,6	50	2,0	2,1	47,6	0,75	0,95	5,09	40
IIIIIIII	4	9,2	45,5	2,2	2,5	40	0,75	1,25	3,89	33
IIIIIIII	5	10,6	38,5	2,6	3,1	32,2	0,7	1,5	3,69	31,4
IIIIIIII	6	15,3	23,8	4,2	2,85	35,1	0,8	2,5	3,59	42

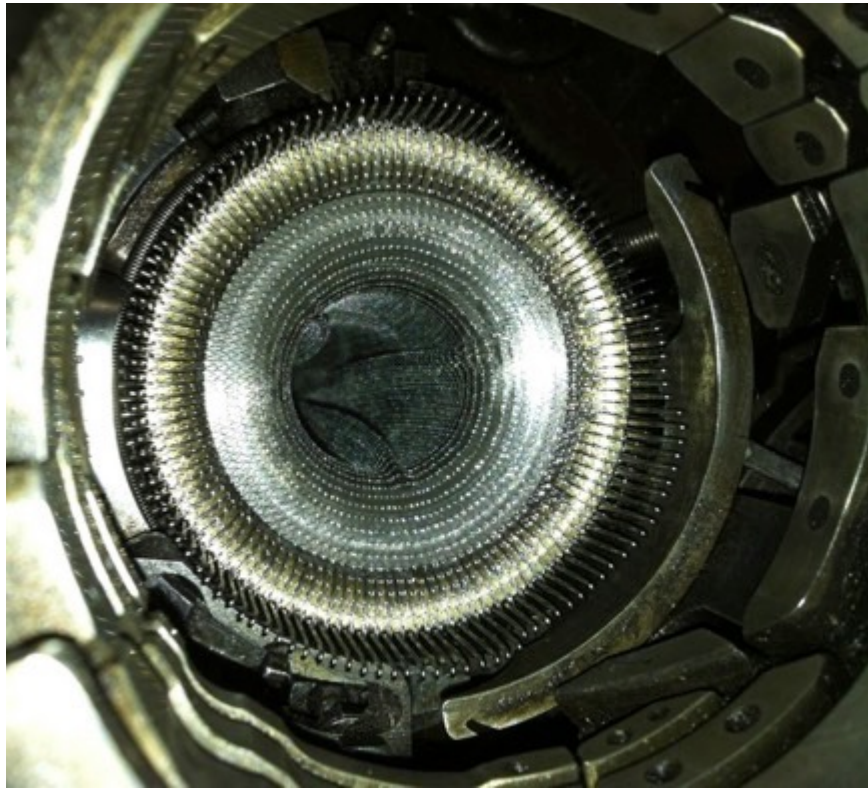


Рисунок 2.9 - Трубчатое металлическое полотно, вырабатываемое при работе всех игл в цилиндре

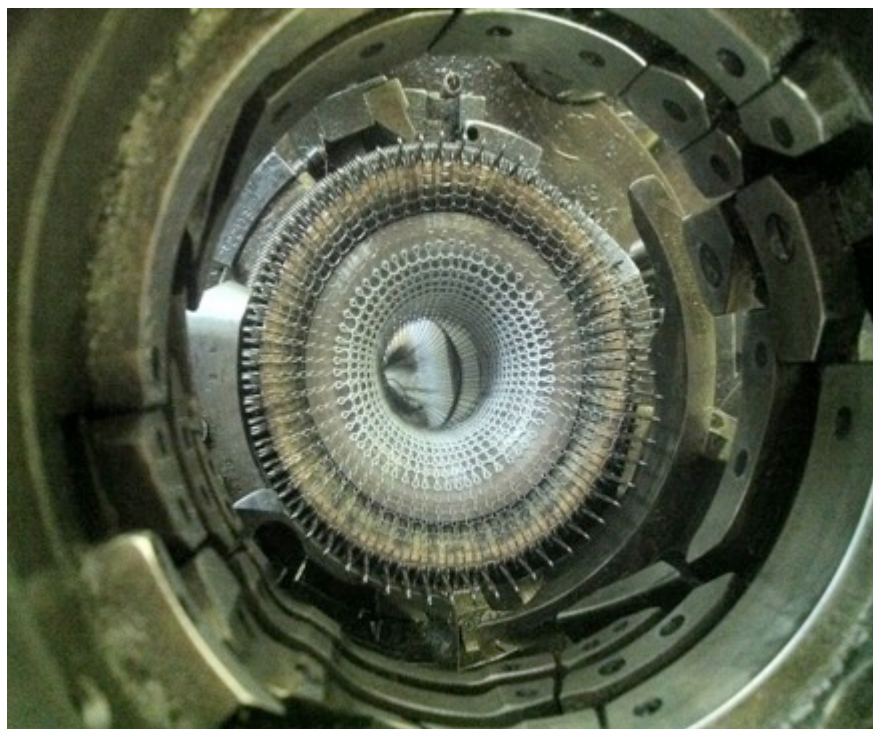


Рисунок 2.10 - Трубчатое металлическое полотно, вырабатываемое при работе в цилиндре через одну иглу

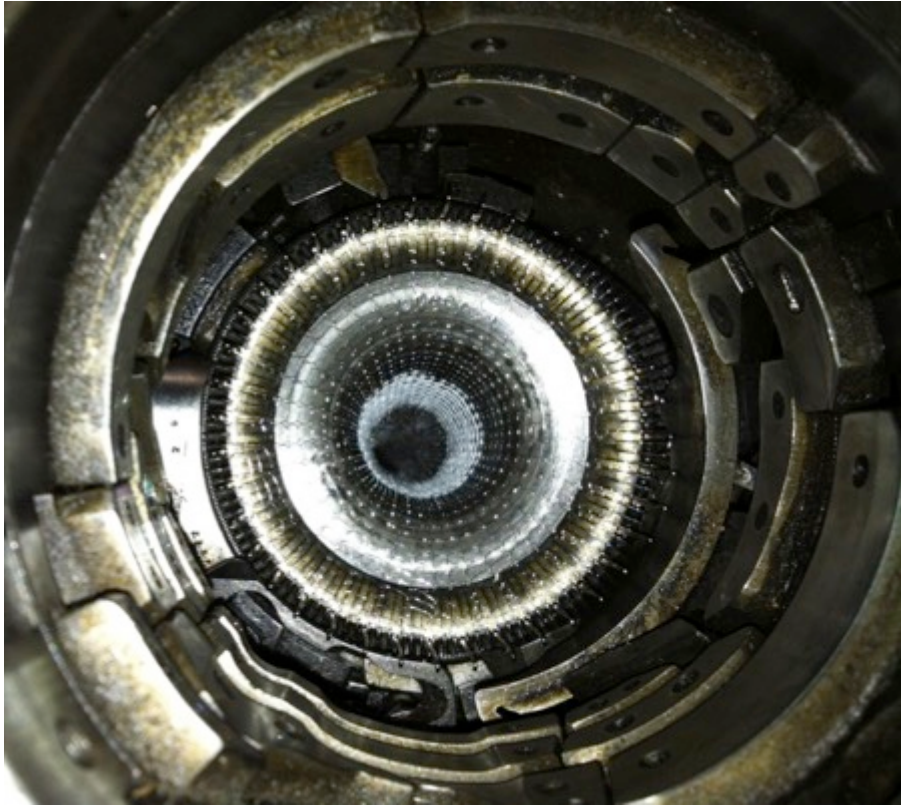


Рисунок 2.11 - Трубчатое металлическое полотно, вырабатываемое при работе в цилиндре каждой третьей иглы

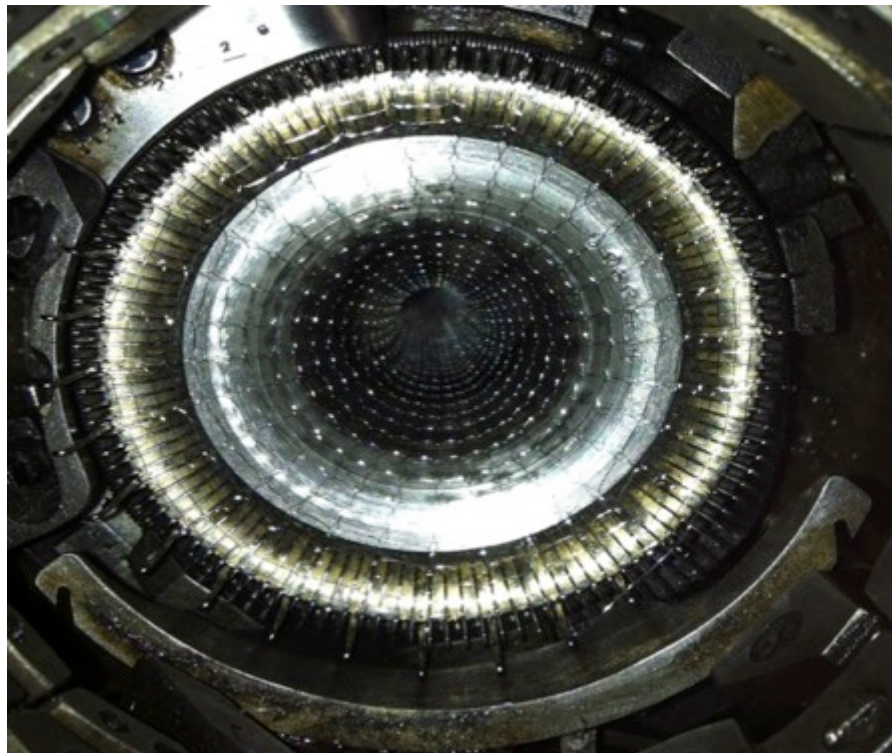


Рисунок 2.12 - Трубчатое металлическое полотно, вырабатываемое при работе в цилиндре каждой четвертой иглы

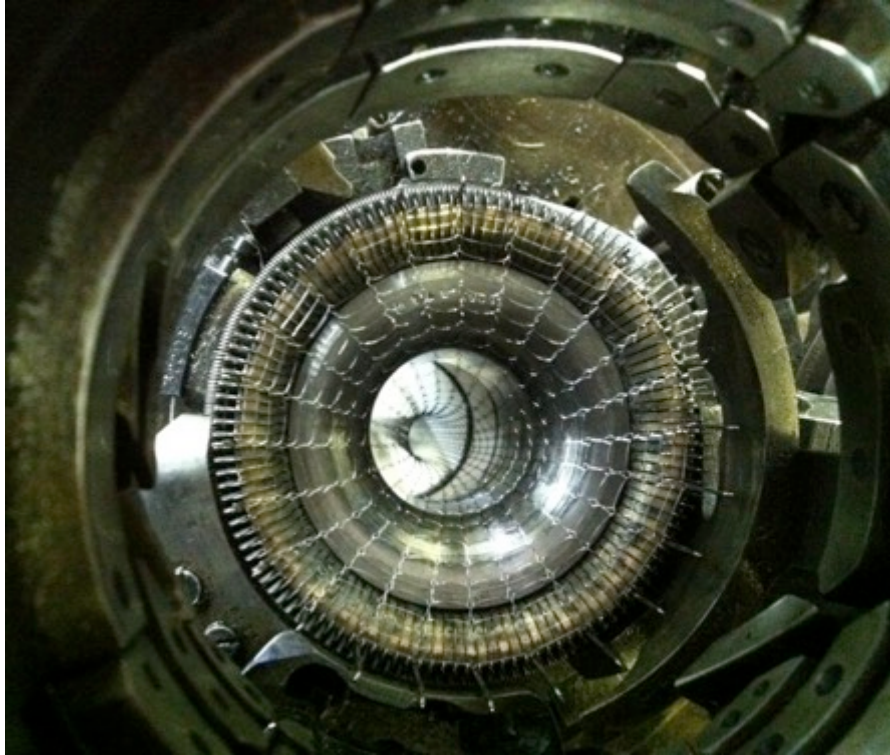


Рисунок 2.13 - Трубчатое металлическое полотно, вырабатываемое при работе в цилиндре каждой пятой иглы

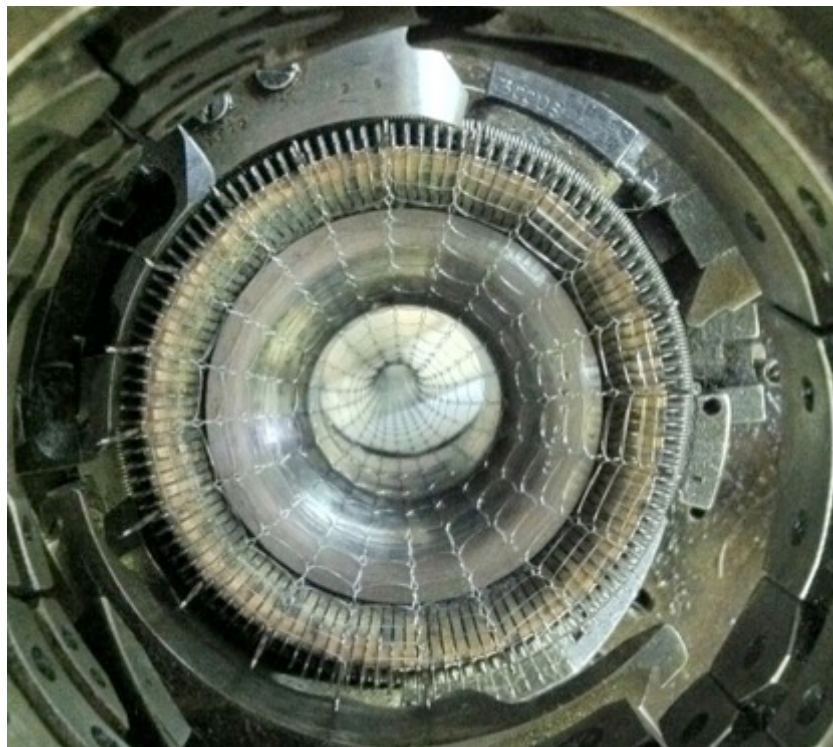


Рисунок 2.14 - Трубчатое металлическое полотно, вырабатываемое при работе в цилиндре каждой шестой иглы

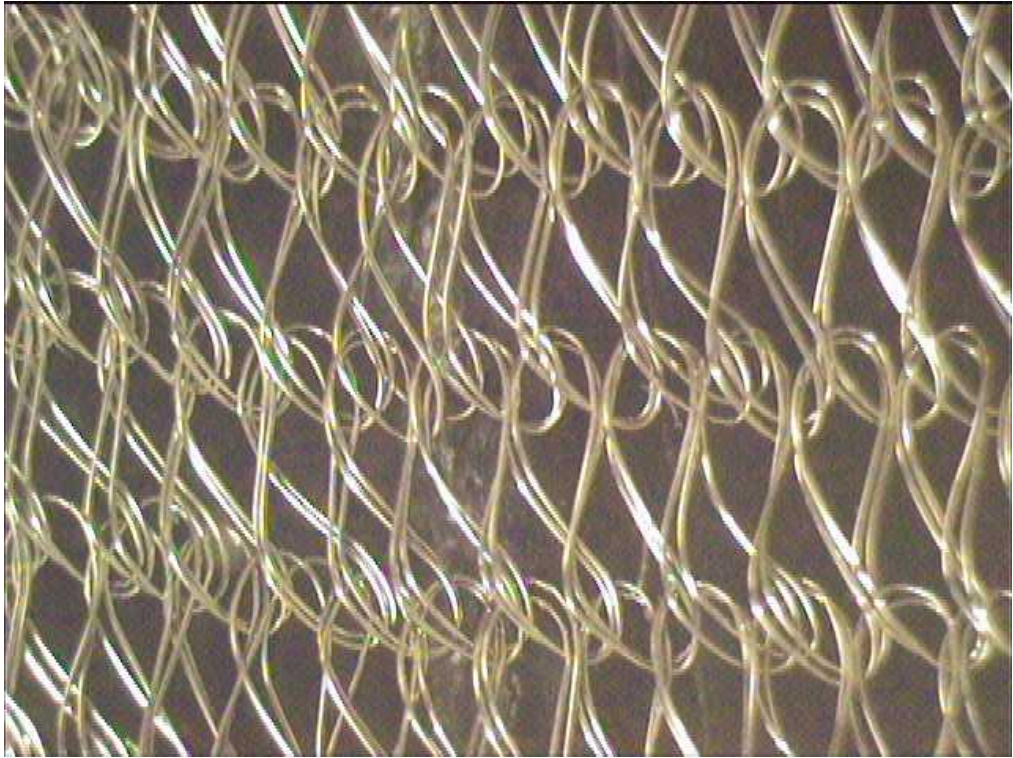


Рисунок 2.15 - Структура трубчатого полотна, выработанного при работе всех игл в цилиндре

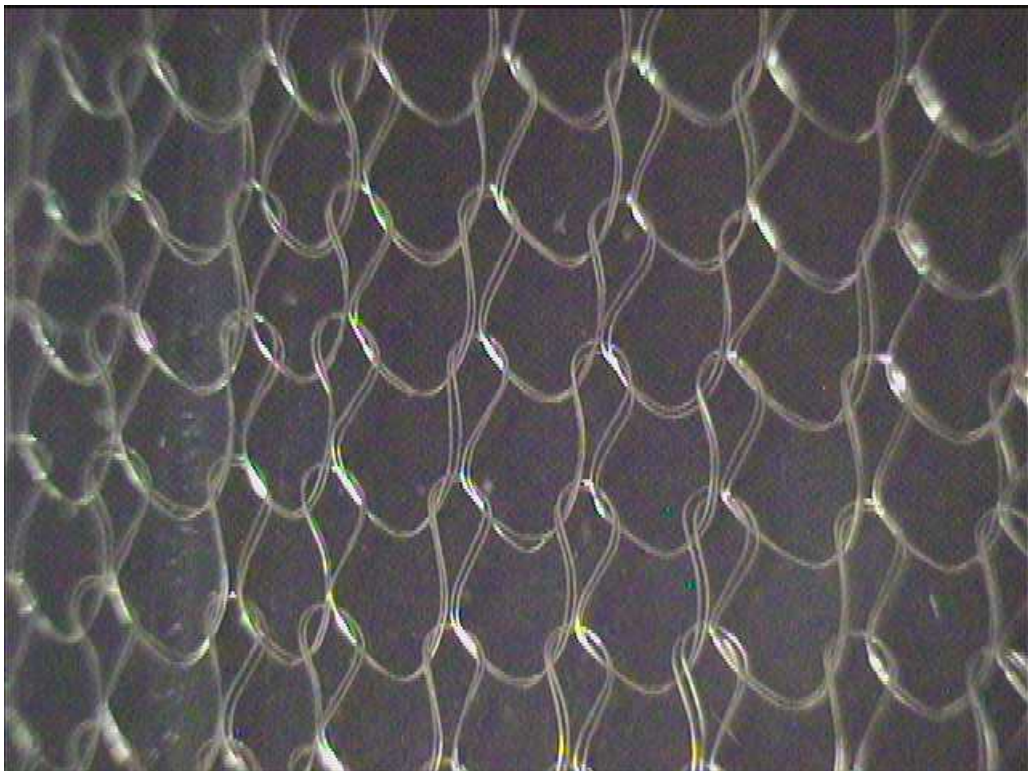


Рисунок 2.16 - Структура трубчатого полотна, выработанного при работе через одну иглу



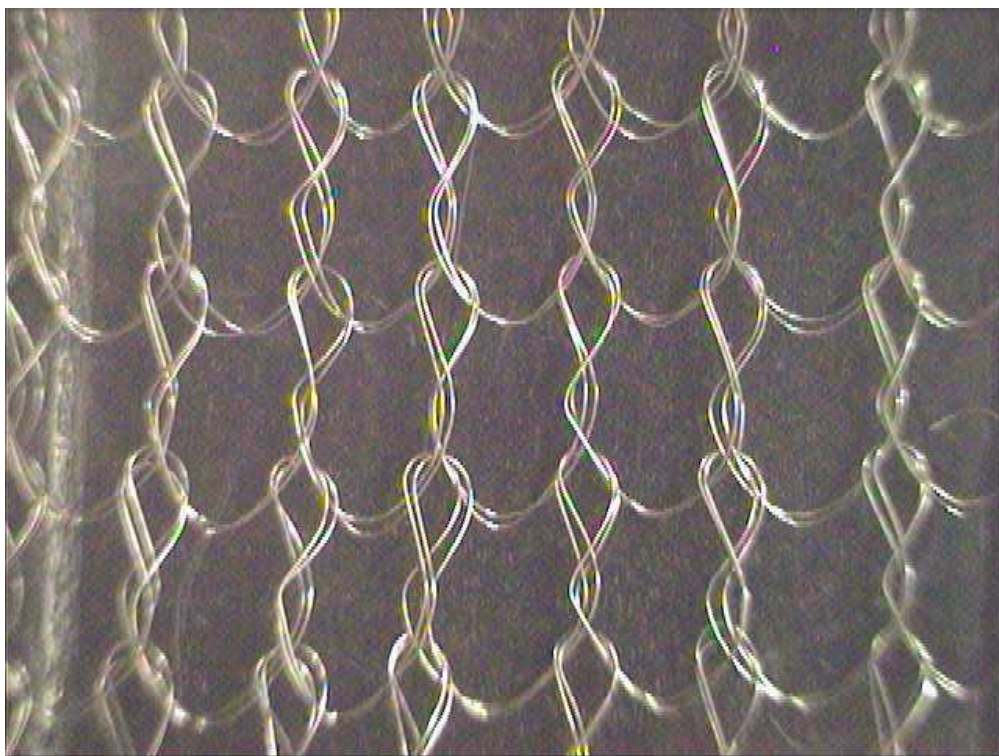


Рисунок 2.17 - Структура трубчатого полотна, выработанного при работе через две  
ИГЛЫ

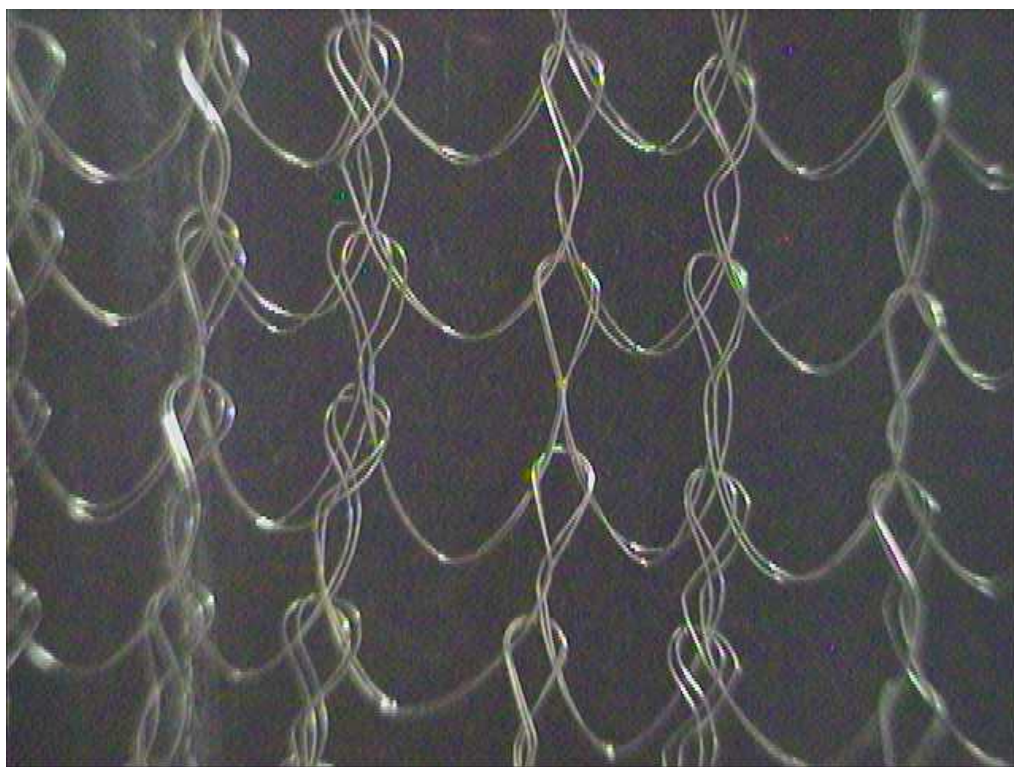


Рисунок 2.18 - Структура трубчатого полотна, выработанного при работе через три  
ИГЛЫ

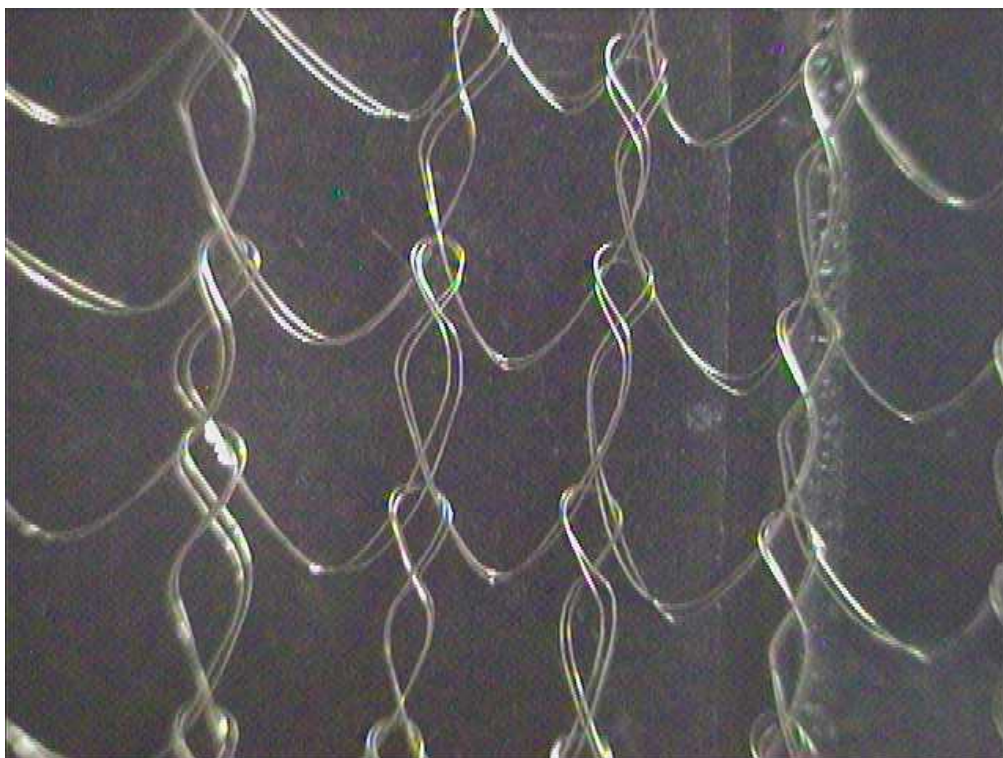


Рисунок 2.19 - Структура трубчатого полотна, выработанного при работе через четыре иглы



Рисунок 2.20 - Структура трубчатого полотна, выработанного при работе через пять игл

Как показал анализ образцов (рисунки 2.15 – 2.20), имеющих ширину трубчатых полотен от 31 мм до 69,6 мм, все они могут быть надеты на стержни или трубы диаметром, равным 40мм при соответственно разной деформации структуры полотен.

Однако, структура полотна по варианту 1 ( рисунок 2.15) очень плотная, кроме того надетое на трубу или стержень полотно будет больше охватываемой трубы, что недопустимо.

Структура полотна, выработанного по варианту 2 (рисунок 2.16), то есть при работе игл через одну имеет достаточно плотную структуру с ограниченной площадью ячеек для заливки клея.

Образцы, выработанные по вариантам 5 и 6 ( рисунки 2.19 и 2.20) наоборот имеют рыхлые структуры с неравномерно деформированными петлями, что может влиять на неравномерность заливки и, следовательно, неравномерность соединения склеиваемых деталей.

Сравнение образцов 3 (рисунок 2.17) и 4 ( рисунок 2.18) показывает, что в третьем образце форма петель более однородна и, следовательно, при надевании на стержни или трубки, ячейки для заливки клея будут более одинаковыми по форме, чем при надевании образца 4 ( рисунок 2.18). Кроме того, образец 3 имеет необходимую растяжимость при надевании на стержень, равную требуемой 1,57. Равномерность размера ячеек на образце 3 позволит получать качественное соединение деталей.

Следует также отметить, что растяжение трубчатого полотна, выработанного по образцу 3 при надевании на стержень или трубу диаметром 40мм в 1,2 раза меньше, чем при надевании трубчатого полотна, выработанного по образцу 4, что позволяет меньше деформировать структуру надеваемого полотна и сохранить его равномерность.

Сказанное позволило принять за базовый образец для надевания на стержень или трубки диаметром 40мм структуру трикотажа трубчатого полотна, выработанного при работе в цилиндре каждой третьей иглы, в соответствии с режимами вязания образца 3, указанными в таблице 2.10 (с.72).

Однако, в соответствии с требованиями предприятия, ширина трубчатого полотна должна соответствовать следующему ряду- 13, 40, 60, 100 мм.

Для отработки оптимальных параметров технологии при выработке заданного ряда трубок необходимо было провести статистический анализ влияния параметров вязания на ширину получаемого полотна и затем определить оптимальные режимы вязания для каждого из заданных ширин трубчатого полотна.

При производстве трубчатых полотен важно иметь бездефектные полотна с чёткой ячеистой структурой, обеспечивающей достаточную площадь заливки клеем между металлической сетчатой структурой трикотажного полотна.

Трикотажное полотно вырабатывается одновременно с двух катушек, имеющих цилиндрическую намотку. При сматывании с катушки металлической нити за каждый полный оборот нити вокруг катушки образуется одно кручение, которое потенциально может быть причиной появления дефекта на полотне.

По мере срабатывания нити с катушки, её диаметр уменьшается, а число кручений должно увеличиваться. Определить изменение числа кручений по мере срабатывания нити с катушки и число кручений, которое приходится на один петельный ряд и оценить их влияние на дефектность полотна, является важной задачей.

**ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2**

1. Разработана технология трубчатого трикотажного полотна малых диаметров из металлических нитей с высокими упругими свойствами, обеспечивающая получение полотен заданных ширин 13мм, 40мм, 60мм при использовании машины одного диаметра и класса и ширины 100 мм на машине большего диаметра, но того же класса.
2. Определены оптимальные параметры положения нитеводителя, обеспечивающие надёжное прокладывание нити при различном раппорте кладки.
3. Установлены особенности операции кулирования при изменении раппорта кладки, влияющие на перетяжку нити в процессе петлеобразования и форму петли.
4. Разработан механизм подачи металлической нити пассивного типа для использования катушек цилиндрической формы, обеспечивающий колебание натяжения при подаче нити в допустимых пределах.
5. Усовершенствован механизм оттяжки для переработки металлической нити, обеспечивающий необходимое усилие оттяжки при выработке трубчатых полотен с разным раппортом кладки.
6. Для устранения проскальзывания трубчатых полотен из металлических нитей, использовано специальное покрытие рифлёных валиков резиной марки 9024, позволяющее снизить истирание поверхности покрытия оттяжных валиков и увеличить время работы без истирания до 100 смен.

### 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЯЗАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛОТРИКОТАЖНОГО ТРУБЧАТОГО ПОЛОТНА

Разработка технологии вязания металлотрикотажного трубчатого полотна предполагает под собой исследование процесса вязания и определение параметров полотна. Для этого необходимо: определить число кручений нити, возможное в одном петельном ряду при сходе нити с катушки; произвести расчёт параметров металлического трикотажа при помощи нелинейной теории деформирования упругой нити; исследовать изменение числа кручений по мере срабатывания катушки; провести экспериментальную оценку дефектности трубчатого полотна из металлической нити; исследовать влияние крутки и условий подачи металлической нити на структуру и разрывные характеристики полотна.

#### 3.1 Определение числа кручений нити, возможное в одном петельном ряду при сходе нити с катушки

При сходе каждого витка металлической нити с катушки при пассивной подаче нити с помощью глазка- бегунка на нити образуется один виток.

Определив длину одного витка нити  $O_B$  с катушки и расход нити на один петельный ряд  $L_H$ , можно определить число кручений  $Ч_K$  нити, которое приходится на один петельный ряд

$$Ч_K = \frac{L_H}{O_B} \quad (3.1)$$

В свою очередь, длина нити  $L_H$ , расходуемая на образование одного петельного ряда равна:

$$L_H = l_\phi I_p, \quad (3.2)$$

где  $l_\phi$  – фактическая длина петли, мм;

$I_p$  – число работающих игл в цилиндре.

Длина одного витка нити  $O_B$  равна

$$O_B = \pi(D_H + d_H), \quad (3.3)$$

где  $D_H$  – диаметр катушки перед последним намотанным слоем нити, мм;

$d_H$  – диаметр нити.

Подставив формулы 3.1 и 3.2 в 3.3, получим значение числа кручений, которое приходится на один петельный ряд.

$$Ч_K = \frac{l_\Phi I_p}{\pi(D_H + d_H)} \quad (3.4)$$

Теперь, зная значение  $Ч_K$ , можно определить число кручений  $K_p$ , которое приходится на 1 м нити при сходе нити с верхнего слоя намотки.

$$K_p = \frac{1000Ч_K}{O_B} \quad (3.5)$$

Подставив в формулу 3.5 формулу 3.4, получим

$$K_p = \frac{1000l_\Phi I_p}{\pi^2(D_H + d_H)^2} \quad (3.6)$$

Рассчитаем значения  $Ч_K$  и  $K_p$  при  $I_p = 40$ ;  $D_H = 60$  мм;  $d_H = 0,05$  мм;  $l_\Phi$  – фактическую длину петли определить сложно из-за нетрадиционной формы петли. Сравним фактические замеры длины петли  $l_\Phi$ , выполненные с помощью диагностического комплекса “Диаморф” и электронного курвиметра, с расчётными значениями, выполненными по разным методикам на примере образца 3 (таблица 3.1 (с.81)). Замеры и обработка результатов производились по методике [1.19], выполняя расчёты средних значений и среднеквадратических отклонений.

Экспериментальные замеры длины петли, проведённые с помощью электронного диагностического комплекса “Диаморф” [6.15] и электронного курвиметра [6.16] показали, что значения длин петель равны 7,5 – 7,7 мм.

Анализ формы петель показал, что вследствие пластической деформации, платинная дуга отличается от обычно принятой формы окружности, напоминая скорее часть эллипса и значительно превышает игольную дугу петли, поэтому по геометрической модели петли А.С. Далидовича [1.9] расчёт длины петли

производить нецелесообразно. Представляет интерес произвести расчёт длины остова петли и платинной дуги, имеющих эллиптическую форму, а по известной длине петли рассчитать петельный шаг  $A$  и высоту петельного ряда  $B$ .

### **3.2 Расчёт параметров металлического трикотажа при помощи нелинейной теории деформирования упругой нити**

Вопользуемся известным свойством стальной проволоки малой толщины: способность пластически деформироваться при определенных нагрузках [1.10]. При расчете гибкой нити предполагается, что из внутренних сил в ней возникает лишь осевая сила – натяжение  $T$ , а жесткость нити при изгибе и кручении отсутствует. Однако реальные нити имеют ненулевую жесткость. Поэтому механика гибкой нити [2.14] не описывает ни качественно, ни количественно взаимодействие нити с рабочими органами текстильных машин, когда значительное влияние на форму и натяжение нити оказывает жесткость при изгибе и кручении. Подавляющее большинство опубликованных к настоящему времени работ по исследованию формы нити в петле или ткани, определению усилий, возникающих в нити в процессах вязания и ткачества, относится к случаю нерастяжимой гибкой нити. Применение механики упругой нити [1.11; 2.6; 2.7; 2.8] при изучении состояния нитей в условиях переработки на машинах текстильного производства является развитием теоретических основ технологии. Подобный подход является одним из этапов приближения расчетов нити к расчетам нити в ее реальном состоянии. Он имеет то преимущество перед распространенным до сих пор в текстильной технологии геометрическим моделям, которые не учитывают свойства нити и не дают объяснение зависимости размеров структурных элементов ткани, трикотажа и других текстильных материалов от механических характеристик нити. Вычисления, которые обнаруживают лучшее приближение к реальному состоянию нити, назовем их физическими моделями по сравнению с геометрическими.

Если теория исследует нити, для которых характерна линейная зависимость между напряжениями и деформациями, т.е. которые следуют закону Гука [1.21], а



малые перемещения точек тела пропорциональны действующим нагрузкам, то она называется линейной.

Если исследуются нити из материала, не подчиняющегося закону Гука (физическая нелинейность), или перемещения точек не пропорциональны действующим нагрузкам (геометрическая нелинейность), или имеется и то и другое, то теория называется нелинейной.

В математическом плане важное понятие линейности означает, что справедлив принцип суперпозиции [1.12], т.е. любая линейная комбинация решений (например, их сумма) также является решением задачи. Пользуясь принципом суперпозиции, нетрудно найти решение для какого-либо частного случая, построить решение в более общей ситуации. Поэтому о качественных свойствах общего можно судить по свойствам частного – различие между двумя решениями носит лишь количественный характер. Другими словами, в случае линейных моделей отклик объекта на изменение каких-то условий пропорционален величине этого изменения.

Для нелинейных явлений, математические модели которых не подчиняются принципу суперпозиции, знание о поведении части объекта еще не гарантирует знания о поведении всего объекта, а его отклик на изменение условий может качественно зависеть от величины этого изменения. Общее решение для нелинейных моделей можно найти лишь в редких случаях, отдельные же частные решения нелинейных уравнений могут не отражать характер поведения объекта в более общей ситуации.

При исследовании больших перемещений при упругом изгибе нити оказываются несправедливыми основные предположения сопротивления материалов о действии сил и моментов при изгибе. При этом ввиду малости перемещения при растяжении по сравнению с перемещениями при изгибе длину дуги упругой линии нити будем считать неизменной. В дальнейшем дается *геометрически нелинейная*, но *физически линейная* теория деформирования упругой нити. Для задач, физически и геометрически линейных, справедливы принцип независимости действия сил (принцип суперпозиции) и принцип неизменности начальных размеров,

т.е. перемещения, возникающие при деформировании, столь малы, что форма и размеры нити остаются почти неизменными. Если же рассматриваются геометрически нелинейные задачи, то оба эти принципа уже недействительны, а построение теории и решение задач существенно усложняется.

Известно [2.9], что в обычной кулирной глади игольные и платинные дуги принимают форму дуги окружности, так как на этих участках упругой нити возникают только изгибающие моменты, а ось нити при чистом изгибе принимает форму дуги окружности. Иначе обстоит дело в нашем случае, когда вследствие пластического деформирования платинная дуга уже значительно отличается от окружности, напоминая, скорее, часть эллипса.

Теперь, когда круговая форма не восстановилась, полученная задача требует принципиально нового подхода по сравнению с тем, как это происходит для обычной петли [1.13; 2.10]. В статье G.A.V. Leaf [2.5] рассматривается форма, которую принимает упругая гибкая нить, изгибаемая силами и моментами на концах (рисунок 3.1).

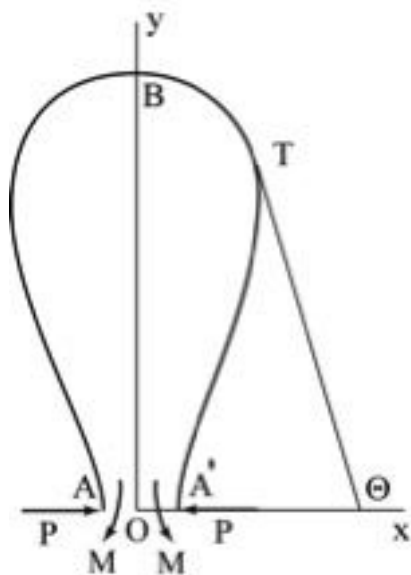


Рисунок 3.1 - Форма, которую принимает упругая гибкая нить, изгибаемая силами и моментами на концах

Прямолинейный стержень изгибается двумя равными, противоположно направленными силами  $P$  и моментами  $M$ , пока касательные к упругой линии в точках  $A$  и  $A'$  не станут параллельными и в то же время перпендикулярными ли-

нии действия  $P$ . Вследствие условий вязания и упругих свойств стальных нитей ветви остова петли соприкасаются между собой и расстояние между осевыми линиями петли в точках  $A$  и  $A'$  равно диаметру проволоки  $d_n$ .

Введем декартовы оси координат  $Oxy$  с началом  $O$  в середине отрезка  $AA'$ , ось  $Ox$  направим по линии действия силы  $P$ . Возьмем на упругой линии точку  $T(x, y)$  с дуговой координатой  $AT = s$ , и обозначим  $\vartheta$  угол между положительным направлением оси  $Ox$  и касательной к кривой в точке  $T$ . Пусть длина упругой линии  $ABA' = L$  и  $AA' = cL$ .

Расчетные уравнения упругой нити включают введенное Клебшем соотношение, основанное на пропорциональности кривизны нити  $\kappa$  изгибающему моменту  $M$  внутренних усилий:  $M = H\kappa$ , где  $H$  – жесткость нити при изгибе. Точное выражение кривизны помимо написанного выражения можно написать в виде  $\kappa = \frac{d\vartheta}{ds}$ . Тогда уравнение равновесия упругой линии при больших перемещениях записывается в форме:

$$\frac{d\vartheta}{ds} = \frac{M}{H}. \quad (3.7)$$

Внутренний изгибающий момент в сечении  $T(x, y)$  равен:

$$H \frac{d\vartheta}{ds} = Py - M.$$

Обозначим  $\beta^2 = \frac{H}{P}$ ,  $m = \frac{M}{P}$  и запишем точное уравнение равновесия упругой линии:

$$\beta^2 \frac{d\vartheta}{ds} = y - m. \quad (3.8)$$

Так как  $\frac{dy}{ds} = \sin \vartheta$ , то уравнение (3.8) преобразуется к виду

$$\beta^2 \sin \vartheta d\vartheta = y dy - m dy.$$

После интегрирования с учетом  $y = 0$ ,  $\vartheta = \frac{\pi}{2}$  в точке  $A$  получим

$$y^2 - 2my = -2\beta^2 \cos \vartheta.$$

Дальнейшее решение будет проводиться в эллиптических интегралах Лежандра [1.20]. Чтобы перейти к ним, прибавим к обеим частям последнего уравнения  $m^2$  и получим

$$(y - m)^2 = m^2 - 2\beta^2 \cos \vartheta = m^2 + 2\beta^2 - 4\beta^2 \cos^2 \frac{\vartheta}{2}.$$

Введем новые величины  $\alpha$ ,  $\varphi$  и  $k$ . Обозначим  $\cos \alpha = \frac{m^2}{2\beta^2}$ . Новая переменная  $\varphi$  определяется выражением  $\cos \frac{\vartheta}{2} = k \sin \varphi$ , где  $k = \cos \frac{\alpha}{2}$ . Тогда

$$y - m = \pm 2\beta k \cos \varphi. \quad (3.9)$$

В точке  $A$  примем  $\varphi = \varphi_0$ , когда  $\vartheta = \frac{\pi}{2}$ . Здесь же  $y = 0$ , и из (3.9) следует

$$-m = \pm 2\beta k \cos \varphi_0. \quad (3.10)$$

Тогда

$$y = \pm 2\beta k (\cos \varphi - \cos \varphi_0). \quad (3.11)$$

Дифференциал дуговой координаты

$$ds = \frac{\beta}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} d\varphi \quad (3.12)$$

представляет собой дифференциальное уравнение равновесия упругой линии через новую переменную  $\varphi(s)$ . Произведем интегрирование вдоль упругой линии от начальной точки ( $s = 0$ ,  $\varphi = \varphi_0$ ) до произвольной текущей точки ( $s$ ,  $\varphi$ ):

$$s = \beta \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}}.$$

В правой части стоит эллиптический интеграл Лежандра первого рода, который обозначается  $F(\varphi) = \int_0^{\varphi} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}}$  с модулем  $k$  и амплитудой  $\varphi$ . Теперь

выражение для  $s$  может быть записано в форме

$$s = \beta [F(\varphi) - F(\varphi_0)]. \quad (3.13)$$

Если учесть, что в точке  $B$   $s = \frac{L}{2}$ ,  $\vartheta = \pi$ ,  $\varphi = 0$ , то

$$\frac{L}{2} = [-F(\varphi_0)]. \quad (3.14)$$

Обе части этого равенства должны быть положительны, поэтому удерживаем верхний знак и из (3.14) получаем

$$\beta = \frac{L}{2F(\varphi)}. \quad (3.15)$$

Для  $\varphi_0$  воспользуемся выражением (3.10):

$$\cos \varphi_0 = -\frac{m}{2\beta k}. \quad (3.16)$$

Перейдем теперь к определению декартовых координат. Имеем очевидное соотношение

$$\frac{dx}{dy} = \operatorname{ctg} \vartheta.$$

Дифференцируем по  $d\varphi$ :

$$\frac{dx}{d\varphi} = \operatorname{ctg} \vartheta, \quad \frac{dy}{d\varphi} = \beta \left( 2\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} - \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} \right).$$

Интегрируем:

$$x = \beta [2E(\varphi) - F(\varphi)], \quad (3.17)$$

где  $E(\varphi)$  – эллиптический интеграл второго рода.

В точке  $A$  следующие граничные условия:  $\varphi = \varphi_0$ ,  $x = \frac{cL}{2}$ . Тогда из (3.17) следует

$$\frac{cL}{2} = \beta [2E(\varphi_0) - F(\varphi_0)].$$

С учетом (3.15) получим

$$c = \frac{2E(\varphi_0) - F(\varphi_0)}{F(\varphi_0)}. \quad (3.18)$$

Вычислим теперь максимальное значение  $x_{\max}$ . Условием максимума

является равенство нулю производной  $\frac{dx}{d\varphi}$ :

$$2\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi_{\max}} - \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi_{\max}}} = 0.$$

Это дает

$$\sin \varphi_{\max} = \frac{1}{k\sqrt{2}}, \quad \cos \varphi_{\max} = \frac{\mu}{2\beta k}. \quad (3.19)$$

Максимальная ширина петли  $w$  определяется из выражения (3.17) при амплитуде  $\varphi = \varphi_{\max}$ :

$$w = 2\beta [2E(\varphi_{\max}) - F(\varphi_{\max})]. \quad (3.20)$$

Максимальная высота петли  $h = OB$  вычисляется из (3.11) при  $\varphi = 0$ , что дает

$$h = 2\beta k(1 - \cos \varphi_0). \quad (3.21)$$

Напишем отношение максимальной высоты к максимальной ширине:

$$\frac{y_{\max}}{x_{\max}} = \frac{h}{w} = \frac{k(1 - \cos \varphi_0)}{2E(\varphi_{\max}) - F(\varphi_{\max})}. \quad (3.22)$$

Рассматривая соотношение (3.22), видим, что отношение  $\frac{y_{\max}}{x_{\max}}$  не зависит от жесткости нити, а определяется модулем  $k$  и амплитудой  $\varphi$  эллиптических интегралов.

Для проверки теории G.A.V. Leaf [2.5] были использованы различные материалы с существенно отличающимися упругими свойствами: стальная пружинная проволока, бронза, ацетатная пленка, писчая бумага. Значения  $\frac{h}{w}$  полу-

ны для различных  $c$ . Аппроксимация  $\frac{h}{w}(c)$  приводит к линейной функции

$$\frac{h}{w} = -2,72c + 2,08. \quad (3.23)$$

Теперь покажем, как вычислить игольный шаг и, следовательно, при известном числе игл определить ширину трубки. Число игл в цилиндре чулочного автомата 120. В работе, как указано ранее, участвует каждая третья игла, т.е. в петельном ряду имеем 40 петель. Если длина протяжки равна трём игольным шагам, то  $l_{np} = 1,814 * 3 = 5,442 \approx 5,4$  мм. Длина нити в петле – 7,6 мм. Отсюда длина нити в остова петли  $l_o$  равна 2,2 мм. Вследствие соприкосновения ветвей петли и даже захода их друг за друга расстояние  $cL = 0,05$  мм. Тогда доля этого расстояния относительно длины нити в остова петли  $c = 0,013$ . Отношение максимальной высоты к максимальной ширине остова петли в соответствии с (3.23) равно 2,045. Используя изложенную теорию, вычислим высоту  $h$  и ширину  $w$  остова петли при известной длине нити в остова. Запишем систему уравнений:

$$\begin{aligned} h &= 2\beta(P, H)k(1 - \cos \varphi_0), \\ \sin \varphi_{\max} &= \frac{1}{k\sqrt{2}}, \\ l_o &= 2\beta(P, H)F(\varphi_0), \\ c &= \frac{2E(\varphi_0) - F(\varphi_0)}{F(\varphi_0)}, \\ \frac{h}{w} &= \frac{k(1 - \cos \varphi_0)}{2E(\varphi_{\max}) - F(\varphi_{\max})}. \end{aligned} \quad (3.24)$$

Решение дает:  $P = 14,848$  сН;  $k = 0,85$ ;  $\varphi_0 = 2,161$ ;  $\varphi_{\max} = 0,982$ ;  $h = 1,55$  мм

Ширина остова  $w$  – высота  $h$ , деленная на 2,045, т.е.  $w = 0,76$  мм. Протяжка, равная трём игольным шагам при петлеобразовании, за счет деформирования механизмом оттяжки превратилась в полуэллипс с осями: большая полуось  $a = 1,53$  мм, равная высоте петельного ряда плюс диаметр остова (ширина остова) и минус высота остова; малая полуось  $b$ , подлежащая вычислению и определяющая в конечном счете петельный шаг  $A$ . Длина полуэллипса  $L$  определяется эллиптическим интегралом

$$L = 2a \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \left( \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \right)^2 \sin^2 t} dt. \quad (3.25)$$

При известных величинах  $L$  и  $a$  вычислено значение  $b=1,01\text{мм}$ . Таким образом, найден петельный шаг  $A=2b\cong 2\text{мм}$ . Если учесть, что в работе участвует каждая третья игла из 120 игл цилиндра, то можно установить длину периметра готовой стальной трубки –  $\Pi=80\text{мм}$ .

Интересно представить второй расчёт длины петли, исходя из процесса петлеобразования. В соответствии с выполняемым процессом, если глубина кулирования  $h_k$ , а длина протяжки равняется хорде  $t_{и2}$ , проведённой через три игольных шага, так как в работе участвует каждая третья игла.

Длина протяжки  $t_{и2}$  будет равна  $t_{и2}=2 r \sin \frac{\alpha}{2}$ ,

где  $r$  – радиус по центру головки иглы, мм ;

$\alpha$  – угол, протяжённостью на три игольных шага.

$$r = \frac{D_{ц} + d_{г}}{2},$$

где  $D_{ц}$  – диаметр цилиндра по спинкам игл, мм;

$d_{г}$  – диаметр головки иглы.

Для машины 2  $\frac{3}{4}$ ” и  $d_{г} = 1,5\text{мм}$ , радиус по центру головок игл будет равен:

$$r = \frac{2,75 * 25,4 + 1,5}{2} = 35,675 \text{ мм}$$

Угол  $\alpha$  при работе каждой третьей иглы равен:

$$\alpha = \frac{360}{40} = 9^{\circ}$$

Длина протяжки  $t_{и2}$  в этом случае равна:

$$t_{и2} = 2 * 35,675 \sin 4,5^{\circ} = 2 * 35,675 * 0,078 = 5,6\text{мм}.$$

При глубине кулирования  $h_k=2,1\text{мм}$  (таблица 3.1) и диаметре сечения проволоки в головке иглы (рисунок 3.2)  $d_c=0,4\text{мм}$ , длина петли  $l'_p$  по геометрической модели, исходя из процесса кулирования будет равна:

$$\begin{aligned} l'_p &= t_{и2} + 2h_k - d_c + \pi d_c = 5,6 + 2 * 2,1 - 0,4 + 3,14 * 0,4 \\ &= 5,6 + 4,2 - 0,4 + 1,26 = 10,66\text{мм} \end{aligned}$$



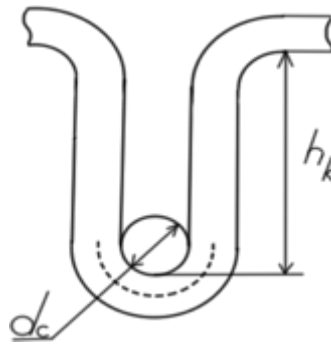


Рисунок 3.2 - Схематическое изображение петли трикотажа

Однако, при работе каждой третьей иглы возможна перетяжка  $l_{пр}$  нити, которая в данном случае составит:

$$l_{пр} = l'_p - l_\phi = 10,66 - 7,6 = 3,06 \text{ мм},$$

а коэффициент перетяжки  $K_{пр}$  будет равен:

$$K_{пр} = \frac{l_{пр}}{l'_p} = \frac{3,06}{10,66} = 0,28$$

Проверим коэффициент перетяжки нити для других вариантов наработанных трубок.

Таблица 3.1 – Сравнительная характеристика параметров трикотажа

Вариант	Фактическая длина петли $l_\phi$ , мм	Глубина кулирования $h_k$ , мм	Угол перетяжки $\alpha$ , град.	Диаметр сечения проволочки в головке иглы $d_c$ , мм	Длина протяжки $t_{и2}$ , мм	Усиление оттяжки на одну петлю $q$ , Н	Расчётное значение длины нити $l_p$ , мм	Коэффициент перетяжки $K_{пр}$
1	5,3	1,5	3	0,4	1,9	0,3625	5,3	0,08
2	6,2	1,8	6	0,4	3,7	0,3625	6,2	0,24
3	7,6	2,1	9	0,4	5,6	0,3625	7,68	0,28
4	9,2	2,5	12	0,4	7,5	0,3625	9,22	0,31

Как видим, коэффициент перетяжки находится в пределах 0,08 – 0,31 и зависит от глубины кулирования и усилия оттяжки.

В работе Володиной В. М. [2.17] и Гарбарука В. Н. [1.25] показано, что перетяжка при выполнении операции нанесения в новую образующуюся петлю может составлять 30%. То есть, экспериментально полученное значение перетяжки петель, равное 28% - возможно.

Таким образом, при переработке металлической нити на машине 14 класса с вязальной системой машины “Свит”, при определённом усилии оттяжки, приходящимся на одну петлю, зная длину петли  $l'_p$ , рассчитанную по процессу с учётом коэффициента перетяжки можно рассчитать длину петли  $l_p$ .

$$l_p = l'_p(1 - K_{пр})$$

Перетяжка из сброшенной петли может осуществляться как из палочек петель, так и из протяжки.

Сравним фактические значения длин петель с длинами петель, полученными расчётными путями, произведённые по разным методикам.

Таблица 3.2– Значения длин петель

№ варианта	Фактическая длина петли $l_f$ , мм	Длина петли по сложной геометрической модели $l_{рг}$ , мм	Длина петли по процессу $l'_p$ , мм	Коэффициент перетяжки $K_{пр}$	Расчётное значение длины петли $l_p$ с учётом коэффициента перетяжки, мм
1	5,3	5,35	5,76	0,08	5,3
2	6,2	6,25	8,16	0,24	6,2
3	7,6	7,6	10,66	0,28	7,68
4	9,2	9,2	13,36	0,31	9,22

Как видим, для расчёта длин петель могут использоваться два метода: метод, учитывающий эллиптическую форму остова петли, метод, учитывающий параметры процесса с учётом коэффициента перетяжки нити  $K_{пр}$ , равным при пропуске одной и более игл в среднем 0,28 и близким к 0 при работе всех игл, если обеспечивается одинаковое усилие оттяжки полотна и близкие усилия перетяжки нити.

Теперь, зная  $l_{\phi}$  или  $l_p$ , рассчитаем по формуле 3.4 число кручений  $Ч_k$ , которое приходится на один петельный ряд и по формуле 3.6 число кручений  $K_p$ , которое приходится на 1 м нити для разных полотен. Полученные значения внесём в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Расчётные значения числа кручений на один петельный ряд и на 1 м нити, образованных из последнего слоя нити на катушке

№ варианта	$l_{\phi}$	$I_p$	$D_n$	$d_n$	$Ч_k$	$K_p$
1	5,3	120	60	0,05	3,37	17,9
2	6,2	60	60	0,05	1,97	10,5
3	7,6	40	60	0,05	1,61	8,6
4	9,2	30	60	0,05	1,46	7,8

Как видим, с увеличением числа работающих игл, увеличивается число кручений, приходящихся на один петельный ряд и на один метр расходуемой нити.

### 3.3 Исследование изменения числа кручений по мере срабатывания катушки

По мере срабатывания металлической нити диаметр катушки уменьшается, поэтому число кручений на 1 м и, соответственно, на один петельный ряд, будет увеличиваться.

Рассчитаем изменение числа кручений по мере срабатывания нити. Для этого определим скорость переработки нити на чулочном автомате  $D_{ц} = 2 \frac{3}{4}$  ", работающем с частотой вращения  $80 \text{ мин}^{-1}$ .

Для прогнозирования числа возможных сукрутин при переработке определённого слоя нити с катушки построим кривую изменения числа кручений в зависимости от изменения диаметра катушки и, соответственно, номера слоя.

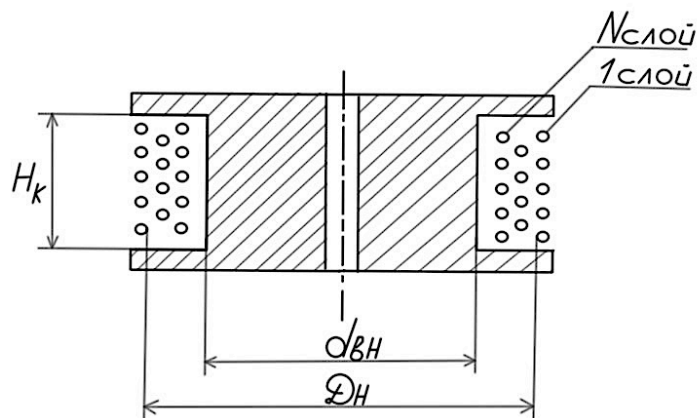


Рисунок 3.3 – катушка с металлической нитью

Общее число слоёв  $R_{н}$  на катушке будет равным:

$$R_{н} = \frac{D_{н} + 2d_{н} - d_{вн}}{2d_{н}},$$

где  $D_{н}$  - диаметр катушки перед последним намотанным слоем, мм;

$d_{н}$  - диаметр нити, мм;

$d_{вн}$  - внутренний диаметр катушки, мм.

При  $D_{н} = 60 \text{ мм}$ ;  $d_{н} = 0,05 \text{ мм}$ ;  $d_{вн} = 40 \text{ мм}$

$$R_{н} = \frac{60 + 2 * 0,05 - 40}{2 * 0,05} = 201 \text{ слой.}$$

Для расчёта изменения числа кручений  $Ч_{к}$  по слоям, которое приходится на один петельный ряд и числа кручений  $K_{р}$  на 1 м нити составим таблицу 3.4. Для расчётов  $Ч_{к}$  и  $K_{р}$  используем формулы 3.4 и 3.6.

Для расчёта переменного наружного диаметра  $D_{нп}$  (рисунок 3.3), перед последним намотанным слоем, для разных слоёв, воспользуемся следующей формулой:

$$D_{\text{нп}} = R_{\text{нп}} d_{\text{н}} + d_{\text{вн}} - 2d_{\text{н}},$$

где  $R_{\text{нп}}$  – переменное число слоёв нити до рассчитываемого слоя;

$d_{\text{н}}$  - диаметр нити;

$d_{\text{вн}}$  - внутренний диаметр катушки.

Задаваясь значениями  $R_{\text{нп}}$ , рассчитаем переменное значение  $D_{\text{нп}}$ , а затем рассчитаем значения  $Ч_k$  ( формула 3.4) и  $K_p$  ( формула 3.6). Все данные сведём в таблицу 3.4. Первым слоем считаем слой по наименьшему диаметру  $D_{\text{нп}}$  (рисунок 3.3), то есть слой, намотанный на внутренний диаметр катушки.

Таблица 3.4 – Изменение значений числа кручений по слоям намотки нити

№ варианта	№ слоя $R_{\text{нп}} + 1$	$D_{\text{нп}}$	$l_{\phi}$	$Ч_k$	$K_p$
1	1	39,9	7,6	2,42	19,3
2	50	42,44	7,6	2,30	17,07
3	100	44,85	7,6	2,16	15,2
4	150	47,35	7,6	2,03	13,7
5	200	49,85	7,6	1,94	12,4

Используя значения  $Ч_k$  и  $K_p$  из таблицы 3.4 построим график изменения числа кручений, приходящихся на один петельный ряд и на один метр нити.

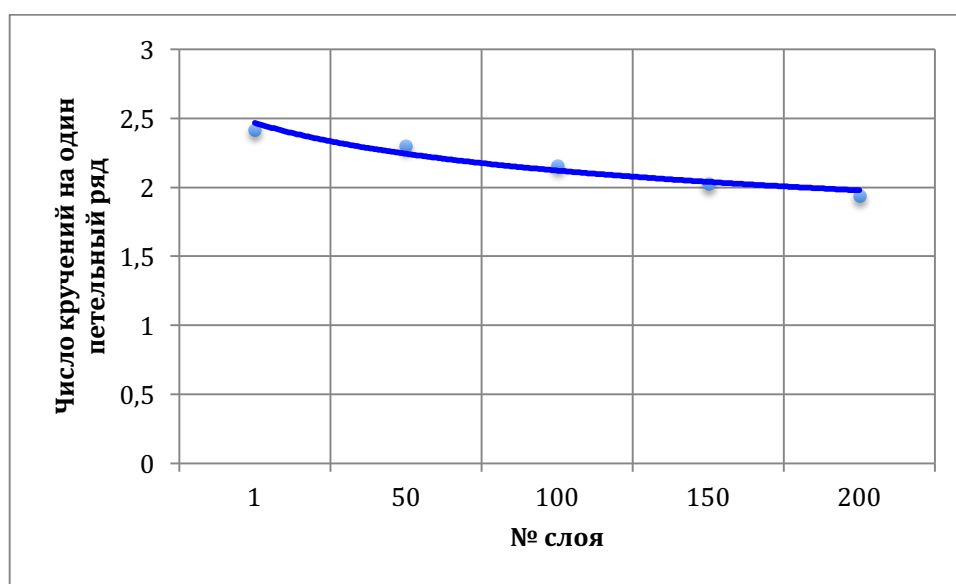


Рис 3.4 – Изменение числа кручений на один петельный ряд при сматывании с катушки

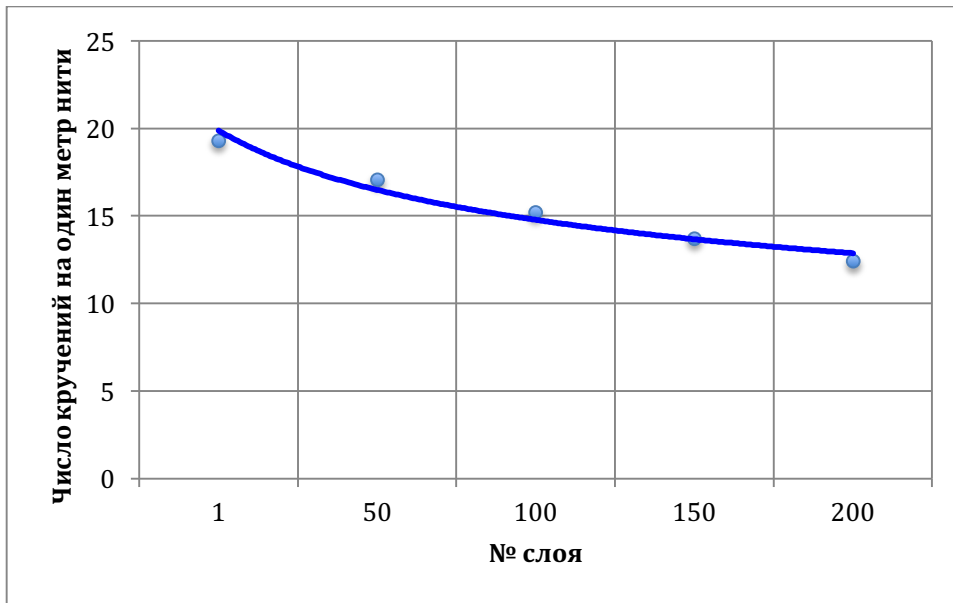


Рис 3.5 – Изменение числа кручений на метр нити при сматывании с катушки

Как видим из рисунка 3.4, число кручений  $Ч_k$ , которое приходится на один петельный ряд и число кручений  $К_p$  (рисунок 3.5), которое приходится на 1 м нити увеличиваются с уменьшением диаметра катушки, что может вызвать дефекты при вязании трубчатого полотна.

Так как число кручений на один петельный ряд возрастает, можно предположить, что число дефектов к концу переработки катушки также возрастает.

Кроме этого, как показали эксперименты, скрученные участки не всегда сразу уходят в вязание, а накапливаются перед нитеводом. Затем, сразу несколько скрученных участков проскакивают в вязание, то есть условия переработки нити при сматывании её с катушки не одинаковы, что может также вызывать появление дефектов на полотне.

Однако, наиболее опасным дефектом может быть сукрутина [1.14], которая даёт утолщение или обрыв нити в трубчатом полотне.

Причиной сукрутины может быть накопление крутки на участке между глазком бегунка и нитеводом. Получая крутку, металлическая нить преобразуется в пружину растяжения, которая при её растяжении от натяжения нити при подаче в нитевод стремится сжаться, вытягивая нить либо со стороны нитевода, либо со стороны катушки, поскольку уже скулированную нить практически нельзя вытянуть из нитевода, нить стягивается с катушки. При образовании излишка нити, натяжение подаваемой нити резко падает, смотанный с катушки участок складывается и образует сукрутину.

Повышая скорость подачи нити, то есть в данном случае это зависит от скорости машины, можно достигнуть исключения или уменьшить появление сукрутин.

Определить виды дефектов, появляющиеся на полотне, вскрыть их причину и произвести их оценку является важной задачей, так как в соответствии с техническим заданием [5.1], дыры и утолщения на трубчатых полотнах не допускаются.

### **3.4 Экспериментальная оценка дефектности трубчатого полотна из металлической нити**

Анализ дефектности трубчатого полотна был проведён по оценке полотен, выработанных из пяти катушек.

Наработка образцов выполнялась на машине “Свит” 14 класса при работе каждой третьей иглы, при выработке полотна, шириной 40мм, с параметрами  $A=2$ мм,  $B=2,1$ мм, при покрытии оттяжных валов резиной.

Из каждой катушки вырабатывалось полотно длиной  $R$ - петельных рядов, которое равно:

$$R = \frac{L_k}{L_n}, \quad (3.26)$$

где  $L_k$  - длина нити на катушке;

$L_n$  - расход нити на один петельный ряд.

В свою очередь

$$L_{\text{н}} = l_{\text{ф}} I_{\text{р}}, \quad (3.27)$$

где  $l_{\text{ф}}$  - фактическая длина нити в петле;

$I_{\text{р}}$  - число работающих игл.

Длина нити на катушке  $L_{\text{к}}$  равна

$$L_{\text{к}} = (\pi d_{\text{вн}} + \int_1^{R_{\text{н}}} 2R_{\text{н}} d_{\text{н}} dR_{\text{н}} + d_{\text{н}}) P_{\text{н}}, \quad (3.28)$$

где  $d_{\text{вн}}$  - внутренний диаметр катушки, мм;

$R_{\text{н}}$  - число слоёв нити на катушке;

$d_{\text{н}}$  - диаметр нити;

$P_{\text{н}}$  - число нитей в одном слое.

Число нитей в слое равно:

$$P_{\text{н}} = \frac{H_{\text{к}}}{d_{\text{н}}}, \quad (3.29)$$

где  $H_{\text{к}}$  - высота катушки, мм ( рисунок 3.3);

Решая уравнение 3.28, получим

$$L_{\text{к}} = \pi(d_{\text{вн}} + R_{\text{н}}^2 d_{\text{н}} + d_{\text{н}}) P_{\text{н}},$$

при  $H_{\text{к}} = 20\text{мм}$ ;  $d_{\text{н}} = 0,05\text{мм}$ ;  $R_{\text{н}} = 201$  слой.

Из формулы 3.29

$$P_{\text{н}} = \frac{20}{0,05} = 400 \text{ нитей в слое}$$

Тогда длина нити в катушке  $L_{\text{к}}$  будет

$$L_{\text{к}} = \frac{3,14 * (40 + 201^2 * 0,05 + 0,05) * 400}{1000} = 2587,5\text{м}$$

А число петельных рядов согласно формуле 3.26 будет равно

$$R = \frac{1000L_{\text{к}}}{l_{\text{ф}} I_{\text{р}}},$$

Подставляя значения  $l_{\text{ф}}$  - фактическая длина нити в петле, равная 7,6мм; число работающих игл  $I_{\text{р}} = 40$  и  $L_{\text{к}} = 2587,5 * 1000\text{мм}$ , получим число петельных рядов  $R$  при переработке катушки равным

$$R = \frac{2587,5 * 1000}{7,6 * 40} = 8512 \text{ рядов,}$$



Зная высоту петельного ряда  $B = 2,1$  мм, получим длину наработанной трубки

$$L_{\text{тр}} = BR = 2,1 * 8512 = 17874 \text{ мм или } \approx 18 \text{ м}$$

При переработке нити с каждой из пяти катушек было выработано  $18 \div 20$  м трубчатого полотна шириной 40 мм.

Для оценки дефектности полотна, были переработаны пять катушек металлической нити на машине “Свит” 14 класса.

Анализ наработанных образцов показал, что на всех трубчатых полотнах встречаются дефекты [6.18]. Все виды дефектов были сведены в таблицу 3.5.

В процессе работы вязалось трубчатое полотно шириной 40 мм с раппортом кладки на каждую третью иглу.

Таблица 3.5 - Частота возникновения дефектов на полотне

	Количество появления дефектов на 1 м полотна
Сброс петли по петельному столбику	0,03
Периодический сброс петли в структуре полотна	0,01
Срыв полотна	0,007
Набор петель	0,05
Утонение полотна	0,05

Таблица 3.6 – Виды и причины дефектов

Виды дефектов Причины дефектов	Сброс петли по петельному столбику	Набор петель	Периодический сброс петли в структуре полотна	Срыв полотна	Утонение полотна
Дефекты сырья	-	-	+	+	+
Полом головки иглы	+	-	-	-	-
Полом язычка	-	+	+	-	-
Дефект крепления язычка	-	+	-	-	-
Искривление язычка	-	+	-	-	-
Изменение усилия оттяжки	-	+	+	+	-
Обрыв одной нити	-	-	-	-	+
Обрыв двух нитей	-	-	-	+	-

Анализ полученных результатов сводных таблиц 3.5 и 3.6, связанных с видами дефектов, количеством и причинами их возникновения позволяет выявить наиболее важные факторы, от которых в большей степени зависит дефектность и определить пути их устранения. Как видно из таблиц, определяющим фактором возникновения дефектов на полотне является качество используемой нити и изменение усилия оттяжки полотна при вязании на оттяжных валах.

Для того, чтобы определить максимально возможную частоту вращения двигателя, при которой процесс вязания был стабильным, процесс оттяжки полотна оставался постоянным, был проведён сравнительный анализ работы машины на разных скоростях и с разным покрытием оттяжных валов. Важно, чтобы принятая частота вращения цилиндра не вызывала перегрева двигателя, что может стать причиной его выхода из строя или вызвать увеличение натяжения нитей на участке от катушек до игольного цилиндра.

Для сравнительного анализа были выбраны 5 различных возможных частот вращения двигателя: 40, 60, 80, 100 и 130 мин<sup>-1</sup>. Частота вращения 60 мин<sup>-1</sup> – стандартная; 130 мин<sup>-1</sup> – максимально возможная.

Таблица 3.7 – Изменение числа дефектов на полотне в зависимости от частоты вращения двигателя

Частота вращения двигателя, мин <sup>-1</sup>	Количество дефектов в час	Перегрев двигателя	Увеличение усилия натяжения нити
40	0,2	-	-
60	0,3	-	-
80	0,5	-	-
100	0,9	+/-	-
130	1,3	+	+

Таблица 3.7 отражает изменение количества дефектов при разных частотах вращения двигателя.

Результаты показали, что при частотах вращения двигателя в диапазоне 100-130 мин<sup>-1</sup> значительно увеличивается число дефектов: таких как обрыв одной из нитей, периодический сброс петли из-за увеличения натяжения подаваемой нити до 0,15 Н. Длительная работа двигателя при частоте 130 мин<sup>-1</sup> неминуемо приводило к его перегреву, что нежелательно из-за возможности выхода его из строя.

С целью удобства регулирования частоты вращения двигателя кругловязального автомата типа “Свит”, дополнительно к двигателю машины был установлен асинхронный преобразователь частоты [6.19], позволяющий регулировать частоту вращения двигателя и, следовательно, частоту вращения игольного цилиндра.

Экспериментально было установлено, что двигатель кругловязального автомата типа “Свит” работает в диапазоне частот от 40 до 100 мин<sup>-1</sup> практически без нагрева. Оптимальная частота вращения двигателя – 80 мин<sup>-1</sup>.

Для дальнейшей наработки полотен, частота вращения двигателя была принята равной 80 мин<sup>-1</sup>.

### **3.5 Исследование влияния крутки и условий подачи металлической нити на структуру и разрывные характеристики полотна**

Целью экспериментального исследования структур образцов являлось определение основных физико-механических параметров металлотрикотажных полотен, таких как прочность полотен и относительное удлинение, получение численных результатов и сведение численных данных в сводную сравнительную таблицу, построение графиков.

При проведении экспериментального исследования искомые показатели и характеристики полотен определялись при помощи компьютерного диагностического комплекса “Диаморф” [6.15].

На основе проводимых экспериментов испытаний образцов трикотажа, выработанного из металлической нити марки ЭИ-708А диаметром 0,05мм, наработанных на кругловязальной машине “Свит” 14 класса с раппортом

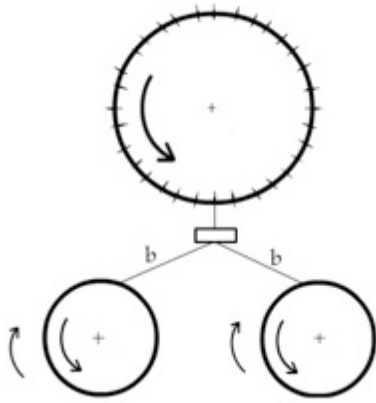
прокладывания нити через две неработающие иглы, предполагалось определить влияние кручения металлической нити относительно своей оси при сматывании с учётом того, что вязание осуществляется из нитей в два сложения, подающихся одновременно с разных катушек и соединяющихся между собой на участке от глазка компенсатора механизма нитеподачи до направляющего глазка, находящегося в непосредственной близости к игольному цилиндру.

Поскольку конечным продуктом является металлотрикотажное трубчатое полотно технического назначения, то это значит что чулочно-носочный автомат был настроен только на вязание трубчатого полотна и не совершал никаких реверсивных движений, что в свою очередь означает, что игольный цилиндр имеет определённое направление своего вращения, а именно вращение против часовой стрелки.

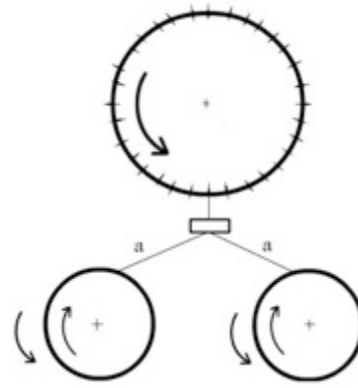
Было выявлено, что при вязании металлотрикотажного трубчатого полотна технического назначения из металлических нитей в два сложения, существует всего четыре возможных варианта направлений сматывания нити с катушек относительно друг друга и вращения игольного цилиндра.

Взаимосвязь направления сматывания металлической проволоки с катушек относительно направления вращения игольного цилиндра и возможные варианты расположения катушек представлены на рисунке 3.6.

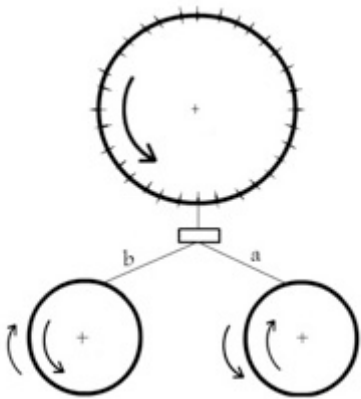
При выполнении эксперимента была поставлена задача- определить влияние количества кручений нити на структуру и свойства вырабатываемого полотна. При четырёх возможных вариантах взаиморасположения катушек, были выработаны восемь экспериментальных образцов металлотрикотажного трубчатого полотна – по два образца на каждый возможный вариант: один образец вырабатывался, когда обе катушки были полными, то есть на катушках находилось максимальное количество нити, а второй образец - когда на обеих катушках находилось минимальное количество нити, то есть когда нить на катушках заканчивалась.



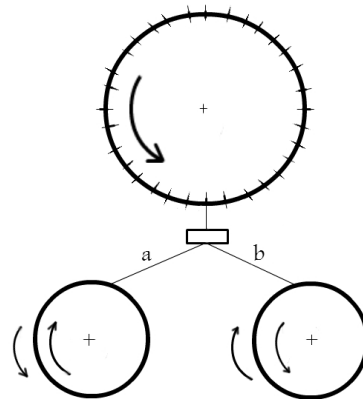
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.6 - Схемы подачи нити

Варианты образцов представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 - Варианты образцов

№ образца	Взаиморасположение катушек	Начало катушки	Конец катушки
1	А	+	-
2	Б	+	-
3	В	+	-
4	Г	+	-
5	А	-	+
6	Б	-	+
7	В	-	+
8	Г	-	+

Имея по два образца каждого из четырех вариантов взаиморасположения катушек, представляется возможным провести два исследования сразу.

Первое исследование заключалось в определении зависимости взаиморасположения катушек, другими словами, в зависимости от расположения катушек одна относительно другой, изменяется направление сматывания нити с катушек, что в свою очередь определяет так называемую дополнительную “крутку” металлической нити. Было сделано предположение, что различные направления крутки каждой из нитей могут оказывать существенное влияние нитей друг на друга и, тем самым, в последствии и на структуру и на свойства трикотажного полотна.

Второе исследование заключалось в установлении влияния различного количества кручений на структуру вырабатываемого полотна. Различное количество кручений подразумевает под собой увеличение количества кручений бегунка вокруг катушки по мере срабатывания нити с катушки, что может повлечь за собой изменение прочностных характеристик полотна.

Одной из важнейших характеристик вырабатываемого металлотрикотажного трубчатого полотна является его прочность, поэтому необходимо было опытным путём получить данные по прочности разных вариантов образцов и, проанализировав полученные результаты, сделать соответствующие выводы и рекомендации к установке катушек с нитью определённым образом друг относительно друга. Понятие прочности полотна

подразумевает под собой два ключевых момента – непосредственно сама прочность на разрыв[2.15;2.16] и, относительное удлинение полотна.

Для определения прочностных характеристик, была использована разрывная машина INSTRON [6.20].

Также, немаловажным моментом при использовании металлтрикотажного трубчатого полотна по назначению, а именно при надевании вырабатываемого полотна на места соединения металлического стержня и пластикового фитинга, является целостность структуры полотна, для этого был проведён детальный анализ структуры предлагаемых восьми вариантов образцов. Анализ выполнялся по фотографиям структур, полученным с использованием электронного микроскопа компьютерного диагностического комплекса “Диаморф” с определёнными вариантами увеличения.

Компьютерный диагностический комплекс “Диаморф” представляет собой видеокамеру высокой разрешающей способности с возможностью вывода на монитор черно-белого и цветного изображений исследуемой структуры трикотажа. Он позволяет получать и хранить на магнитном диске информацию о параметрах петельной структуры, в том числе в условиях одно- и двухосной деформации.

Компьютерный комплекс обеспечивает:

- включение режима “живого видео” (изображение с видеокамеры поступает прямо на монитор);
- просмотр изображений в стандартном, уменьшенном и увеличенном виде;
- запись цветного или чёрно-белого изображения на диск в стандартных графических форматах (.bmp; .gif; .jpg; .pcx; .tif и многих других).
- чтение изображения с диска;
- запись изображения с комментариями в базу данных;
- поиск изображения по названию и ключевым словам в тексте комментариев;
- печать изображения на стадии ввода в компьютер и просмотр базы данных.



Для исследования структур трикотажа в нерастянутом и одноосно растянутом состояниях, использовалась установка, принципиальная схема которой показана на рисунке 3.7.

Установка состоит из платформы 2, закреплённой на столе с помощью зажима 1. На платформе 2 установлены на осях направляющие 3, через которые проходят гибкие связи (нити) 4, соединяющие подвижные зажимы 5 и грузы 6.

В подвижные зажимы 5 и неподвижный зажим 7 закрепляется образец трикотажа 8. В центре платформы 2 имеется отверстие 9 диаметром 65мм для подсветки образца источником света 10 с регулируемым световым потоком. Над платформой 2 установлена цифровая телекамера 11, закреплённая на оптическом микроскопе, изображение с которой попадает в системный блок 12 и на монитор 13, а обработанная информация выводится на принтер 14. Полученное на экране монитора изображение фиксируется на мониторе в определённом масштабе, калибруется с помощью масштабной линейки, далее выделенный участок в виде раппорта или произвольных размеров сканируется и обрабатывается по программе “Диаморф”. Обычно при исследовании ячеистых поверхностей трикотажа из микропроволок и текстильных нитей и пряжи, калибруется в микрометрах “мкм” (1мм=1000мкм). Перед обработкой, необходимые для исследования ячейки раппорта нумеруются, их можно закрасить в любой цвет.

Обычно для ячеистых поверхностей измеряются следующие морфологические параметры объекта : количество ячеек в раппорте, площадь ячеек, их периметр, петельный шаг, высота петельного ряда трикотажа, фактор формы ячеек, размеры проекций ячеек по осям x и y.

Как было сказано выше, особый интерес в данном исследовании представляют две величины – прочность на разрыв (кг) и относительное удлинение полотна (%).

Опыт проводился следующим образом.

Каждый из полученных 8 образцов был разделён на 10 равных кусков по 10 см каждый, после чего все 80 образцов были испытаны на разрыв и относительное удлинение.

Каждый образец длиной 10 см был закреплён в зажимах на разрывной машине INSTRON.

Установленные датчики были рассчитаны на нагрузку от 2 до 50 кг.

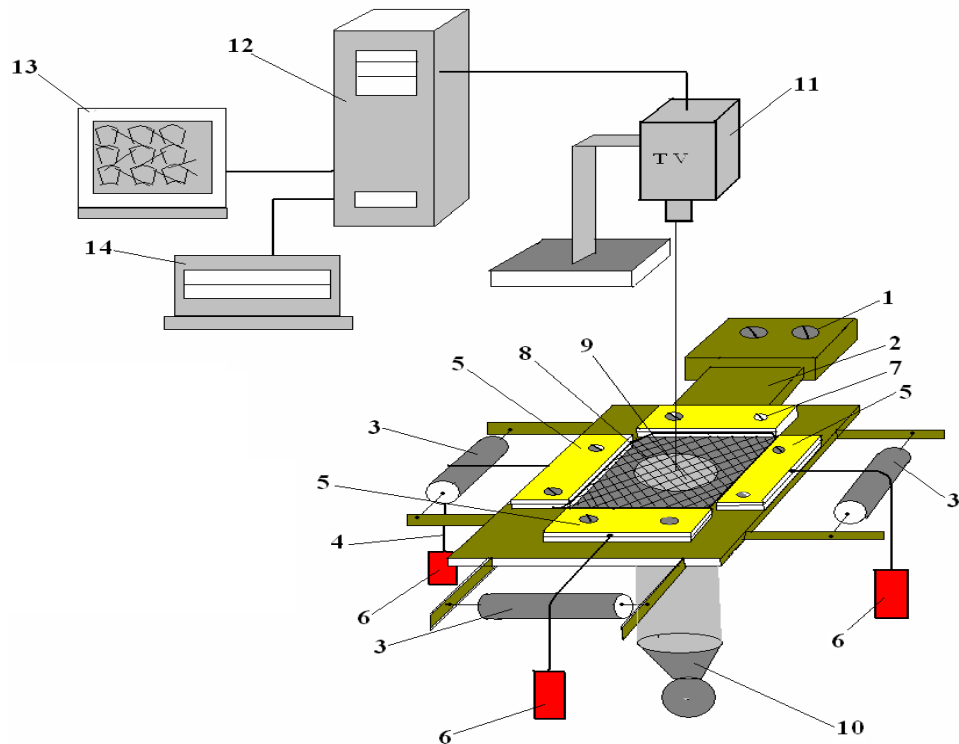


Рисунок 3.7 – Установка для исследования образцов с помощью программы  
Диаморф



Рисунок 3.8 – Зажим разрывной машины Instron

Нельзя не обратить внимание на проблему, которая возникла при испытаниях. Во время проведения испытаний образцов на разрыв, при нагрузках, достигающих максимальных значений для металлтрикотажного трубчатого полотна, возникало проскальзывание между зажимами 1 ( рисунок 3.8) и образцом, проблема возникала из-за того, что между стальными зажимами 1 и образцами, которые были выработаны из стали ЭИ-708А, было недостаточное трение. Решить проблему проскальзывания и недостаточного трения представлялось возможным за счёт увеличения силы трения между зажимами и образцом. Для этого были изготовлены тонкие резиновые пластины, которые устанавливались в зазор между зажимами и испытываемыми образцами, что позволило уменьшить коэффициент проскальзывания и увеличить силу трения. Предположение об успешности установки таких пластин было подтверждено опытным путём.

Все 80 образцов были испытаны на разрыв [1.24] и относительное удлинение [6.22]. Далее, для наглядности и информативности представлены усреднённые значения каждого из образцов.

Ниже приведены полученные средние результаты в виде графиков ( рисунок 3.9) и данных ( таблица 2.18), которые для наглядности сопоставлены друг с другом.

На графиках ( рисунок 3.9) ось X обозначает изменение времени (сек ), а ось Y – разрывную нагрузку ( Вольт ), при заданной чувствительности  $1В = 2кг$ .

Вершины кривых, точки максимума – это точки максимальной нагрузки, необходимой для разрыва образца, соответственно, чем больше максимальная нагрузка- тем больше прочность образца на разрыв или, проще говоря, тем более прочный образец. Максимальная нагрузка представлена на графиках величиной А.

Интерес представляет значение L-K, это расстояние между осями L и K по горизонтали, которое характеризует время, необходимое образцу для разрыва; чем больше образцу требуется времени – тем больше относительное удлинение образца при заданной нагрузке.

Проведём расчёты на примере образца №1

$$100$$

$$L-K = t = 9,4417с$$

$$A = 7,4231В$$

Как было сказано выше,  $1В = 2кг$ , соответственно максимальная нагрузка до разрыва  $F = 2 * A = 2 * 7,4231 = 14,8462кг$ , а относительное удлинение

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} 100\%$$

где  $\varepsilon$  – относительное удлинение при разрыве;

$\Delta l$  – удлинение при разрыве;

$l_0$  - длина образца, равная расстоянию между зажимами.

$$l_0 = 10см = 100мм$$

$$\Delta l = v * t = 200мм/мин * 9,4417с = 3,3333мм/сек * 9,4417с = 31,4723мм;$$

Где  $v$  – линейная скорость подъёма верхнего зажима, равная 200 мм/мин;

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} 100\% = \frac{31,4723}{100} 100\% = 31,4723\%$$

Вывод по первому образцу: прочность на разрыв равна 14,85кг; относительное удлинение равно 31,47%

Идентичные расчёты были получены при определении прочности на разрыв и относительное удлинение всех усреднённых значений образцов. Полученные данные сведены в таблицу 3.9 и показаны на графиках ( рисунок 3.9).

Таблица 3.9 - Результаты испытаний образцов

	F (кг)	$\varepsilon$ (%)
Образец №1	14,85	31,47
Образец №2	11,59	44,34
Образец №3	19,69	53,11
Образец №4	19,03	45,8
Образец №5	22,75	41,17
Образец №6	16,33	37,02
Образец №7	20,05	40,44
Образец №8	20,86	38,24

Анализ таблицы 3.9 испытаний образцов показывает, что наилучшие показатели по прочности и относительному удлинению имеют образцы 3 и 7, вырабо-

танные при сматывании нити с обеих катушек в разные стороны по схеме, представленной на рисунке 3.6 (в) и образцы 4 и 8, выработанные также при сматывании нити с катушек в разные стороны по схеме на рисунке 3.6(г).

Отличие показателей прочности для вариантов 3 и 7 составляет менее 2% при переработке нити с катушек в начале и в конце. Отличие показателей прочности в начале и в конце в образцах 4 и 8 отличаются на 8,5%. Сказанное позволяет сделать вывод, что наилучшей заправкой нити является заправка по схеме на рисунке 3.6 (в), то есть при сматывании нити между катушками в направлении от цилиндра.

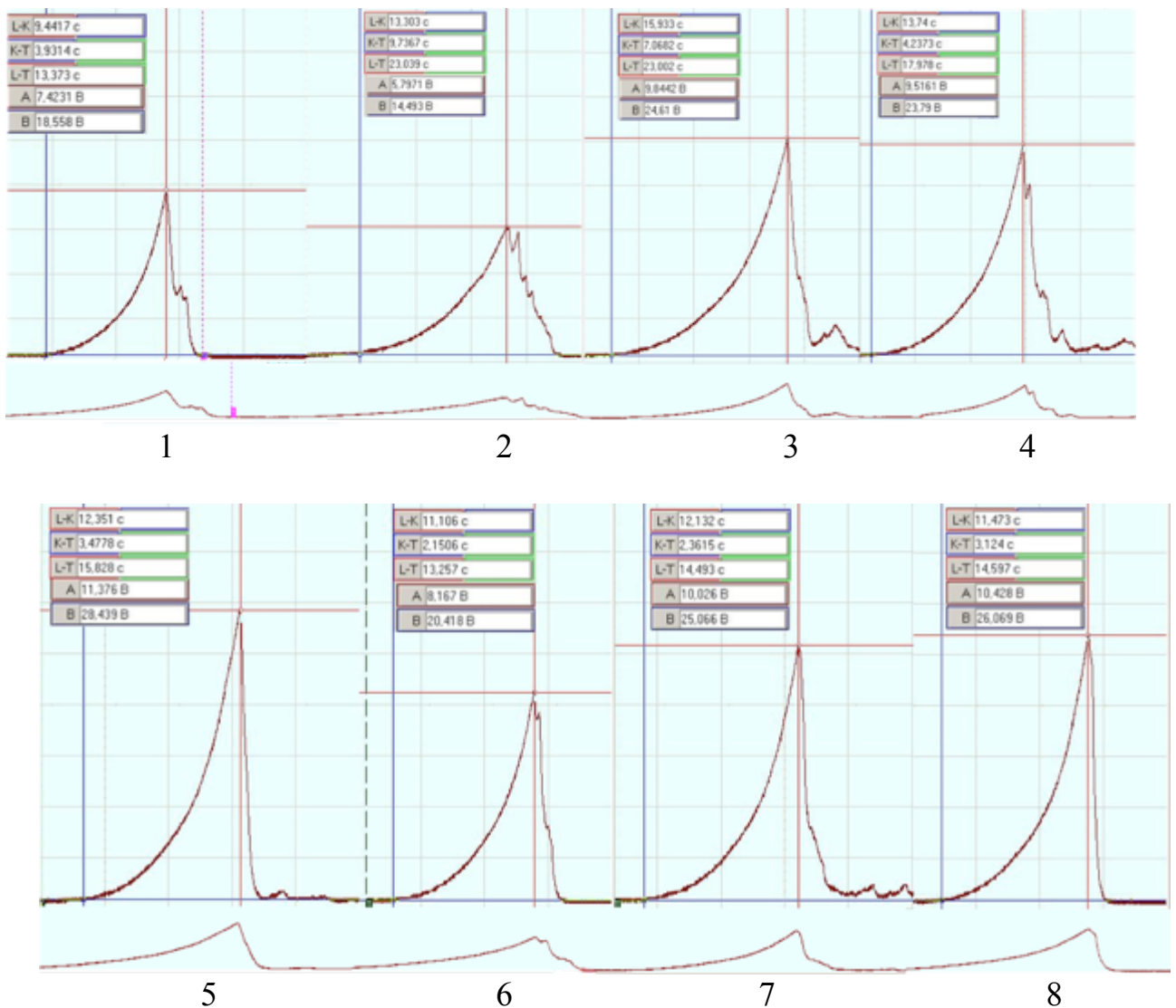


Рисунок 3.9 – Графики относительного удлинения полученных образцов трубчатого полотна

Наихудшие условия подачи со значительной потерей прочности полотна даёт подача по схеме на рисунке 3.6(а). Причём разница прочности полотна в начале переработки нити с катушки ниже на 29%, чем в конце. Сказанное позволяет сделать вывод, что при сматывании нити против часовой стрелки, то есть в сторону вращения машины создаются условия, приводящие к потере прочности нитей и, следовательно, прочности полотна.

Интересно отметить, что прочность всех образцов полотен, выработанных когда на обеих катушках находилось минимальное количество нити, выше, чем на образцах, выработанных из полных катушек. Сказанное можно объяснить большей равномерностью процесса сматывания и уменьшения рывков из-за уменьшения длины сматываемой нити за один оборот. Кручение нити, полученное при сматывании на показатели прочности полотна влияния не оказывает.

Второй этап исследования заключался в получении фотографий каждого из вариантов образцов с последующим их анализом. Фотографии образцов с разными вариантами увеличения были получены с помощью электронного микроскопа и программы “Цито”.

Для получения фотографий были выбраны 4 варианта масштаба увеличения (в 2,5, 6, 12,5 и 20 раз), каждый из которых позволил графически определить целостность и равноту структуры образцов с целью выявления взаимосвязи с количеством “кручений” нити и с взаиморасположением катушек.

Для удобства проведения графического анализа, все фотографии образцов в каждом выбранном масштабе были скомпонованы вместе, что позволило зрительно выявить их отличительные особенности.

Ниже приведены коллажи с фотографиями образцов и их описание.

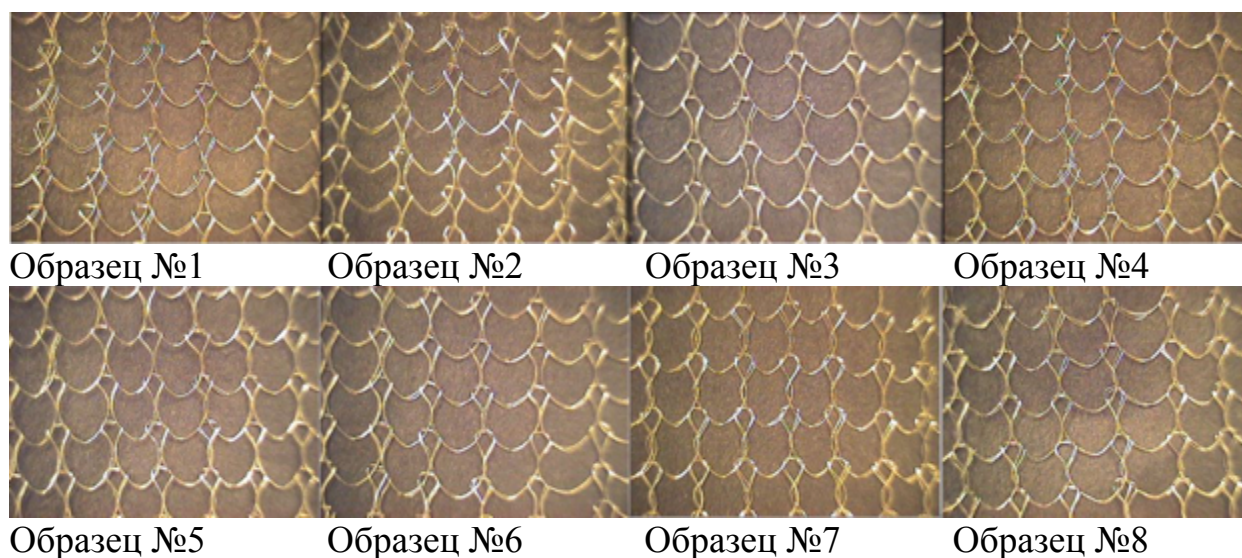


Рисунок 3.10 - Коллаж фотографий №1. Увеличение в 2,5 раза

Сравнивая фотографии образцов (рисунок 3.10), можно сделать вывод, что на первый взгляд все они имеют идентичную структуру и ни один образец не выбивается из общей картины. Однако, хочется обратить внимание на остовы петель, на многих образцах у большого количества петель можно наблюдать скрещивающиеся палочки остовов.

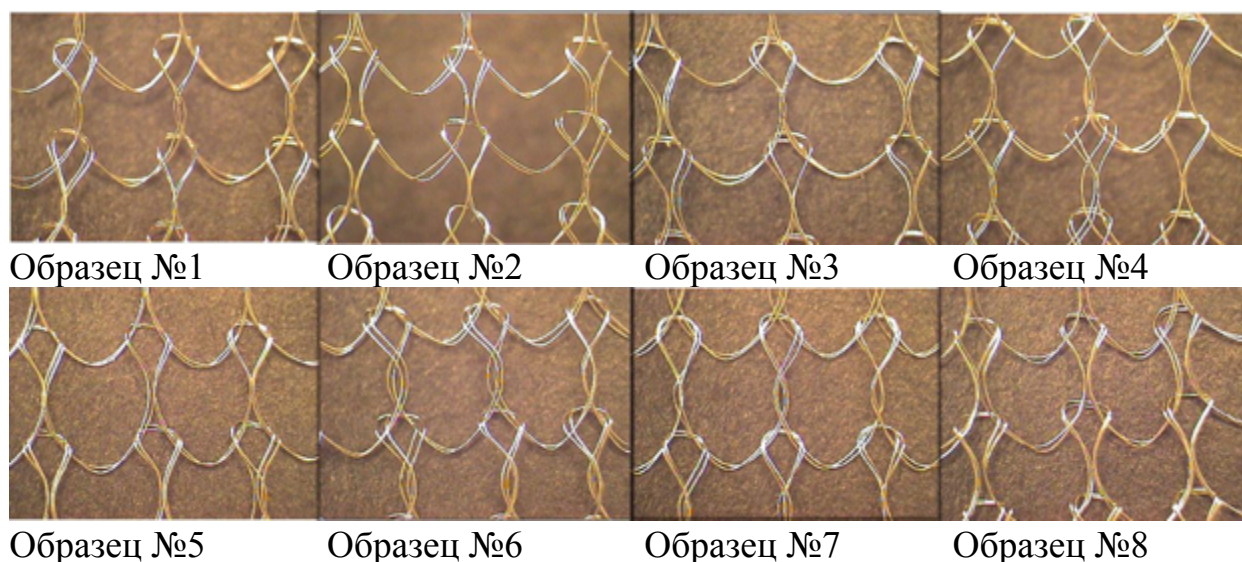


Рисунок 3.11 - Коллаж фотографий №2. Увеличение в 6 раз

На подборке (рисунок 3.11) представлены фотографии с масштабом увеличения в 6 раз.

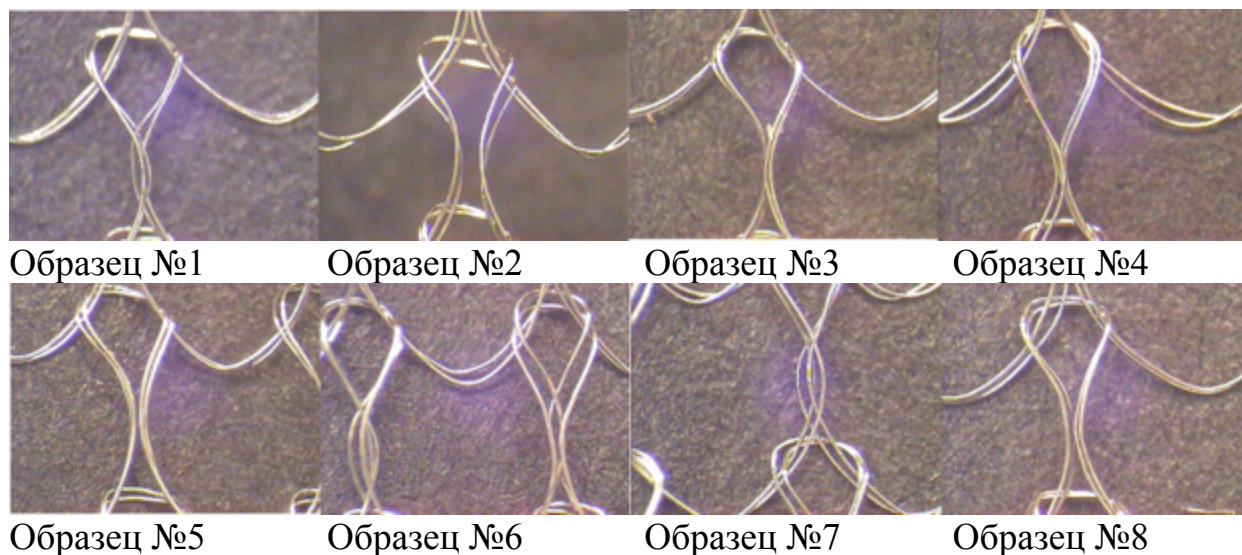


Рисунок 3.12 - Коллаж фотографий №3. Увеличение в 12,5 раз

На фотографии (рисунок 3.12) представлены остовы петель с масштабом увеличения в 12,5 раз.

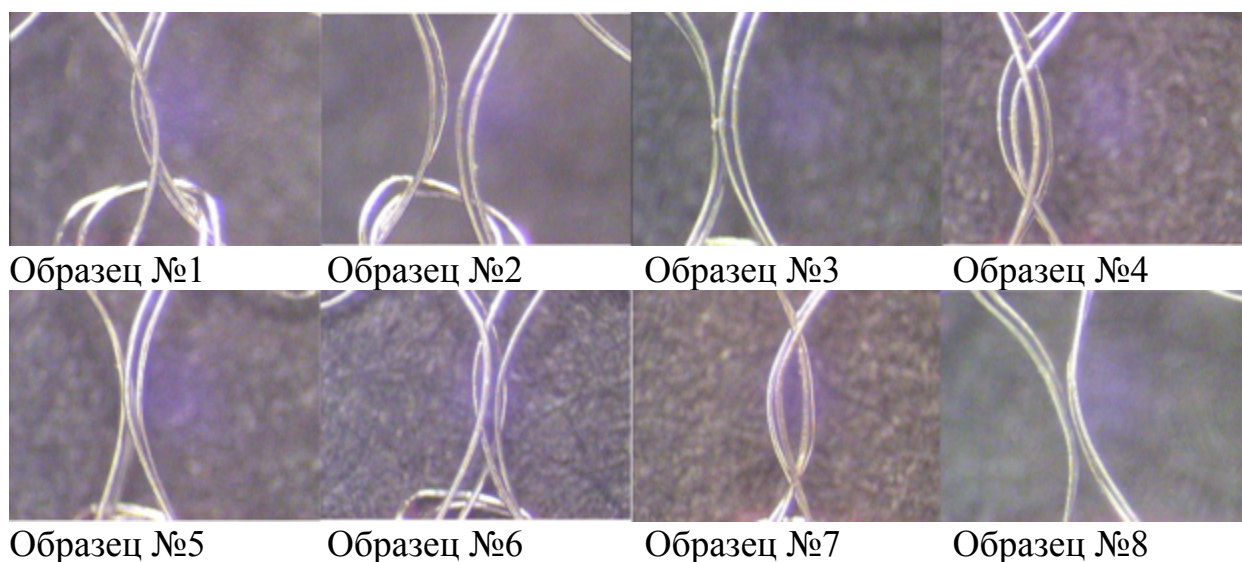


Рисунок 3.13 - Коллаж №4. Увеличение в 20 раз

На рисунке 3.13 представлена подборка фотографий палочек остовов петель с масштабом увеличения в 20 раз. Здесь представлены наиболее отличительные палочки петельных структур. Наиболее неравномерное изображение имеют образцы № 1, 2, 6 и 7.



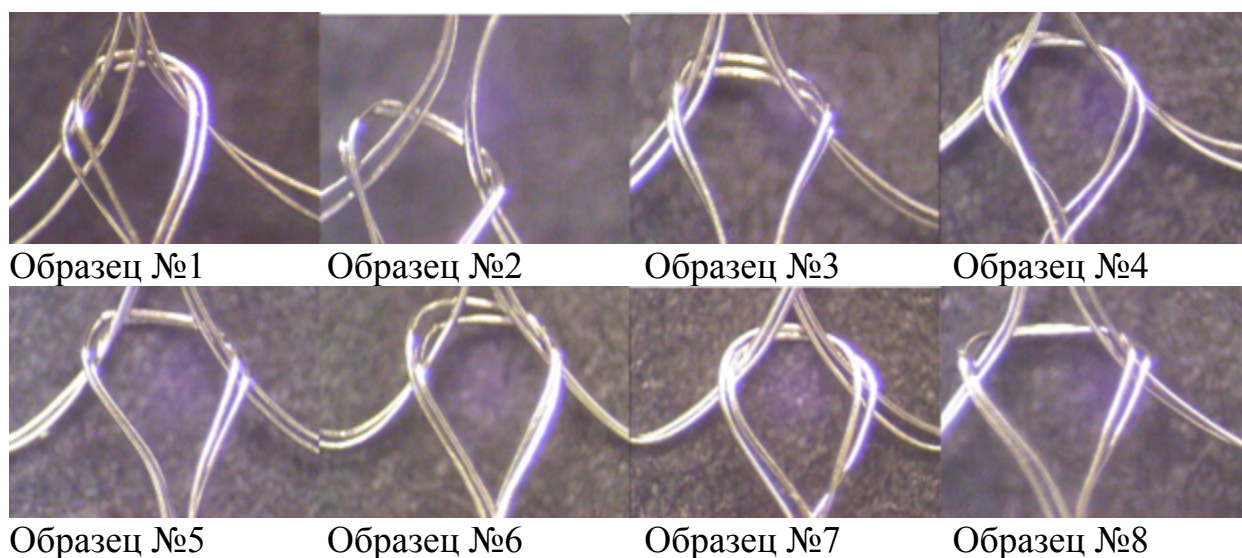


Рисунок 3.14 - Коллаж №5. Увеличение в 20 раз

В подборке фотографий ( рисунок 3.14) необходимо обратить внимание на верхние части остовов петель. Все верхние части остовов петель образцов можно разделить на два типа – закруглённой формы и более треугольной формы. Треугольной формой верхней части остовов петель обладают образцы № 2, 5 и 8. Также, зрительно можно наблюдать различия во взаимном расположении нитей друг относительно друга, а также выраженное наложение петельных палочек друг на друга, вызванное упругостью металлической нити. Наибольшей равномерностью ячеек обладают образцы 3, 4, 7 и 8. Однако, на образцах 4 и 8 видна непараллельность прокладываемых нитей, за счёт которой уменьшается просвет ячейки. Таким образом, наилучшую структуру трикотажного полотна имеют образцы 3 и 7, полученные при подаче нити по схеме на рисунке 3.6, в. Образцы 3 и 7 имеют крупные ячейки для заливки клея.

В образцах 1, 2, 5 и 6 можно наблюдать некоторую неравномерность ячеек и выраженную непараллельность проложенных нитей, уменьшающих площадь клеевой заливки, что не позволяет их рекомендовать для использования.

Как видим, все исследования были проведены для трубчатого полотна шириной 40мм. Однако, в соответствии с требованиями заказчика необходимо разработать технологии ещё для трубчатых полотен шириной 13, 60 и 100 мм.

Заправка нити, скоростные режимы работы машины могут быть приняты аналогичными. Однако, такие параметры как глубина кулирования, число рабо-

тающих игл и усилие оттяжки могут принимать другие значения, чем при вязании трубчатого полотна шириной 40мм, поэтому сначала определим с помощью бинарной причинно-следственной теории информации влияние этих параметров на ширину полотна, а затем с помощью ризоматического метода исследования определим значения этих параметров для выработки полотен заданных ширин.

**ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3**

1. Рассчитано число кручений нити при сходе с катушки, которое может влиять на дефектность полотна.
2. Разработан метод расчёта параметров металлического трикотажа при помощи нелинейной теории деформирования упругой нити.
3. На основании анализа фотографий структур трикотажа, полученных при разных условиях сматывания, определены направления сматывания металлической нити с катушек относительно движения цилиндра. Фотографии выполнены с помощью электронного диагностического комплекса Диаморф.
4. Экспериментальная оценка дефектности трубчатого полотна из металлической нити показала, что на дефектность полотна наибольшее влияние оказывают качество используемой нити и изменение усилия оттяжки полотна.
5. На основании разрывных характеристик полотен, полученных на разрывной машине “Instron”, установлено, что влияние крутки нити, образующееся в процессе петлеобразования, отсутствует.

## 4 ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЯЗАНИЯ МЕТАЛЛОТРИКОТАЖНОГО ТРУБЧАТОГО ПОЛОТНА

Результатом процесса переработки металлической нити на трикотажной машине является трубчатое трикотажное полотно заданной ширины, выработанное при соответствующих параметрах полотна: петельном шаге  $A$ , высоте петли  $B$ , ширине головки остова петли  $\Pi$  и длине нити в петле  $l$ .

Из всех указанных выходных параметров  $A$ ,  $B$ ,  $l$  и  $\Pi$  процесса, на ширину полотна влияет только петельный шаг  $A$ , причём с увеличением  $A$  при одинаковом числе работающих игл пропорционально будет увеличиваться и ширина полотна.

Все остальные параметры трикотажа определяют структуру и свойства полотна.

Выходные параметры  $A$ ,  $B$ ,  $l$  и  $\Pi$  невозможно регулировать и они зависят от выполняемого процесса, имеющего свои параметры: глубину кулирования  $h_k$ , число работающих игл  $I$ , усилие оттяжки  $q$  и натяжение подаваемой нити  $T$ . Эти параметры являются входными параметрами процесса вязания.

### 4.1 Исследование изменения петельного шага в зависимости от основных факторов

Для того, чтобы иметь возможность прогнозировать получение полотна заданной ширины, выполним исследование зависимости основного параметра полотна- петельного шага  $A$ , от которого в свою очередь напрямую зависит ширина полотна, от основных входных факторов: глубины кулирования  $h_k$ , числа работающих игл  $I$ , усилия оттяжки  $q$ .

Для исследования закономерностей изменения петельного шага  $A$ , а, следовательно, и ширины полотна, было выработано 16 образцов полотен на кругловязальной машине “Свит” 2  $\frac{3}{4}$ ”, 14 класса, из металлической нити диаметром 0,05 мм в два конца.

Значения учитываемых факторов для полученных образцов сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Значения учитываемых факторов для полученных образцов

№ образца	И	$h_k$	q	A
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	r <sub>4</sub>
1	120	1,5	23	0,66
2	120	1,5	22	0,75
3	120	1,6	24	0,70
4	120	1,6	23	0,80
5	60	1,8	20	1,33
6	60	1,9	20	1,45
7	60	1,9	21	1,30
8	60	1,8	21	1,20
9	40	2,1	15	2,00
10	40	2,1	14,5	1,90
11	40	2,2	15,5	2,05
12	40	2,2	14,5	2,10
13	30	2,5	9	2,67
14	30	2,5	8	2,80
15	30	2,6	11	2,70
16	30	2,6	10	2,75

Теперь установим степень непосредственного влияния факторов: глубины кулирования  $h_k$ , числа работающих игл И и усилия оттяжки q на петельный шаг A.

Для установки зависимости между входными факторами и степенями их влияния на выходной фактор, воспользуемся бинарной причинно-следственной теорией информации.

Важнейшим недостатком наиболее известных и широко распространённых методов исследования влияния факторов друг на друга, являются так называемые “эффекты сопутствия” входных параметров процесса [1.15], представляющие из себя не что иное, как неизвестные, не поддающиеся детальному контролю и тон-

кой регулировке факторы, косвенно влияющие на процесс, зачастую в малой степени, но в совокупности искажающие истинные результаты исследования. К таким методам исследования можно отнести корреляционный анализ [1.22] и планирование эксперимента [1.23]. Достоверные результаты при проведении исследований упомянутыми методами можно получить лишь при соблюдении идеальных условий проведения эксперимента и при вариации исследуемых факторов в строго обозначенных пределах, чего можно добиться в лабораторных, но не производственных условиях.

В последние годы, в определённом количестве научных работ, проводимых в МГУДТ, появилась тенденция использования бинарной причинно-следственной теории информации [3.4; 3.5], основанной на предпосылках Шеннона [1.16] для определения взаимосвязи и влияния различных параметров друг на друга. Использование такого метода исследования позволяет автоматизировать метод расчёта, идентифицировать исследуемые факторы и устранять упомянутые выше “эффекты сопутствия”.

Для прогнозирования поведения системы исследования во всём своём многообразии возможных вариантов и ситуаций, необходимо построение количественной теории информации, являющей собой установление внутренней причинно-следственной структуры рассматриваемого процесса. Такая структура должна состоять не только из эмпирической информации и обоснованных теоретических заключений о характере и механизмах связей между исследуемыми факторами, но и, вдобавок ко всему, необходимо применить диаграммную технику причинного анализа. Тем самым, такой метод в совокупности предоставит возможность оценить количественно интенсивность причинных воздействий между различными факторами.

Ниже представим сначала расчёты: величин энтропии  $H_i$  распределения вероятностей для одномерных случайных величин, величину информации  $I_{ij}$  между  $i$ -ым и  $j$ -ым факторами и коэффициент причинного влияния  $\Gamma_{ij}$   $j$ -ого фактора на  $i$ -ый.

$$H_i = \sum_1^K P(X_{ki}) \log_2 P(X_{ki})$$

$H_i$  указывает направленность связей между исследуемыми факторами

$$H_1 = -16(0,25 \lg 0,25) = 2,408$$

$$H_2 = -16(0,125 \lg 0,125) = 1,806$$

$$H_3 = -8(0,125 \lg 0,125) - 8(0,0625 \lg 0,0625) = 1,505$$

$$H_4 = -16(0,0625 \lg 0,0625) = 1,204$$

При расчёте  $H_i$  использованы для удобства десятичные логарифмы, а не логарифмы с основанием 2, что не влияет на конечный итог, а коэффициенты причинного влияния при этом не изменяются.

Из анализа полученных данных определяем направление причинно-следственных связей, которые покажем на рисунке 4.1.

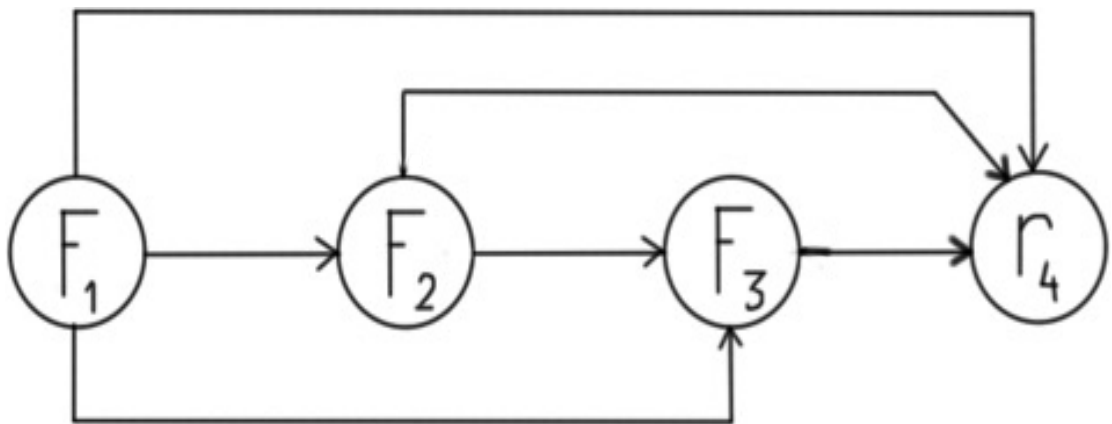


Рисунок 4.1- направление причинно-следственных связей

Затем определим  $I_{ijp} = I_{ij}$

$$I_{ij} = \sum_1^{k,r} P(X_{kij} * X_{rij}) \log_2 \frac{P(X_{ki}, X_{ri})}{P(X_{ki})P(X_{ri})}$$

$$I_{14} = I_{41} = 16 \left( \frac{0,0625 \lg 0,0625}{0,25 * 0,0625} \right) = 0,602$$

$$I_{24} = I_{42} = 16 \left( \frac{0,0625 \lg 0,0625}{0,125 * 0,0625} \right) = 0,903$$

$$I_{34} = I_{43} = 8 \left( \frac{0,0625 \lg 0,0625}{0,125 * 0,0625} \right) + 8 \left( \frac{0,0625 \lg 0,0625}{0,0625 * 0,0625} \right) = 1,054$$

$$I_{13} = I_{31} = 8 \left( \frac{0,125 \lg 0,125}{0,25 * 0,125} \right) + 8 \left( \frac{0,0625 \lg 0,0625}{0,25 * 0,0625} \right) = 0,903$$

$$I_{12} = I_{21} = 16 \left( \frac{0,125 \lg 0,125}{0,25 * 0,125} \right) = 1,204$$

$$I_{23} = I_{32} = 8 \left( \frac{0,0625 \lg 0,0625}{0,125 * 0,125} \right) + 8 \left( \frac{0,0625 \lg 0,0625}{0,0625 * 0,125} \right) = 0,753$$

При расчётах логарифм с основанием 2, также заменен на десятичный.

Парные коэффициенты согласно формуле:

$$\Gamma_{ij} = \frac{I_{ij}}{x_i}$$

$$\Gamma_{41} = 0,602 / 2,408 = 0,25$$

$$\Gamma_{43} = 1,054 / 1,505 = 0,7$$

$$\Gamma_{21} = 1,204 / 2,408 = 0,5$$

$$\Gamma_{42} = 0,903 / 1,806 = 0,5$$

$$\Gamma_{31} = 0,903 / 2,408 = 0,375$$

$$\Gamma_{32} = 0,753 / 1,806 = 0,417$$

Для нахождения частных коэффициентов причинного влияния решим замкнутую систему нелинейных относительно  $g_i$  алгебраических уравнений



$$\Gamma_{41} = g_{41} + g_{21}g_{42} + g_{21}g_{32}g_{43} + g_{31}g_{43};$$

$$\Gamma_{42} = g_{42} + g_{32}g_{43};$$

$$\Gamma_{43} = g_{43};$$

$$\Gamma_{31} = g_{31} + g_{21}g_{32};$$

$$\Gamma_{32} = g_{32};$$

$$\Gamma_{21} = g_{21}.$$

Решение этих уравнений даёт следующие результаты:

$$g_{41} = 0,133$$

$$g_{42} = 0,208$$

$$g_{43} = 0,7$$

$$g_{31} = 0,166$$

$$g_{32} = 0,417$$

$$g_{21} = 0,5$$

Значения коэффициентов  $g_{ij}$  и  $\Gamma_{ij}$ , полученные при исследовании сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 - Значения коэффициентов  $g_{ij}$  и  $\Gamma_{ij}$

Направление связи	$\Gamma_{ij}$	$g_{ij}$	$\Gamma_{ij} - g_{ij}$
1 → 2	0,5	0,5	0
1 → 3	0,375	0,166	0,209
1 → 4	0,25	0,133	0,117
2 → 3	0,417	0,417	0
3 → 4	0,7	0,7	0
2 → 4	0,5	0,208	0,292

Проанализировав значения полученных коэффициентов  $g_{ij}$ , справедливо сделать вывод, что на петельный шаг получаемого трикотажного полотна А, а, следовательно, и на ширину полотна, вырабатываемого из металлических нитей, наибольшее влияние оказывает параметр  $q$  – величина усилия оттяжки полотна

( $g_{34}=0,7$ ). Также, на петельный шаг оказывают влияние параметры:  $h_k$  – глубина кулирования ( $g_{24}=0,208$ ) и количество работающих игл в цилиндре И ( $g_{14}=0,133$ ). Глубина кулирования и количество работающих игл оказывают существенно меньшее влияние на петельный шаг трикотажа А. Другими словами, связи  $h_k \rightarrow A$  и  $И \rightarrow A$  оказывают, соответственно, в 3,5 и 5 раз меньшее влияние, нежели связь  $q \rightarrow A$ .

## 4.2 Ризоматический метод исследования

Для определения закономерностей влияния важнейших факторов процесса вязания металлотрикотажного трубчатого полотна друг на друга и воздействия неизвестных факторов, напрямую или косвенно оказывающих влияние на процесс производства технического трикотажного полотна и точного прогнозирования желаемых результатов на входе или выходе, было необходимо найти способ одновременно управлять множеством параметров различной размерности.

Таким способом является ризоматический метод исследования, широко используемый Шарковым В. Ф. [2.4], согласно которому необходимо построить N-мерную численную матрицу для расчёта оптимального пути развития в пространстве, содержащем большое количество переменных факторов. Данный способ применяется для многофакторной оптимизации в том смысле, что факторы здесь могут иметь абсолютно разную природу и размерность.

Для более чёткого понимания поставленной цели и способа её достижения, ниже приведена графическая запись процесса вязания.

При выработке, трикотажное полотно из металлической нити должно иметь определённые выходные параметры: ширину петли А, высоту петли В, ширину полотна Ш и длину петли l.

На получение заданных параметров влияют ряд входных факторов (рисунок 4.2) процесса, которые могут регулироваться.

Факторы, влияющие на выходные параметры процесса:

T – входное натяжение нити;

$h_k$  – глубина кулирования;

$q$  – усилие оттяжки;

$I$  – число работающих игл, зависящее от раппорта прокладывания нити.

Также, помимо входных и выходных параметров процесса, закладываются случайные факторы или так называемые ошибки, которые также в свою очередь оказывают непосредственное влияние на процесс:

$\eta_1$  и  $\eta_2$  – ошибки, вносимые при наладке процесса.

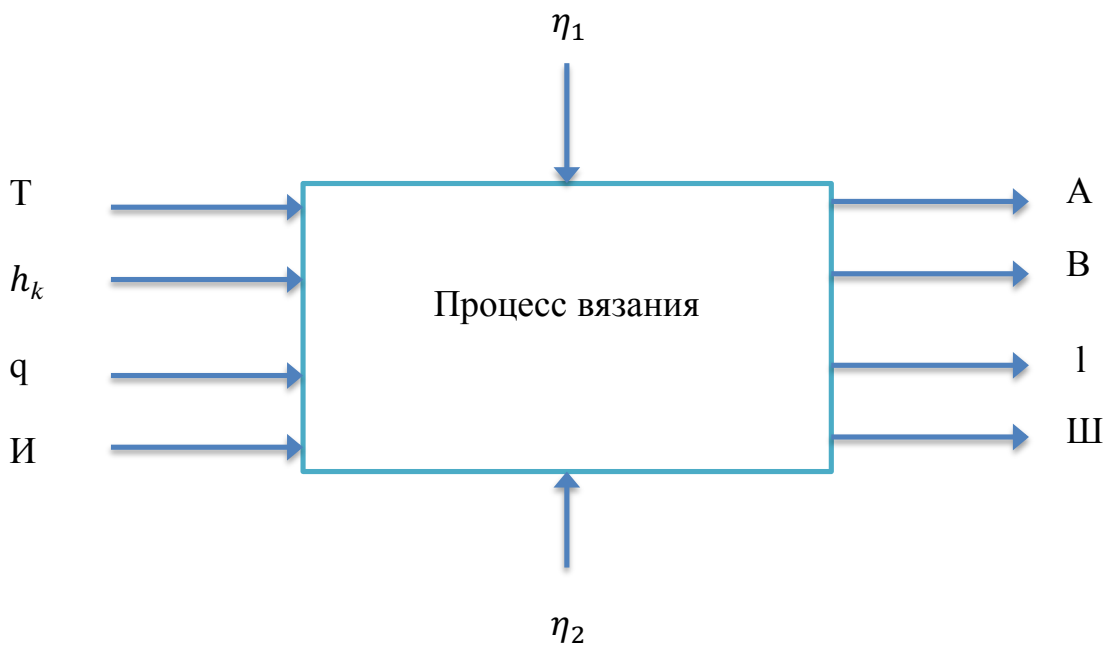


Рисунок 4.2 - схематическое изображение процесса вязания

Проанализировав процесс вязания металлической нити на трикотажной машине, видим, что на входе и выходе имеются различные состояния одного и того же материала- металлической нити. С заданными параметрами на входе и получении необходимых выходных данных трикотажного полотна, образованного из имеющейся нити. Это приводит процесс к решению использования ризоматической логики с применением квадратических невырожденных матриц, позволяющих обратить матрицу для регулирования входных и выходных параметров.

Считаем, что на входе вектор-строка имеет размерность четыре. Матрица  $P$ , описывающая процесс ризоматического исследования, имеет размерность четыре на четыре, с элементами, соответствующими параметрам процесса вязания. На

выходе имеем соответственно вектор-строку, с элементами полученными в результате матричного умножения. Элементы вектора-строки ( на входе) являются независимыми между собой и подвержены наличию случайных факторов, то есть представляют собой интервальный параметр, зависящий от внешних условий и наладки, то есть вектор неоднозначен, что приводит к рассмотрению многомерной задачи- задачи ризоматического исследования.

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{pmatrix}$$

$|P| \neq 0$ , то есть невырождена

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

Согласно постулату ризоматического метода исследования, на выходе могут быть зависимые элементы, что у нас и наблюдается. Это даёт дополнительное искажение выходных данных, что в свою очередь даёт возможность продолжить их матричные представления. Следует отметить, что часть элементов матрицы P могут быть нулевыми.

Итак:

$$(T; h_k; q; И) \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{pmatrix} =$$

$$\begin{aligned} & ((TP_{11} + h_k P_{21} + qP_{31} + IP_{41}); (TP_{12} + h_k P_{22} + qP_{32} + IP_{42}); (TP_{13} + h_k P_{23} \\ & + qP_{33} + IP_{43}); (TP_{14} + h_k P_{24} + qP_{34} + IP_{44})) \end{aligned}$$

Так как матрица имеет 16 неизвестных элементов, нами было предложено использовать трансформацию матрицы [1.20], а именно в начале определить элементы первого столбца, так как у нас есть возможность провести четыре эксперимента, имея входные и выходные данные. В результате получаем четыре системы линейных уравнений с шестнадцатью неизвестными, из которых первая система – элементы первого столбца, вторая система – элементы второго столбца, третья система – элементы третьего столбца и четвёртая система – элементы четвёртого столбца. Каждая из систем решается изолированно, в то же время подчиняясь правилам ризоматической логики, они группируются далее в одну матрицу  $P$ . Решение данных систем возможно как методом Крамера [1.17], так и Гаусса [1.18], что даёт возможность использовать стандартную программу. Полученная матрица  $P$  целиком и полностью определяет процесс, причём она позволяет определить не только зависимости выходных параметров трикотажа от входных параметров процесса, но и, воспользовавшись элементами высшей алгебры, можно решить и обратную задачу, то есть, зная необходимые параметры полотна на выходе, уже специально определить входные параметры процесса.

$$A = TP_{11} + h_k P_{21} + qP_{31} + IP_{41}$$

$$B = TP_{12} + h_k P_{22} + qP_{32} + IP_{42}$$

$$I = TP_{13} + h_k P_{23} + qP_{33} + IP_{43}$$

$$Ш = TP_{14} + h_k P_{24} + qP_{34} + IP_{44}$$

Как уже было сказано выше, было проведено шестнадцать экспериментов, в ходе которых были заданы входные параметры процесса и получены выходные параметры трикотажа. Ниже приведена сводная таблица четырёх результатов экспериментов ( таблица 4.3)

Таблица 4.3 – сводная таблица результатов экспериментов

		Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4
Входные параметры	А, мм	1,16	1,36	2,0	2,2
	В, мм	1,6	1,8	2,1	2,5
	l, мм	5,3	6,2	7,6	9,2
	Ш, мм	0,7	0,75	0,75	0,75
Выходные параметры	Т, Н	0,1	0,08	0,06	0,06
	$h_k$ , мм	1,5	1,8	2,1	2,5
	q, Н	23	20	15	9
	И, игл	120	60	40	30

Далее, каждое из полученных уравнений в соответствии с четырьмя вариантами значений исследований, было записано как система уравнений, то есть сначала для параметра А, затем для параметра В и т.д.

$$\begin{aligned}
 A_1 &= T_1 P_{11} + h_{k_1} P_{21} + q_1 P_{31} + I_1 P_{41} \\
 A_2 &= T_2 P_{11} + h_{k_2} P_{21} + q_2 P_{31} + I_2 P_{41} \\
 A_3 &= T_3 P_{11} + h_{k_3} P_{21} + q_3 P_{31} + I_3 P_{41} \\
 A_4 &= T_4 P_{11} + h_{k_4} P_{21} + q_4 P_{31} + I_4 P_{41}
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

Запишем систему уравнений 4.1 в числовом виде и решим методом Гаусса [6.17]

$$1,16 = 0,1P_{11} + 1,5P_{21} + 23P_{31} + 120P_{41}$$

$$1,36 = 0,08P_{11} + 1,8P_{21} + 20P_{31} + 60P_{41}$$

$$2,0 = 0,06P_{11} + 2,1P_{21} + 15P_{31} + 40P_{41}$$

$$2,2 = 0,06P_{11} + 2,5P_{21} + 9P_{31} + 30P_{41}$$

То же самое сделаем с каждым входным параметром:

$$B_1 = T_1P_{11} + h_{k_1}P_{21} + q_1P_{31} + И_1P_{41}$$

$$B_2 = T_2P_{11} + h_{k_2}P_{21} + q_2P_{31} + И_2P_{41} \quad (4.2)$$

$$B_3 = T_3P_{11} + h_{k_3}P_{21} + q_3P_{31} + И_3P_{41}$$

$$B_4 = T_4P_{11} + h_{k_4}P_{21} + q_4P_{31} + И_4P_{41}$$

Запишем 4.2 в числовом виде :

$$1,6 = 0,1P_{11} + 1,5P_{21} + 23P_{31} + 120P_{41}$$

$$1,8 = 0,08P_{11} + 1,8P_{21} + 20P_{31} + 60P_{41}$$

$$2,1 = 0,06P_{11} + 2,1P_{21} + 15P_{31} + 40P_{41}$$

$$2,5 = 0,06P_{11} + 2,5P_{21} + 9P_{31} + 30P_{41}$$

Система уравнений для параметра  $l$  будет иметь вид:

$$l_1 = T_1P_{11} + h_{k_1}P_{21} + q_1P_{31} + И_1P_{41}$$

$$l_2 = T_2P_{11} + h_{k_2}P_{21} + q_2P_{31} + И_2P_{41} \quad (4.3)$$

$$l_3 = T_3P_{11} + h_{k_3}P_{21} + q_3P_{31} + И_3P_{41}$$

$$l_4 = T_4P_{11} + h_{k_4}P_{21} + q_4P_{31} + И_4P_{41}$$

Запишем 4.3 в числовом виде :

$$\begin{aligned} 5,3 &= 0,1P_{11} + 1,5P_{21} + 23P_{31} + 120P_{41} \\ 6,2 &= 0,08P_{11} + 1,8P_{21} + 20P_{31} + 60P_{41} \\ 7,6 &= 0,06P_{11} + 2,1P_{21} + 15P_{31} + 40P_{41} \\ 9,2 &= 0,06P_{11} + 2,5P_{21} + 9P_{31} + 30P_{41} \end{aligned}$$

Система уравнений для параметра Ш будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \text{Ш}_1 &= T_1 P_{11} + h_{k_1} P_{21} + q_1 P_{31} + \text{И}_1 P_{41} \\ \text{Ш}_2 &= T_2 P_{11} + h_{k_2} P_{21} + q_2 P_{31} + \text{И}_2 P_{41} \\ \text{Ш}_3 &= T_3 P_{11} + h_{k_3} P_{21} + q_3 P_{31} + \text{И}_3 P_{41} \\ \text{Ш}_4 &= T_4 P_{11} + h_{k_4} P_{21} + q_4 P_{31} + \text{И}_4 P_{41} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Запишем 4.4 в числовом виде

$$\begin{aligned} 0,7 &= 0,1P_{11} + 1,5P_{21} + 23P_{31} + 120P_{41} \\ 0,75 &= 0,08P_{11} + 1,8P_{21} + 20P_{31} + 60P_{41} \\ 0,75 &= 0,06P_{11} + 2,1P_{21} + 15P_{31} + 40P_{41} \\ 0,75 &= 0,06P_{11} + 2,5P_{21} + 9P_{31} + 30P_{41} \end{aligned}$$

Решение четырёх систем уравнений сведены в таблице 4.4:

Таблица 4.4 – Значения решений четырёх систем уравнений для параметров А, В, l, Ш.

	А	В	l	Ш
x <sub>1</sub>	-33,51	-1,4	-16,77	-0,18
x <sub>2</sub>	1,39	1,02	4,01	0,25
x <sub>3</sub>	0,038	-0,00288	-0,019	0,017
x <sub>4</sub>	0,013	0,00236	0,012	-0,000393



Запишем решения в виде матрицы:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -33,51 & -1,4 & -16,77 & -0,18 \\ 1,39 & 1,02 & 4,01 & 0,25 \\ 0,038 & -0,00288 & -0,019 & 0,017 \\ 0,013 & 0,00236 & 0,012 & -0,000393 \end{pmatrix}$$

$$(T; h_k; q; И) * \begin{pmatrix} -33,51 & -1,4 & -16,77 & -0,18 \\ 1,39 & 1,02 & 4,01 & 0,25 \\ 0,038 & -0,00288 & -0,019 & 0,017 \\ 0,013 & 0,00236 & 0,012 & -0,000393 \end{pmatrix}$$

Используя матрицу  $P$ , можно записать систему уравнений 4.5

$$A = TP_{11} + h_k P_{21} + qP_{31} + IP_{41} = -33,51T + 1,39h_k + 0,038q + 0,013И$$

$$B = TP_{12} + h_k P_{22} + qP_{32} + IP_{42} = -1,4T + 1,02h_k - 0,00288q + 0,00236И$$

$$I = TP_{13} + h_k P_{23} + qP_{33} + IP_{43} = -16,77T + 4,01 - 0,019q + 0,012И$$

$$Ш = TP_{14} + h_k P_{24} + qP_{34} + IP_{44} = -0,18T + 0,25h_k + 0,017q - 0,000393И$$

Пользуясь системой уравнений 4.5, задаваясь входными параметрами процесса, можно определить выходные параметры трикотажа  $A, B, I, Ш$ .

Для построения обратной матрицы, во-первых необходимо вычислить величину определителя и доказать, что она отлична от нуля. Нами это было проделано. Далее, также используем два метода построения обратной матрицы – классический и метод присоединённой матрицы. По классическому методу, необходимо для каждого элемента матрицы  $P$  найти его алгебраические дополнения, что не представляет труда, так как алгебраическое дополнение содержит в себе определитель порядка три, вычисляемый стандартным методом. Далее, транспонируем полученный результат и делим каждый элемент на определитель основной матрицы  $P$ . В случае присоединённой матрицы, записываем совместно с матрицей  $P$

единичную матрицу порядка четыре и, с помощью преобразования, меняем их местами, далее также используем метод Гаусса.

Сравнительный анализ построенных обратных матриц и проверка умножением на прямую матрицу, в результате чего получается единичная матрица, доказывает справедливость наших построений.

$$(A, B, l, \text{Ш}) = (T, h_k, q, \text{И}) * P^{-1}$$

Построение обратной матрицы  $P^{-1}$  не представляет сложности и ещё раз приводит задачу к постановке ризоматическим методом, то есть процесс замкнут.

Обратная матрица имеет ту же размерность, элементы подсчитываются, запишем её в виде

$$P^{-1} = R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \end{pmatrix}$$

$$T = Ar_{11} + Br_{21} + lr_{31} + \text{Ш}r_{41}$$

$$h_k = Ar_{12} + Br_{22} + lr_{32} + \text{Ш}r_{42}$$

$$q = Ar_{13} + Br_{23} + lr_{33} + \text{Ш}r_{43}$$

$$\text{И} = Ar_{14} + Br_{24} + lr_{34} + \text{Ш}r_{44}$$

Далее, каждое из полученных уравнений в соответствии с четырьмя вариантами значений исследований, было записано как система уравнений, то есть сначала для параметра  $T$ , затем для параметра  $h_k$  и т.д.

$$T_1 = A_1r_{11} + B_1r_{21} + l_1r_{31} + \text{Ш}_1r_{41}$$

$$T_2 = A_2r_{11} + B_2r_{21} + l_2r_{31} + \text{Ш}_2r_{41} \quad (4.6)$$

$$T_3 = A_3r_{11} + B_3r_{21} + l_3r_{31} + \text{Ш}_3r_{41}$$

$$T_4 = A_4r_{11} + B_4r_{21} + l_4r_{31} + \text{Ш}_4r_{41}$$

Запишем 4.6 в числовом виде:

$$\begin{aligned}
 0,1 &= 1,16r_{11} + 1,6r_{21} + 5,3r_{31} + 0,7r_{41} \\
 0,08 &= 1,36r_{11} + 1,8r_{21} + 6,2r_{31} + 0,75r_{41} \\
 0,06 &= 2,0r_{11} + 2,1r_{21} + 7,6r_{31} + 0,75r_{41} \\
 0,06 &= 2,2r_{11} + 2,5r_{21} + 9,2r_{31} + 0,75r_{41}
 \end{aligned}$$

Система уравнений для параметра  $h_k$  будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 h_{k_1} &= A_1r_{11} + B_1r_{21} + l_1r_{31} + \text{Ш}_1r_{41} \\
 h_{k_2} &= A_2r_{11} + B_2r_{21} + l_2r_{31} + \text{Ш}_2r_{41} \\
 h_{k_3} &= A_3r_{11} + B_3r_{21} + l_3r_{31} + \text{Ш}_3r_{41} \\
 h_{k_4} &= A_4r_{11} + B_4r_{21} + l_4r_{31} + \text{Ш}_4r_{41}
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

Запишем 4.7 в числовом виде:

$$\begin{aligned}
 1,5 &= 1,16r_{11} + 1,6r_{21} + 5,3r_{31} + 0,7r_{41} \\
 1,8 &= 1,36r_{11} + 1,8r_{21} + 6,2r_{31} + 0,75r_{41} \\
 2,1 &= 2,0r_{11} + 2,1r_{21} + 7,6r_{31} + 0,75r_{41} \\
 2,5 &= 2,2r_{11} + 2,5r_{21} + 9,2r_{31} + 0,75r_{41}
 \end{aligned}$$

Система уравнений для параметра  $q$  будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 q_1 &= A_1r_{11} + B_1r_{21} + l_1r_{31} + \text{Ш}_1r_{41} \\
 q_2 &= A_2r_{11} + B_2r_{21} + l_2r_{31} + \text{Ш}_2r_{41} \\
 q_3 &= A_3r_{11} + B_3r_{21} + l_3r_{31} + \text{Ш}_3r_{41} \\
 q_4 &= A_4r_{11} + B_4r_{21} + l_4r_{31} + \text{Ш}_4r_{41}
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

Запишем 4.8 в числовом виде:

$$\begin{aligned} 23 &= 1,16r_{11} + 1,6r_{21} + 5,3r_{31} + 0,7r_{41} \\ 20 &= 1,36r_{11} + 1,8r_{21} + 6,2r_{31} + 0,75r_{41} \\ 15 &= 2,0r_{11} + 2,1r_{21} + 7,6r_{31} + 0,75r_{41} \\ 9 &= 2,2r_{11} + 2,5r_{21} + 9,2r_{31} + 0,75r_{41} \end{aligned}$$

Система уравнений для параметра  $I$  будет иметь вид:

$$\begin{aligned} I_1 &= A_1r_{11} + B_1r_{21} + l_1r_{31} + \text{Ш}_1r_{41} \\ I_2 &= A_2r_{11} + B_2r_{21} + l_2r_{31} + \text{Ш}_2r_{41} \\ I_3 &= A_3r_{11} + B_3r_{21} + l_3r_{31} + \text{Ш}_3r_{41} \\ I_4 &= A_4r_{11} + B_4r_{21} + l_4r_{31} + \text{Ш}_4r_{41} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Запишем 4.9 в числовом виде:

$$\begin{aligned} 120 &= 1,16r_{11} + 1,6r_{21} + 5,3r_{31} + 0,7r_{41} \\ 60 &= 1,36r_{11} + 1,8r_{21} + 6,2r_{31} + 0,75r_{41} \\ 40 &= 2,0r_{11} + 2,1r_{21} + 7,6r_{31} + 0,75r_{41} \\ 30 &= 2,2r_{11} + 2,5r_{21} + 9,2r_{31} + 0,75r_{41} \end{aligned}$$

Решение четырёх систем уравнений сведены в таблице 4.5:

Таблица 4.5 – Значения решений четырёх систем уравнений для параметров  $T$ ,  $h_k$ ,  $q$ ,  $I$ .

	$T$	$h_k$	$q$	$I$
$x_1$	0,026	-0,29	-4,52	152,16
$x_2$	0,64	-1,74	127,94	1640,12
$x_3$	-0,16	0,72	-28,92	-435,3
$x_4$	-0,13	1,14	-33,12	-533,73

Запишем решения в виде матрицы:

$$P^{-1} = R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0,026 & -0,29 & -4,52 & 152,16 \\ 0,64 & -1,74 & 127,94 & 1640,12 \\ -0,16 & 0,72 & -28,92 & -435,3 \\ -0,13 & 1,14 & -33,12 & -533,73 \end{pmatrix}$$

Используя матрицу  $P$ , можно записать систему уравнений 4.10

$$T = Ar_{11} + Br_{21} + lr_{31} + Шr_{41} = 0,026A + 0,64B - 0,16l - 0,13Ш$$

$$h_k = Ar_{12} + Br_{22} + lr_{32} + Шr_{42} = -0,29A - 1,74B + 0,72l + 1,14Ш$$

$$q = Ar_{13} + Br_{23} + lr_{33} + Шr_{43} = -4,52A + 127,94B - 28,92l - 33,12Ш$$

$$И = Ar_{14} + Br_{24} + lr_{34} + Шr_{44} = 152,16A + 1640,12B - 435,3l - 533,73Ш$$

Примененный метод ризоматического исследования позволил решить прямую и обратную задачи со сложными взаимодействиями, что не допускает классический подход, при котором вектора линейны и не замкнуты, ризоматический метод позволил расширить понятия за счёт использования нелинейных векторов и замкнутых процессов.

Используя уравнения системы 4.10, рассчитаем входные параметры процесса для получения трубок шириной 13, 60 и 100 мм. Полученные данные внесём в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 - Параметры трикотажа и входные параметры процессов

Параметры	Ширина трубок, мм			
	13	40	60	100
А, мм	0,65	2	3	2,6
В, мм	2,48	2,11	2,42	2,85
l, мм	8,6	7,6	9,1	10,6
Ш, мм	0,7	0,75	0,8	0,75
Т, Н	0,12	0,09	0,11	0,09
h <sub>к</sub> , мм	2,45	2,1	2,1	2,8
q, Н	40	15	18,28	21,4
И, игл	48	40	49	81

По полученным параметрам процесса ( таблица 4.6) были наработаны трубчатые полотна малого диаметра из металлической нити диаметром 0,05 мм в два конца. Трубчатые полотна шириной 13 мм, 40 мм, 60 мм вырабатывались на машине “Свит” диаметром 2 <sup>3</sup>/<sub>4</sub>” 14 класса при работе каждой третьей иглы, а шириной 100 мм на машине 3 <sup>1</sup>/<sub>2</sub>” 14 класса при работе каждой второй иглы, но с числом работающих игл, равным 78.

По параметрам наработанных полотен определим площади заливки клея при соединении пластиковых труб с металлическими стержнями.

### **4.3 Оценка площади заливки клея при соединении пластиковых труб с металлическими стержнями**

Выработанные трубчатые полотна разных диаметров, надеваемые на металлические стержни диаметрами: 10, 40, 60 и 100 мм, имеют структуру глади с отличающимися параметрами А и В.

Для того, чтобы эти полотна имели близкие по свойствам структуры и, после соединения со стержнями, обладали бы практически одинаковыми тепло- и

электропроводностями мест соединения, площади заливки клея на единицу соединяемой площади должны быть одинаковыми или близкими.

Произведём оценку единицы площади заливки петли клеём при разной общей площади соединяемых поверхностей.

Площадь клеевой поверхности ячейки трикотажа  $S_k$  равна

$$S_k = A_p B_p - 2ld_n, \quad (4.11)$$

где  $d_n$  – диаметр металлической нити;

$A_p$  – петельный шаг растянутого трикотажа;

$B_p$  – высота петельного ряда растянутого трикотажа;

$l$  – длина нити в петле.

Число ячеек трикотажа по окружности трубки равно числу работающих игл  $I_p$ .

Площадь контакта одного петельного ряда по окружности  $S_{ок}$  равна

$$S_{ок} = S_k I_p$$

Число рядов  $R_{ок}$  на участке склеивания равно

$$R_{ок} = \frac{L}{B_p},$$

где  $L$  – длина трубчатого полотна после надевания на стержень.

Площадь заливки клея  $S$  на участке склеивания деталей:

$$S = S_k I_p R_{ок}, \quad (4.12)$$

Заменим  $S_k$  в формуле 4.12 на формулу 4.11 и получим:

$$S = (A_p B_p - 2ld_n) I_p R_{ок}, \quad (4.13)$$

В свою очередь, общая площадь участка склеивания  $S_o$  равна

$$S_o = A_p B_p I_p R_{ок}, \quad (4.14)$$

Зная площадь участков заливки клея  $S$  и общую площадь склеивания  $S_o$ , определим процент заливаемой площади  $\Pi_p$

$$\Pi_p = \frac{S100}{S_o} \%, \quad (4.15)$$

Подставив формулы 4.13 и 4.14 в формулу 4.15, получим

$$\begin{aligned} \Pi_p &= \frac{(A_p B_p - 2l_\phi d_n) I_p R_{ок} 100}{A_p B_p I_p R_{ок}} = \frac{A_p B_p - 2l d_n}{A_p B_p} 100\% \\ &= 100 - \frac{l d_n}{A_p B_p} 200 = \left(1 - \frac{2l d_n}{A_p B_p}\right) 100 \end{aligned}$$

Рассчитаем процент заливаемой площади для разработанных трубчатых полотен шириной 13мм, 40мм, 60мм и 100мм.

Определим параметры растянутого трикотажа  $A_p$  и  $B_p$  после надевания на стержень.

Сначала рассчитаем петельный шаг растянутого трикотажа  $A_p$ , который зависит от диаметра стержня  $D_{ст}$ , на который надевают полотно при числе работающих игл  $I_p$ :

$$A_p = \frac{\pi D_{ст}}{I_p}$$

Затем определим относительное растяжение  $\varepsilon$  трикотажа по ширине для всех выработанных трубчатых полотен (таблица 4.7) при надевании на соответствующие трубки.

$$\varepsilon = \frac{A_p - A}{A} 100\% = \frac{\pi D_{ст} - 2Ш}{2Ш} 100\%,$$

где Ш – ширина трубчатого полотна.

Рассчитав  $\varepsilon$  для разных трубок, внесём их значения в таблицу 4.7.

Зная величину изменения петельного шага, определим высоту петельного ряда  $B_p$  после растяжения трикотажа

$$B_p = \frac{2B - (A_p - A)}{2}, \text{ мм}$$

Таким образом, площадь растянутого прямоугольника  $S_{пр}$ , в который вписывается петля, равна

$$S_{пр} = A_p B_p$$

Рассчитаем площади прямоугольников  $S_{пр}$ , в которые вписывается петля для четырёх выработанных трубчатых полотен и запишем их значения в таблицу



4.7. И, наконец, рассчитаем процент заливаемой площади  $P_p$ , относительное растяжение трикотажа  $\varepsilon$  и коэффициент растяжения  $K_p = \frac{A_p}{A}$ .

Таблица 4.7 – Параметры трикотажных полотен до и после надевания на стержни

Значения параметров трикотажных полотен				
Ширина трубчатого полотна $Ш_{тр}$ , мм	13	40	60	100
Диаметр стержня $Д_{ст}$ , мм	10	40	60	100
Число работающих игл $I_p$	40	40	40	60
Петельный шаг $A$ до надевания на стержень, мм	0,65	2,0	3	2,6
Петельный шаг $A_p$ растянутого трикотажа после надевания на стержень, мм	0,78	3,14	4,71	4,13
Высота петельного ряда $B$ до надевания на стержень, мм	2,48	2,11	2,42	2,85

Продолжение таблицы 4.7 – Параметры трикотажных полотен до и после надевания на стержни

Высота петельного ряда растянутого трикотажа после надевания на трубу $B_p$ , мм	2,42	1,53	1,56	2,08
Длина петли $l_\phi$ , мм	8,1	7,6	9,1	10,6
Величина изменения петельного шага $A_p - A$ , мм	0,13	1,14	1,71	1,53
Процент заливаемой площади ячейки $P_p$ , %	67	84	88	88
Относительное растяжение трикотажа при надевании на стержень, %	21	57	57	57
Коэффициент растяжения трикотажа	1,21	1,57	1,57	1,57

Анализируя таблицу 4.7, видим, что растяжения трубчатых полотен диаметрами 40 мм, 60 мм, 100 мм при надевании на стержни, одинаковые по ширине и составляют 57%, несмотря на то, что площади прямоугольных ячеек растянутых полотен различны для всех трубчатых полотен, но процентное заполнение клеем ячеек составляют 84-88%, то есть разработанные трубчатые полотна шириной 40 мм, 60 мм, 100 мм, будут работать практически одинаково по прочности склеивания, электропроводности и по теплопроводности. Отличие процента заливаемой площади и относительного растяжения трикотажа для трубчатого полотна шириной 13 мм связано с наложением петель в структуре полотна.

Коэффициент растяжения  $K_p$  трубчатого полотна шириной 13 мм отличается от коэффициентов растяжения остальных полотен, но соответствует заданным параметрам технического задания.  $K_p$  для трубчатого полотна шириной 13 мм равен 1,21. Изменение коэффициента растяжения влияет на процент заливаемой площади ячейки. Для полотна шириной 13 мм, процент заливаемой ячейки равен 67%, что удовлетворило потребителя, фирму “Арсенал” (Санкт-Петербург).

Сравним полученные расчётные данные с данными, полученными с помощью прибора Диаморф для расчёта клеевого участка площади петель. Полученные данные сведём в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Сравнение расчётных данных клеевого участка петли с данными, полученными с помощью прибора Диаморф

	Ширина трубчатого полотна $Ш_{тр}$ , мм			
	13	40	60	100
$P_p$ , % ( расчётные дан- ные)	67	84	88	88
$P_p'$ , % ( Диаморф)	65	80	84	84

Анализируя данные таблиц 4.7 и 4.8, видим, что площади заполнения клеем одной ячейки-петли, полученные расчётным путём отличаются от экспериментальных, полученных с помощью современных электронных приборов на 2-5%, что допустимо. Сказанное позволяет сделать вывод, что предложенные расчётные методы могут быть использованы для оценки площадей клеевых участков разрабатываемых структур трикотажа.



Рисунок 4.3 – Нарботанные трубчатые полотна

Используя рассчитанные в таблице 4.2 параметры процессов, были наработаны партии полотен шириной 13 мм, 40 мм, 60 мм, 100 мм (рисунок 4.3) на предприятия “Арсенал” (Санкт-Петербург) и “Информационные спутниковые системы” им. академика М.Ф. Решетнева (Железногорск), где были апробированы и одобрены.

**ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4**

1. Установлено, что основным параметром, влияющим на ширину полотна, является петельный шаг  $A$ , что позволяет его принять за основной выходной параметр исследования.
2. Исследование изменения петельного шага петли  $A$  трикотажа из металлической нити диаметром 0,05мм, в зависимости от количества работающих игл  $I$ , глубины кулирования  $h_k$  и усилия оттяжки  $q$ , выполненное с помощью бинарной причинно-следственной теории информации показало, что на петельный шаг, а, следовательно, на ширину полотна, наибольшее влияние оказывает усилие оттяжки  $q$  ( $g_{34}=0,7$ ).
3. Установлено, что влияние глубины кулирования  $h_k$  на петельный шаг  $A$  в 3,5 раз меньше, чем влияние величины усилия оттяжки  $q$  ( $g_{24}=0,208$ ).
4. Влияние числа работающих игл  $I$  на изменение петельного шага  $A$  в 5 раз меньше, чем влияние величины усилия оттяжки  $q$  и в 1,5 раза меньшее, чем влияние глубины кулирования  $h_k$  ( $g_{14}=0,133$ ).
5. С помощью ризоматического метода исследования, определена закономерность влияния входных факторов процесса  $T$ ,  $h_k$ ,  $q$ ,  $I$  на выходные параметры трикотажа  $A$ ,  $B$ ,  $l$ ,  $\Pi$ .
6. Решена обратная задача зависимости выходных параметров трикотажа на входные параметры.
7. На основании полученных линейных уравнений, определены входные параметры процесса для наработки образцов полотен шириной 13мм, 40мм, 60мм и 100мм.
8. По полученным входным параметрам, наработаны образцы трубчатых полотен малого диаметра заданных ширин.
9. Разработана теория расчёта площадей клеевых участков, обеспечивающих прочность соединений, с учётом площади, занимаемой структурой полотна и площади нити.
10. Сравнение расчётных значений заполнения клеем ячейки петли со значениями, полученными при помощи диагностического комплекса Диаморф, по-

казали, что предложенные расчётные методы могут быть использованы для оценки площадей клеевых участков разрабатываемых структур трикотажа.

11. На основании разработанной технологии, выработаны партии трубчатых полотен шириной 13мм, 40мм, 60мм и 100мм и переданы на предприятия “Арсенал” (Санкт-Петербург) и “Информационные спутниковые системы” им. академика М.Ф. Решетнева (Железногорск), где были одобрены.
12. Для трубчатых полотен шириной 13 мм разработаны изменения технических условий ТУ 340-001-95 (шнур-чулок металлотрикотажный); подана заявка №2015112859/12(020133) от 08.04.2015 г. на полезную модель РФ (кругловязаная металлическая трубка).

**ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ**

1. Разработана технология трубчатого трикотажного полотна малых диаметров из металлических нитей диаметром 0,05мм в два конца, обеспечивающая получение полотен заданных ширин 13мм, 40мм, 60мм при использовании машины, диаметром 2  $\frac{3}{4}$ " 14 класса и ширины 100 мм на машине диаметром 3  $\frac{1}{2}$ " того же класса.
2. Определены параметры расположения нитеводителя, обеспечивающие надёжный захват нити при различном раппорте кладки и обоснованы перетяжка нити и изменение формы петли в процессе петлеобразования.
3. Разработан механизм подачи металлической нити пассивного типа для использования катушек цилиндрической формы и усовершенствован механизм оттяжки, обеспечивающий равномерное регулирование усилия, необходимого при выработке полотен разных ширин.
4. На основании геометрически нелинейной, но физически линейной теории деформирования упругой нити, разработан метод расчёта параметров металлического трикотажа.
5. Определены направления сматывания металлической нити с катушек относительно направления вращения цилиндра, полученные на основании фотографий структур образцов трикотажа, выполненных с помощью электронного диагностического комплекса "Диаморф".
6. С помощью бинарной причинно-следственной теории информации установлено, что наибольшее влияние на ширину полотна оказывает усилие оттяжки, которое в 3,5 раза больше, чем влияние глубины кулирования и в 5 раз больше, чем число пропускаемых игл при вязании.
7. С помощью ризоматического метода исследования, установлена закономерность влияния входных факторов процесса: натяжения подаваемой нити  $T$ , глубины кулирования  $h_k$ , усилия оттяжки  $q$  и числа работающих игл в цилиндре  $I$  на выходные параметры трикотажа: петельный шаг  $A$ , высоту петельного ряда  $B$ , длину нити в петле  $l$ , и ширину

остова петли Ш. Решена обратная задача зависимости выходных параметров трикотажа на входные параметры процесса.

8. На основании разработанной технологии, выработаны партии трубчатых полотен шириной 13мм, 40мм, 60мм и 100мм и переданы на предприятия “Арсенал” (Санкт-Петербург) и “Информационные спутниковые системы” им. академика М.Ф. Решетнева (Железногорск), где были одобрены.
9. Подана заявка №2015112859/12(020133) от 08.04.2015 г. на полезную модель РФ (кругловязаная металлическая трубка).



**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ****Книги:**

- 1.1. Дубровкин С.Д., Гольцман Ш.Л. Монтаж санитарно-технических устройств из полимерных материалов.— Москва: Стройиздат, 1973 г.
- 1.2. Горбов А.М. Секреты мастера, Ремонт сантехники. – Москва, 2006 г. – 114 с.
- 1.3. Назарова М.В., Фефелова Т.Л. Методы и средства исследования технологических процессов ткацкого производства. Учебное пособие. – Волгоград, 2006 г. – 129с.
- 1.4. Гутников С.И., Лазорьяк Б.И., Селезнев А.Н. Стекланные волокна. Учебное пособие для студентов по специальности «Композиционные наноматериалы» . Москва, 2010 г. – 52 с.
- 1.5. Роговин З.А. Основы химии и технологии производства химических волокон. 3-е изд. Т. 1, Москва, 1964 г.
- 1.6. Шалов И.И., Далидович А.С., Кудрявин Л.А. Технология трикотажа. М.: Легпромбытиздат, 1986 г. — 376 с.
- 1.7. Кудрявин Л.А., Шалов И.И. Основы технологии трикотажного производства. Учебное пособие для вузов. — Москва: Легпромбытиздат, 1991 г. — 496 с.
- 1.8. Михайлов К.Д., Харитонов Л.Ф., Гусева А.А.. Технология трикотажа: учебное пособие для текстильных вузов. Москва, 1956 г. – 616 с.
- 1.9. Кудрявин Л. А. и др. Лабораторный практикум по технологии трикотажного производства. Москва: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2002 г. - 432 с.
- 1.10. Биргер И. А., Мавлютов Р. Р. Соппротивление материалов: Учебное пособие.— Москва: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986 г.— 560 с.
- 1.11. Щербаков В.П. Прикладная механика нити. Москва, 2001 г. – 301 с.
- 1.12. Russel Jesse, Cohn Ronald. Принцип суперпозиции. 2012 г. – 84 с.
- 1.13. Щербаков В.П. Прикладная и структурная механика волокнистых материалов: Монография. – Москва, 2013 г. – 304 с.
- 1.14. Немченко Э.А.и др. Свойства химических волокон и методы их определения. Москва, 1973г. - 216 с.

- 1.15. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. – Москва: Легкая индустрия, 1980 г. – 392 с.
- 1.16. Николаев С.Д., Мартынова А.А., Юхин С.С., Власова Н.А. Методы и средства исследования технологических процессов в ткачестве. – Москва, 2003 г. - 336 с.
- 1.17. Мальцев А. И. Основы линейной алгебры. — Изд. 3-е, перераб., Москва: «Наука», 1970 г. — 400 с.
- 1.18. Ильин В. А., Позняк Э. Г. Линейная алгебра: Учебник для вузов. — 6-е изд., стер. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004 г. — 280 с.
- 1.19. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. Москва, 1970 г. – 103 с.
- 1.20. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров, Москва, 1984 г. – 831 с.
- 1.21. Бехтерев П. Аналитическое исследование обобщенного закона Гука., Москва, 1921 г. – 154 с.
- 1.22. Куликов Е.И. Прикладной статистический анализ, Москва, 2008 г. - 464 с.
- 1.23. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов., Москва, 1981 г.
- 1.24. Стёпин П.А. Сопротивление материалов., Москва, 1988 г.
- 1.25. Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин, Ленинград, 1980 г. – 472 с.

#### **Статьи:**

- 2.1. Спиридонов В.А. Перспективы строительства кабельных сетей с использованием пластиковых труб. - Технологии и Средства Связи №2. - 2009 г.
- 2.2. Чарльз Лебер. Микроскопическая сетка поможет понять, как работает мозг. // “Nature Nanotechnology” №7. – 2012 г.
- 2.3. Металлические нити для обоев. // “Kineticmod”. 07.11.2014 г.

- 2.4. Шарков В.Ф. Ризоматическая логика –инструмент для построения новой научной парадигмы. //Актуальные проблемы современной науки. – Москва: №6. - 2007 г., 47-49 с.
- 2.5. G.A.V. Leaf. A property of a buckled elastic rod. // British journal of applied physics, Vol. 9, February, 1958.
- 2.6. Щербаков В.П., Панин А.И., Заваруев Н.В., Полякова Т.И., Гончарова О.А. Теория и критерии устойчивости нити при вязании// Известия вузов .– 2013.- №3. - С. 31-38.
- 2.7.Кудрявин Л.А., Беляев О.Ф., Заваруев Н.В. Расчёт деформации кулирного трикотажа при двумерной симметричной нагрузке с помощью нелинейной теории упругости // Технология текстильной промышленности. – 2013. - №5. – С.74-76.
- 2.8.Щербаков В.П., Заваруев Н.В., Гончарова О.А. Независимость длины нити в петле и в структурных элементах ткани от жесткости нити при изгибе //Технология текстильной промышленности. – 2014. - №1. – С. 156-162.
- 2.9.Щербаков В.П., Панин А.И., Заваруев Н.В., Полякова Т.И., Гончарова О.А. Теория и критерии устойчивости нити при вязании // Технология текстильной промышленности. – 2014. - №3. – С.63-68.
- 2.10.Щербаков В.П., Заваруев Н.В., Полякова Т.И. Особенности вязания и расчётов металлического трикотажа// Технология текстильной промышленности. – 2014. - №6. - С.71-75.
- 2.11. Hearle J.W.S., Grosberg P., Backer S. Structural mechanics of fibers, Yarns and Fabrics, New York
- 2.12. Postle R., Munden D.L. Analysis of the dry-relaxed knitted-loop configuration// Journal of the Textile Institute, 1967, v.58, №8 p.329-365.
- 2.13. Knapton J.J.F. Geometry of complex knitted structures// Journal of the Textile Institute, 1953, p.561.
- 2.14.Hearle J.W.S., Grosberg P., Bacher S. Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics. – “Wiley Interscience”, 1969, VI, p.411.
- 2.15. Popper P. Criterion for rupture of certain textile structures under biaxial Stress// Aeronautical Systems Division TDR 62-613, August 1962.

2.16. Cook D.L., Grosberg P. The Load- Extension properties of warp knitted fabrics// Textile research journal, 1961, №7, p. 636-643.

2.17. Володина В.М. Пути снижения продольной полосатости в чулках // Текстильная промышленность. – 1960. - №7. – с.39 -42.

#### **Диссертации:**

3.1. Заваруев В.А. Разработка технологии производства металлотрикотажных сетеполотен для изделий космической и наземной систем связи.- Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. – Москва, 2006 г. – 466 с.

3.2. Колесникова Е.Н. Основы проектирования технологии петлеобразования. - Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. – Москва, 2001 г. – 342 с.

3.3. Аль-Харти Мохаммед Исса Мохаммед Джюбран. Усовершенствование технологии вязания трикотажа рисунчатых плюшевых переплетений на однофонтурных кругловязальных машинах. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Москва, 1984 г. – 238 с.

3.4. Желтиков М.В. Разработка технологии вязания и метода проектирования трикотажа на мультиклассовых плосковязальных машинах. – Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Москва, 2012 г. – 178 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. - Москва, 2008 г. – 251 с.

#### **Патентные документы:**

4.1. Патент №2179268 / Российская Федерация / Способ соединения деталей. / Похабов Ю.П., Наговицин В.Н., Шушерин А.В., Подшивалов С.Ф., Кочетков С.В., Лузина И.А. , 2002 г.

4.2. Патент №2379391 / Российская Федерация / Устройство для сматывания металлической нити с паковки. / Чистобородов Г.И., Ситникова И.Н., Никифорова

Е.Н., Капралов В.В., 2008 г.

4.3. Патент №2003123030 / Российская Федерация / Отражательная вязаная сетчатая поверхность антенны и способ её выработки / Кудрявин Л.А., Заваруев В.А., Беляев О.Ф., 2005 г.

#### **Нормативно-технические документы:**

5.1. Технические условия на металлотрикотажный шнур-чулок. – ООО фирма Триинвест, Москва, 01.12.1995 г.

5.2. ГОСТ 18834-83 Проволока магнитная для записи гармонических сигналов. Технические условия.

#### **Интернет-ресурсы:**

6.1. Применение полимеров. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://polypipe.info>

6.2. Назначение труб. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://experttrub.ru>

6.3. Виды соединения труб. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://kanalizaciya-prosto.ru>

6.4. Виды канализационных труб и их соединений. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://ogodom.ru/vidyi-kanalizatsionnyih-trub-i-ih-soedineniy.html>

6.5. Трубы ПВХ для водопровода и канализации. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://nanoplast.com.ua>

6.6. Полимерные трубы. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://santehnikahelp.ucoz.ru>

6.7. Пластиковые трубы для водопровода. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://trubinfo.ru>

6.8. Трубопроводные соединения. Муфты трубопровода. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.inmor.ru/catalog>

6.9. Металлический корд. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://chem21.info/info/793414/>

- 6.10. Трикотажные топы с применением металлических нитей. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.100sp.ru/collection.php?cid=998897>
- 6.11. Обновлённые банкноты. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://ru.sputnik.md/economics/20151012/2329973.html>
- 6.12. Ассортимент моделей. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.busigiovanni.com/ru>
- 6.13. Machines. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.rumi.it/ita/index.html>
- 6.14. Продукция общемашиностроительного назначения. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://tulatochmash.ru>
- 6.15. ДиаМорф объектив. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.diamorph.ru>
- 6.16. Электронный курвиметр. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://fb.ru/article/131689/kurvimetr---chto-eto-pribor-kurvimetr-kak-ispolzovat-printsip-raboty>
- 6.17. Решение СЛАУ методом Гаусса. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://math.semestr.ru>
- 6.18. Дефекты полотна при вязании на машине. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.sewing-master.ru/vjazanie-na-mashine.html>
- 6.19. Принцип работы частотного преобразователя. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://elektrik24.net/elektrooborudovanie/elektrodvigateli/preobrazovatel-chastoty/dlya-asinhronnyih-dvigatelay.html>
- 6.20. Испытательные машины. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.instron.com/ru-ru?region=Russia>
- 6.21. Микроскопическая сетка поможет понять, как работает мозг [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://solnca-net.com/science/mikroskopicheskaya-setka-pomozhet-ponyat-kak-rabotaet-mozg-20678.html>
- 6.22. Прочность и относительное удлинение при растяжении стали. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://stroylib.narod.ru/td/zstat-az201z/index.html>

6.23. Оборудование для производства труб. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://taoplast.ru>

6.24. Стальной мост через канал. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://3d-expo.ru/ru/article/yoris-laarman-proektiruet-stalnoy-most-cherez-kanal-kotoriy-3d-napechatayut-roboti>