**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**
**«Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»**
**(ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»)**

**На правах рукописи**

**Хабарова Елена Борисовна**

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДВУХСЛОЙНЫХ СТРУКТУР КУЛИРНОГО ТРИКОТАЖА ИЗ ВЫСОКОМОДУЛЬНЫХ НИТЕЙ

**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**
**Юхин Сергей Семёнович**

**Москва – 2021**

**СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ…….. 5
ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ДВОЙНЫХ СТРУКТУР ТРИКОТАЖА…..... 12
1.1 Формовочная способность трикотажа……..... 12
1.2 Современные технологии трикотажа…….…….... 18
1.3 Структурные особенности двойного трикотажа с соединительными элементами из индивидуальных нитей……...…….……..... 20
1.4 Разработка структурной схемы двойного кулирного трикотажа с межслойными протяжками…….... 28
Выводы по первой главе……... 35
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ДВУХСЛОЙНЫХ СТРУКТУР ТРИКОТАЖА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ…….. 36
2.1 Разработка конструктивных схем двойного кулирного трикотажа пространственной структуры……... 37
2.1.1 Конструкция комбинированного переплетения №1 на базе фанга. Трикотаж с перекрещивающимися протяжками, соединяющими парные иглы соседних игольниц. ……..... 38
2.1.2 Конструкция комбинированного переплетения №2 на базе фанга. Трикотаж с перекрещивающимися протяжками, соединяющими парные иглы соседних игольниц и дополнительными футерными нитями…… 40
2.1.3 Конструкция комбинированного переплетения №3 на базе трубчатой глади. Трикотаж с перекрещивающимися протяжками футерной нити……. 44
2.1.4 Конструкция трикотажа крупноячеистой структуры с послойным образованием элементов «стойка» и «раскос» …….. 50
2.1.5 Конструкция объёмного трикотажа мелкоячеистой структуры с послойным образованием элементов «стойка» и «раскос» …….. 55
2.2 Исследование физико-механических свойств разработанных конструкций трикотажа……... 58

2.2.1 Параметры выработанных образцов трикотажа……..……. 58
2.2.2 Исследование физико-механических свойств трикотажа при одноосном растяжении……...……... 62
2.2.3 Исследование физико-механических свойств трикотажа при сдавливающих нагрузках……...……... 69
2.3 Исследование разрывных характеристик конструкций трикотажа…… 74
2.3.1 Параметры образцов конструкций трикотажа……... 78
2.3.2 Объёмное заполнение трикотажа……..…….. 85
2.3.3 Расчёт разрывных характеристик конструкций трикотажа…….. 91
2.4 Закручиваемость краёв образцов трикотажа……...……... 106
2.5 Выбор переплетений для выработки образцов трикотажа из высокомодульной нити……..……. 108
Выводы по второй главе……..……..……. 110
ГЛАВ 3. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОМОДУЛЬНЫХ НИТЕЙ…… 112
3.1 Основные физико-механические свойства высокомодульных нитей…….. 113
3.2 Обзор физико-механических показателей основных, наиболее часто применяемых высокомодульных нитей……... 116
3.3 Выбор вида высокомодульной нити для выработки образцов трикотажа 122
Выводы по третьей главе…… 124
ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИЙ ТРИКОТАЖА, ВЫРАБОТАННЫХ ИЗ ВЫСОКОМОДУЛЬНОЙ НИТИ РУСАР ЛИНЕЙНОЙ ПЛОТНОСТИ 58,8 ТЕКС……... 125
4.1 Технологический процесс выработки образцов трикотажа…….. 128
4.1.1 Выбор вязального оборудования…….. 128
4.1.2 Процесс выработки образцов трикотажа на двухфонтурной плосковязальной машине……..... 129
4.2 Исследованиение физико-механических свойств трикотажа……... 135
4.2.1 Форма и размер образцов трикотажа для разрывных испытаний…… 135
4.2.2 Параметры образцов трикотажа…….……... 139

4.2.3 Объёмное заполнение трикотажа…….. 144
4.2.4 Проведение испытаний на растяжение до разрыва выработанных образцов трикотажа…….…… 149
4.3 Использование методов теории подобия и анализа размерностей для прогнозирования разрывной нагрузки кулирных трикотажных полотен из арамидной нити...…… 161
4.4 Закручиваемость трикотажа. Распускаемость трикотажа при разрезании образцов…… 168
4.5 Формообразование трикотажа из высокомодульной нити Русар…….. 172
Выводы по четвёртой главе…… 182
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..…….. 183
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ №3 С ПРОТЯЖКАМИ-РАСПОРКАМИ И ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ……... 185
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ……..... 191
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……..……. 196
ПРИЛОЖЕНИЕ А...…… 212
ПРИЛОЖЕНИЕ Б...……. 215

# Введение

Современные условия технического прогресса и непрерывного развития техники, приводят к росту объёма производства технического текстиля, и в частности трикотажа. Трикотажная отрасль быстро развивается, появляются новое сырьё, новое современное оборудование и более совершенные технологии выработки. Трикотаж традиционно используют в модной индустрии и изготовлении одежды. Расширяются так же сферы применения технического трикотажа в разных отраслях промышленности, медицине, композиционных материалах. Использование двойных трикотажных структур актуально в спортивной одежде со специальными функциями. Технический трикотаж применяют в производстве гео- и агротекстиля, фильтров, медицинских компрессионных материалов, виброизоляционных материалов, матриц композитов, строительстве и других отраслях. В настоящее время производство технического текстиля считается высокотехнологичным индустриальным сектором с большим потенциалом [1, 2].

Свойства трикотажа: высокая пористость, драпируемость, пространственная объёмная упругая структура позволяют получать цельные готовые изделия вместо сборных и раскройных, при этом сокращается количество узлов производства, происходит экономия сырья и энергоресурсов, снижается себестоимость конечного продукта.

В зависимости от поставленных проектировочных задач, можно изменять параметры трикотажа, использовать различную петельную структуру, и, таким образом, получать малорастяжимый плотный трикотаж или трикотаж, с растяжением в 150 – 200 %. Трикотажные полотна имеют неограниченные возможности структурообразования и изменения параметров отдельных участков и отдельных слоёв трикотажного полотна, что расширяет возможности применения таких структур.

В отличие от тканей, кулирный трикотаж даёт возможность вывязывать детали заданной формы без подкроя и дополнительных швейных или других подготовительных операций. Высокая подвижность трикотажного полотна даёт возможность получать детали и изделия с малыми радиусами кривизны [3]. Формообразование деталей пространственной формы из трикотажного полотна получается за счёт различной степени смещения петель относительно друг друга без образования складок и заломов, как это происходит в процессе формования деталей из тканей.

Выработка кулирного трикотажа реализуется на любом виде современного универсального вязального оборудования. Высокая производительность современных вязальных машин определяет количественный выпуск продукции.

В последнее время значительно увеличился интерес к сложным трехмерным структурам трикотажа, которые состоят из двух слоёв, соединённых протяжками мононитей, сохраняющих упругость материала при сжатии, обладающих высокой воздухо- и паропроницаемостью. 3-D трикотаж используется для выработки технического, медицинского, спортивного текстиля. Благодаря повышенному интересу к таким структурам, появляются новые разработки трехмерного распорчатого трикотажа [4, 115 – 118, 121, 125, 127].

Конкретные сферы применения трикотажа диктуют необходимость создания новых перспективных структур, способных обеспечивать определённые задачи и заданные физико-механические свойства конечного изделия. Выработка сложных трикотажных структур напрямую зависит от возможностей современного вязального оборудования [5]. Интенсивное развитие технологий переработки на вязальном оборудовании различных видов текстильных нитей позволяет расширить области применения технического трикотажа. Наиболее совершенные технологии вязания дают возможность переработки металлических [5], высокопрочных и высокомодульных нитей, которые относятся к химическим материалам

нового поколения. Высокомодульные сверхпрочные волокна имеют высокие показатели модуля упругости и прочности [6] (50 – 70 ГПа и 100 – 150 сН/текс соответственно), и используются для получения матриц композитов, высоконагруженных текстильных изделий, ортезов, средств профессиональной защиты и спасения. Производство технического текстиля из высокомодульных нитей относится к высокотехнологичным секторам мировой индустрии с серьезным потенциалом развития, объём производства которого заметно растёт во всём мире [3, 7].

На сегодня широко известны технические ткани из углеродных, арамидных и др. высокомодульных нитей, и проведено много исследований физико-механических показателей таких тканей [2, 39, 58, 62, 69, 79, 80, 81, 82]. Однако физико-механические свойства трикотажных полотен из высокомодульных нитей изучены не достаточно.

Большой ассортимент высокомодульных нитей технического назначения расширяет перспективный диапазон сфер практического применения трикотажных структур в различных отраслях промышленности. В частности, на сегодня, встаёт актуальная задача по технологической переработке высокомодульных нитей на вязальных машинах с целью создания трикотажных изделий пространственных форм. В настоящей работе рассмотрены вопросы проектирования двухслойных трикотажных структур из высокомодульных нитей, применение которых может значительно расширить диапазон использования трикотажа в промышленности.

В настоящее время большой интерес в сфере технического текстиля направлен на изучение 3-D трикотажа, имеющего распорчатую структуру. Потребность в перспективных структурах двойного кулирного трикотажа, имеющих заданные физико-механические свойства для различных сложных поверхностей пространственных форм, а так же возможности современного вязального оборудования подводят инженеров к исследованиям данного направления и поиску новых конструкций, а так же технологий вязания трёхмерного трикотажа.

**Объект исследования** – двухслойные структуры кулирного трикотажа, отвечающие физико-механическим требованиям конструкционных текстильных материалов.

**Предмет исследования** – конструкции и технологии двухслойного кулирного трикотажа.

**Целью работы** является разработка технологий двухслойных структур кулирного трикотажа, пространственных форм из высокомодульных нитей, обеспечивающих заданные физико-механические свойства, а так же исследование возможностей дальнейшего расширения сфер применения разработанного трикотажа.

В соответствии с поставленной целью в работе были решены задачи:

- проведён анализ современных трёхмерных структур кулирного и основовязаного трикотажа, а также анализ видов структур главных и производных кулирных переплетений, на основе которых спроектированы и разработаны новые структуры двойного кулирного трикотажа;
- разработаны технологии вязания спроектированных конструкций двойного трикотажа из высокомодульных нитей на ручном плосковязальном оборудовании;
- выработаны опытные образцы конструкций двойного кулирного трикотажа и проведены исследования изменения их физико-механических свойств при действии внешних нагрузок;
- выработаны опытные образцы двойного кулирного трикотажа из высокомодульных нитей Русар, и исследованы изменения их физико-механических свойств при действии внешних нагрузок;
- исследованы возможности пространственного растяжения и формообразования трикотажных полотен из высокомодульных нитей;
- проведена оценка возможностей применения разработанных конструкций трикотажа.

Исследования проводились на кафедре Проектирования и художественного оформления текстильных изделий, в организации ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина».

**Методы исследования**. Теоретической базой проведённых исследований послужили положения теории вязания и технологии трикотажного производства, текстильного материаловедения. В исследованиях использовалась современные положения теории прочности текстильных материалов, теории подобия и анализа размерностей, строительной механики, математической статистики и математики. А также актуальные разработки и теоретические знания в области полимерных композиционных материалов и тканых конструкционных композитов.

Методологическим принципом, положенным в основу разработки структур трёхмерного трикотажа явилось предположение о совокупном влиянии свойств элементов конструкции двойного кулирного трикотажа, выработанного из высокомодульных нитей, на физико-механические показатели готового изделия.

При проведении экспериментов применялось отечественное и зарубежное вязальное оборудование и стандартизированное измерительное оборудование. Выработка образцов трикотажа проводилась на двухфонтурнных плосковязальных машинах 3 – 8 классов. Для выработки конструкций переплетений и образцов трикотажных полотен использовались полушерстяная пряжа и высокомодульные нити Русар.

Обработка экспериментальных данных проводилась на ЭВМ при помощи программ Microsoft Excel, Microsoft Word, Gimp.

**Научную новизну** исследования составляет разработка новых структур двойного кулирного трикотажа для получения трикотажных изделий пространственной формы из высокомодульных нитей, в том числе:

- проектирование структур трикотажа на основе схемы строительной плоской фермы с протяжками-распорками между петельными слоями, и исследование технологии вязания разработанных структур;

- обоснование целесообразности вязания трикотажа разработанных структур из высокомодульных нитей;
- обоснование целесообразности использования разработанных структур трикотажа для изготовления изделий пространственных форм;
- исследование формовочной способности трикотажных переплетений из высокомодульной нити.

**Теоретическая значимость** диссертационной работы заключается в разработке новых структур двойного кулирного трикотажа с межслойными протяжками-распорками в петельной структуре, повторяющими элементы схемы строительной плоской фермы, технологии выработки новых структур трикотажа из высокомодульной нити.

**Практическая значимость** работы заключается в:

– разработке структур двойного кулирного трикотажа на основе схемы строительной плоской фермы, с протяжками-распорками «стойка» и «раскос», соединяющими петельные слои под углом $45^0$ и $90^0$;

– получении структур двойного трикотажа с новыми физико-механическими свойствами, обеспечивающих требуемые характеристики при эксплуатационных нагрузках;

– разработке технологического процесса выработки трикотажа полученных структур из высокомодульных нитей на ручном плосковязальном оборудовании.

**Основные положения, выносимые на защиту**:

1) конструкция трёхмерной структуры двойного кулирного трикотажа на основе схемы строительной плоской треугольной неизменяемой фермы с протяжками-распорками «стойка» и «раскос», соединяющими петельные слои под углом $45^0$ и $90^0$;

2) технологии вязания конструкций распорчатого трикотажа, с протяжками-распорками, расположенными между внешними петельными слоями и соединяющими слои;

3) целесообразность использования высокомодульных нитей для выработки конструкций распорчатого трикотажа технического назначения;

4) целесообразность использования разработанных конструкций распорчатого трикотажа из высокомодульных нитей для получения изделий пространственных форм.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Степень достоверности результатов исследования подтверждается достаточным объёмом экспериментальных данных, полученных посредством выработки образцов кулирного трикотажа, детальным анализом результатов, проведённым с использованием современных методов научного исследования, и методов статистической обработки полученных экспериментальных данных. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием методов математической статистики и современной вычислительной техники.

Апробация результатов и основных положений исследования проводилась в докладах на научных конференциях и в научных периодических изданиях.

**Публикации.** По материалам диссертационного исследования написано 7 работ, 4 из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав с выводами по каждой главе и общих выводов по работе. Работа изложена на 217 страницах машинописного текста, содержит 89 рисунков, 41 таблица, список литературы, словарь терминов, 2 приложения. Список литературы включает 141 библиографический и электронный источник. Приложения представлены на 6 страницах.

# 1. Аналитический обзор современных двойных структур трикотажа

## 1.1 Формовочная способность трикотажа

Формообразование из трикотажа отдельных деталей одежды или технических деталей, имеющих сложные пространственные формы – конус, трапеция, полусфера и др., возможно реализовать по заданному контуру без подкроя, дополнительных швейных и других подготовительных операций различными способами формирования объёмных форм изделия [10].

Технологические возможности современного вязального оборудования позволяют вывязывать детали сложных геометрических форм поверхностей второго порядка [135], таких, как изображённые на рисунке 1.1.

Вывязывание деталей по заданному контуру исключает процесс ручной сборки изделия, что упрощает изготовление деталей сложной формы и позволяет снизить сырьевые и трудозатраты, а так же значительно сокращает время выработки продукции.

На рисунке 1.2 представлены цельно вязанные технические детали сложной пространственной геометрической формы из кулирного трикотажа, выработанные на двухфонтурном плосковязальном оборудовании – трубчатые детали, деталь трикотажа в форме полусферы и готовый композиционный материал, армированный этим трикотажем. Все детали связаны на высокопроизводительных машинах STOL (детали а, б) и Steiger (деталь в) [120, 131].

1 2 3

Рисунок 1.1 – Поверхности второго порядка [135]: 1 – однополостный гиперболоид; 2 – эллиптический цилиндр; 3 – эллиптический параболоид.

а) б) в)

Рисунок 1.2 – Детали технического трикотажа, связанные на двухфонтурной вязальной машине по контуру поверхностей второго порядка: а) трубчатая конусообразная; б) угловая коленчатая цилиндрическая; в) трикотаж и композит в форме полусферы.

Кулирный трикотаж вырабатывается одной непрерывной нитью, создающей основной элемент структуры трикотажа петлю. Петли трикотажного полотна взаимно зацепляются, и процесс деформирования материала при растяжении происходит через растяжение искривленной нити до критического состояния и удлинения выпрямленных участков нитей [8]. Петельная структура объясняет

высокую формовочную способность трикотажа: кулирный трикотаж обладает высокой растяжимостью именно благодаря выпрямлению петель нити при действии растягивающих нагрузок [9, 10].

Получение объёмной формы из ткани или трикотажа происходит за счёт изменения геометрического расположения нитей и петель посредством их перекоса, степень которого определяется сложностью формы воспроизводимой детали [11]. Так, при изготовлении объёмной формы из текстильно-армированного композиционного материала, текстильный материал должен значительно деформироваться из плоскости, не образуя складок [12-14]. Известно, что ткани являются материалом с ограниченной пространственной деформацией, в силу своей прямолинейной структуры [1, 2, 4]. Формообразование из ткани представляет собой результат пластической деформации, сопровождаемой смещением значительной части нитей основы и утка по контуру изделия [12, 15, 22].

Рисунок 1.3 демонстрирует процессы раскроя и формования армирующей углеткани, а так же степень пластичности данного материала.

а) б)

Рисунок 1.3 – Подготовка к формованию детали из композиционного материала ткани из углеволокна: а) раскрой углеткани; б) процесс ручного формования.

Для формования технических деталей из тканей, обычно применяют ткани простых схем переплетения – полотняного, рогожного, саржевого и атласного.

Следует учесть, что ткани, даже разреженной структуры, относятся к материалам с ограниченной формуемостью на криволинейных поверхностях, поэтому тканевые формовочные материалы укладываются в форму предварительно раскроенными на отдельные ленты или куски материи (рис. 1.4, *в*), а затем фрагменты могут сшиваться или склеиваться [15, 16].

Некоторая пластичность ткани позволяет формовать детали объёмных форм, но, при этом, процесс такого формования становится ресурсозатратным и трудоёмким, поскольку является полностью ручным (рис. 1.3, *б*).

При создании объёма сложной формы из ткани (выпуклой, с переменной кривизной, конусообразной и др.), неизбежно получаются заломы, участки перекрытий слоёв ткани, образующих прерывистость слоя и неровность поверхности (рис. 1.5, *а*), а также образуются рельефные складки, какие можно наблюдать на деталях любых швейных изделий, например на полочке и спинке жакета, юбке или брюках.

Более эффективное формование сложных деталей пространственных форм из ткани возможно в виде препрега, когда пропитанная связующим ткань пластичнее огибает углы, которые сухая ткань может облегать только с образованием складок или подкроя, либо с сильной раздвижкой нитей на углах и изгибах детали.

На рисунке 1.4 показаны этапы процесса формования детали из препрега углеткани. Сначала ткань проклеивают по контуру среза фиксирующей лентой, предотвращающей осыпание по краю. Затем выкраивают отрез и на всю поверхность наносят раствор наполнителя, потом пропитанная связующим ткань распределяется на форму. Это ресурсоёмкий процесс.

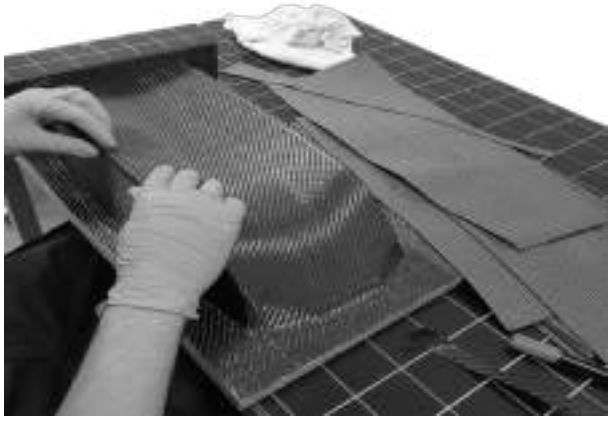
Другой способ формования тканью – традиционный раскройный метод, так же требующий дополнительных трудозатрат и времени на предварительные операции (рис. 1.4, *в*).

Если сравнить формовочную способность ткани и трикотажа, то формование деталей из трикотажного полотна имеет определённые преимущества. Трикотаж отличается повышенной сложностью и анизотропной подвижностью всей структуры, поэтому перекос трикотажного полотна может происходить в любом

направлении или одновременно в нескольких направлениях, тогда как ткань растяжима только в одном направлении – поперечном, продольном или диагональном. И формообразование ткани определяется одним углом максимального перекоса, а формообразование трикотажа – диаграммой формуемости [11].

а)

б)

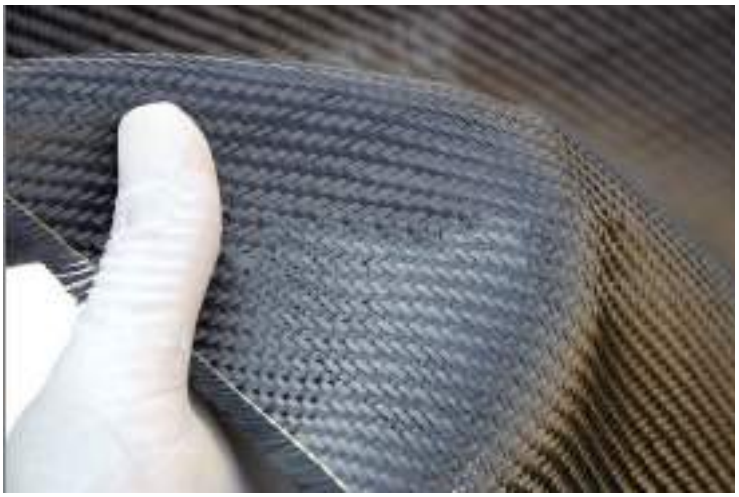


в)

Рисунок 1.4 – Ручное формование пространственной формы из углеткани: а) обработка ткани связующим; б) ручная формовка пропитанной связующим тканью на шаблоне; в) раскройный метод формования объёмных деталей из углеткани: ручная выкладка деталей на форму.

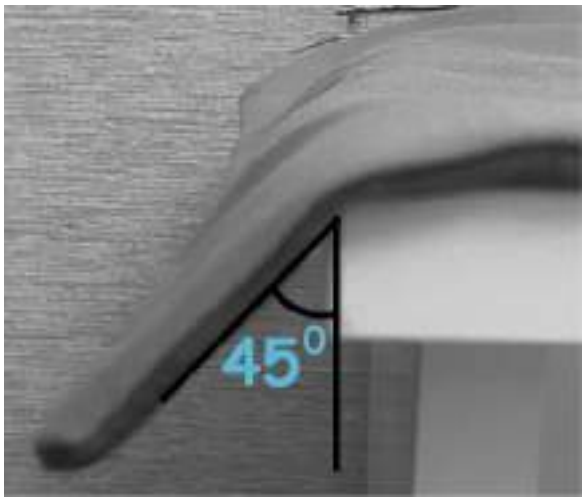
Драпируемость текстильных материалов зависит от жёсткости их структуры, и чем жёстче материал, тем меньшей гибкостью он обладает [142]. На рисунке 1.5 представлены фотографии ткани – *а* и трикотажа – *б*, дающие представление о

формовочной способности и пространственной растяжимости этих материалов, где показаны различия в формуемости и драпируемости ткани и трикотажа.

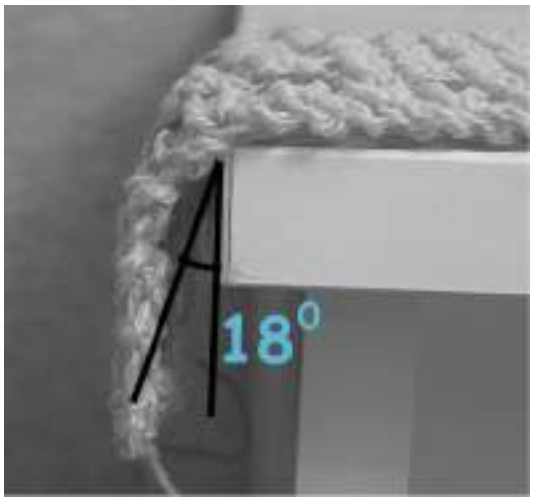


а)

б)




в)




г)

Рисунок 1.5 – Растяжимость и формуемость текстильных материалов:
а) углеткани; б) двойного кулирного трикотажа. Драпируемость:
в) ткани; г) трикотажа

Серьёзным дополнительным преимуществом для производства технических деталей из трикотажного полотна является высокая производительность и универсальность современного трикотажного оборудования [120].

## 1.2 Современные технологии трикотажа

Современные требования к трикотажному материалу определяются возросшей потребностью промышленного производства в техническом трикотаже, а в сфере традиционного текстильного производства, высокой степенью подвижности и спортивной активности людей.

Актуальность использования трикотажа, обусловлена его характерными свойствами – высокой растяжимостью, пористостью, драпируемостью, бесконечным разнообразием фактурной выработки, воможностью получить заданную плоскую или объемную форму без дополнительных швейных операций. Аддитивность свойств трикотажа вывела его на новый уровень использования в промышленных отраслях разных направлений, что привело к созданию и выработке новых структур с возможностью внедрения запрограммированных технических характеристик и свойств у трикотажного материала.

Сегодня текстильные материалы проходят этап новой эволюции. В коллаборации с электронными системами, они представляют умные (Smart) материалы будущего или, так называемый, умный текстиль, который является общемировым трендом. Умная одежда сможет измерять жизненно важные показатели организма: ЭКГ, частоту дыхания, температуру, потоотделение, телесную электрическую активность, движения тела и жесты во время тренировок и ходьбы [120].

Такой высокотехнологичный трикотажный е-текстиль получили на фабрике Stoll в 2016 году по новой технологии CMS ADF, которая изменила отношение к подходу в производстве спортивного трикотажа [120]. При сотрудничестве с ведущими учёными и техническими компаниями из разных научных областей, компания STOL произвела трикотаж со встроенными тепловыми элементами, NFC* чипами (компактный контроллер передачи данных), светоотражающими полосами, и фотогальваническими ячейками в структуре трикотажа. Процесс

интеграции этих элементов в структуру токопроводящего трикотажа полностью автоматизирован.

На рисунке 1.6 представлены фотографии спортивного 3-D трикотажа – балаклавы с тепловой защитой дыхания ячеистой структуры спереди и встроенными микроэлементами электропитания, расположенными в кармане на затылочной части головного убора.

а б

Рисунок 1.6 – Высокотехнологичный 3D трикотаж STOL: а) подогреваемая ячеистая структура спереди; б) карман с батарейкой сзади.

Нагревающий провод, связывающий тепловую защиту с элементом питания, ввязан зонально непосредственно в структуру ячеистого материала, там, где это было необходимо. Спортивный костюм STOL представляет единую сложную систему. Преимуществами такой системы являются контроль над регуляцией процессов тепла и влажности, предусмотренная местная компрессия и 3D предварительная формовка, придающая структуре трикотажного материала заданную объёмную форму. Основной целью создания трикотажной системы являлся поиск способа интеграции современных достижений электроники в текстиль без потерь показателей мягкости, эластичности и комфортности трикотажного материала.

Очевиден и понятен потенциал развития одежды, способной контролировать жизненно важные функции физической активности человека, которая поможет улучшить качество жизни и здоровья адаптируемых пациентов и пожилых людей.

За последнее десятилетие наблюдается значительный интерес к всё более сложным текстильным технологиям. Умный и интерактивный текстиль – это новый зарождающийся сектор и его экономический рост прогнозируется на уровне 40% ежегодно и достигнет в США к 2021 году 2,5 миллиардов долларов [120].

## 1.3 Структурные особенности двойного трикотажа с соединительными элементами из индивидуальных нитей

В фокусе внимания современного трикотажного производства – сложные двойные структуры трикотажа технического назначения, используемого в создании геотекстильных полотен, текстильных прокладок, амортизирующих трикотажных изделий, деталей из композиционных материалов в промышленных и космических объектах, машиностроении, строительстве и других областях [18]. Одним из основных требований к деталям из трикотажных материалов является соблюдение проектных значений физико-механических свойств и восприятия внешней нагрузки.

Новые структуры объёмного 3D трикотажа кулирных и основовязаных переплетений находят применение не только в технической области, но и в современном дизайне одежды [121, 123].

Следует понимать, чем обусловлен рост интереса к структурам двойного кулирного и основовязаного трикотажа. Сложная пространственная структура трикотажного полотна, образованая базовыми элементами – петлями, набросками

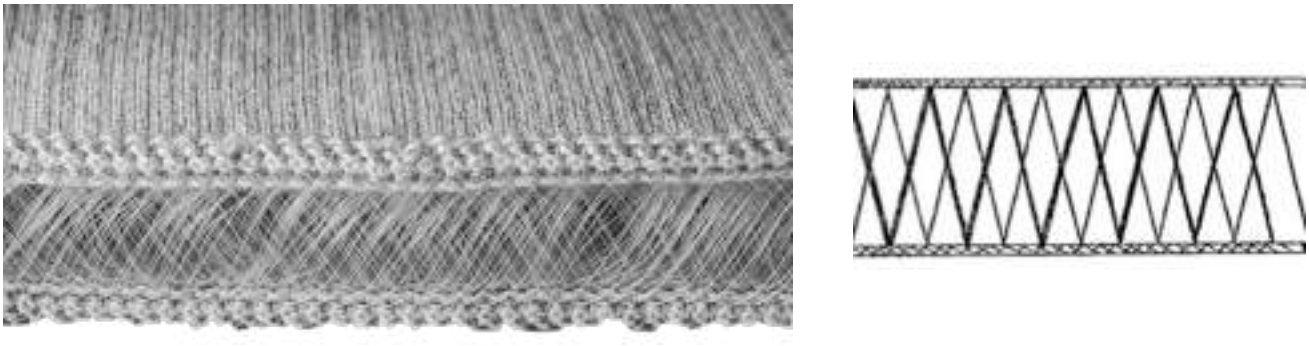
и протяжками, работает в таком трикотаже, как единая система распределения внешней нагрузки. Степень нагружения отдельных элементов и участков нити зависит от вектора приложения силы и может меняться в широких переделах. Так как нити в структуре трикотажа имеют сложное пространственное расположение, то при приложении нагрузки в различных направлениях работают разные участки петельной структуры [19]. Данные анизотропные свойства трикотажных полотен используются в деталях армированных трикотажем композитов.

При получении деталей объёмных форм важно, чтобы текстильный слой получал минимальные и равномерные деформации во всех направлениях, сохраняя целостность и стабильность структуры трикотажа [20].

Взаимосвязь базовых элементов трикотажной структуры характеризуется переплетением трикотажа, комбинирование разных видов переплетений в одном изделии позволяет изменять параметры трикотажа на отдельных участках детали, и получать малорастягивающийся плотный трикотаж, деформация которого соизмерима с деформацией ткани, или сильно растяжимый трикотаж, с растяжением 150–200%. Изменение плотности вязания на разных слоях трикотажа, а так же использование пряжи и нитей различной природы позволяет изменять физико-механические свойства трикотажа, теплопроводность, воздухопроницаемость и другие характеристики, что даёт дополнительные возможности его использования.

В 2000-х годах на рынке технического текстиля появились новые перспективные разработки структур двойного трикотажа с межслойными соединительными элементами «knitted spacer fabrics» из моно нитей. Впервые распорчатый 3D трикотаж был запатентован в США в 2004 году [121]. Это был кулирный трикотаж с рапорками из полиэстерных моно нитей.

На рисунке 1.7. представлена фотография образца кулирного переплетения «knitted spacer fabrics» с протяжками из моно нитей, и схема расположения слоёв и протяжек в трикотаже.



а) б)

Рисунок 1.7 – Двойной кулирный трикотажа с соединительными протяжками: а) образец трикотажа; б) схема расположения слоёв и протяжек.

Данное переплетение состоит из двух слоёв кулирного трикотажа переплетения гладь, соединённых длинными протяжками из одной или нескольких полиамидных филаментных нитей, проложенных между внешними петельными слоями.

Затем на текстильном рынке начали появляться разработки основовязаного трикотажа с протяжками «knitted spacer fabrics» [121-128]. Появление новых 3D структур, которые относятся к перспективным комбинированным материалам, вызвало широкий интерес не только в текстильной промышленности, но и у производителей матрасов, утеплителей и изоляционных материалов, а так же композитов и др.

Трёхмерный трикотаж получил активный отклик в научных публикациях, где исследовались аспекты «работы протяжек-распорок». Примерами таких исследований можно назвать статью [122] и работу [116], где приводится анализ принципа работы протяжек-распорок в пространстве между слоями трикотажного полотна при восприятии внешних нагрузок.

Механическая роль межслойных распорок заключается в сопротивлении продольному сжатию и изгибу, при которых протяжки моно нитей работают в системе по принципу гибких стержней, что обеспечивает устойчивость трикотажа деформациям, нормальным к его поверхности [21].

Одним из важных преимуществ распорчатого трикотажа является их превосходная декомпрессия. Это означает, что данные материалы обладают высокой упругостью, гибкостью и прочностью при воздействии внешней нагрузки давления [128].

Фотография, представленная на рисунке 1.8, показан образец основовязаного трикотажа «knitted spacer fabrics», запатентованного в США в 2006 году [113]. Трикотаж представляет из себя двойное переплетение с длинными перекрещивающимися протяжками из микрофиламентных полиэстерных нитей. Толщина трикотажа может варьироваться от 3 мм до 20 мм, в зависимости от длины протяжек-распорок.

Рисунок 1.8 – Основовязаный двойной трикотаж с соединительными протяжками «knitted spacer fabrics»: ячейки верхнего и нижнего слоёв разного размера. Внешние слои соединены протяжками-распорками.

Внешние слои данного трикотажа, имеют ячейки разных размеров, что является проектной особенностью переплетения, размер ячеек зависит от практического предназначения материала. Пример применения трёхмерного трикотажа с различным размером ячеек можно найти в материале [7], где рассмотрен метод получения цементного комозита путём засыпки мелкодисперсного цемента в структуру трикотажа, имеющего плотный нижний слой (ячейки маленького размера) и крупные ячейки верхнего слоя.

На рисунке 1.9 представлена фотография образца основовязаного трикотажа «knitted spacer fabrics», с ячейками внешних слоёв одинакового размера.

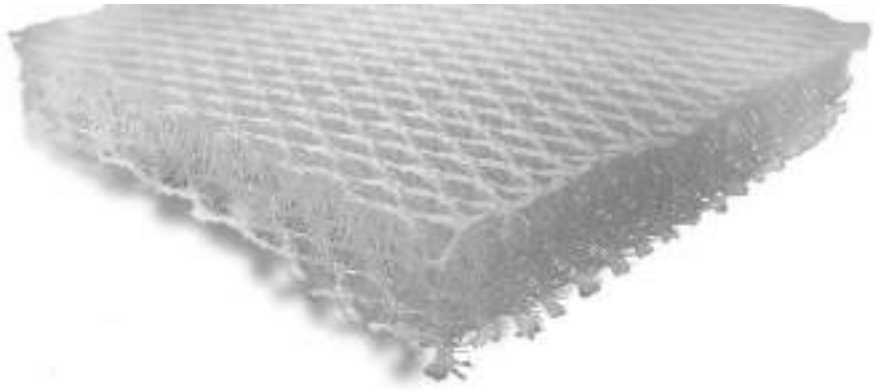


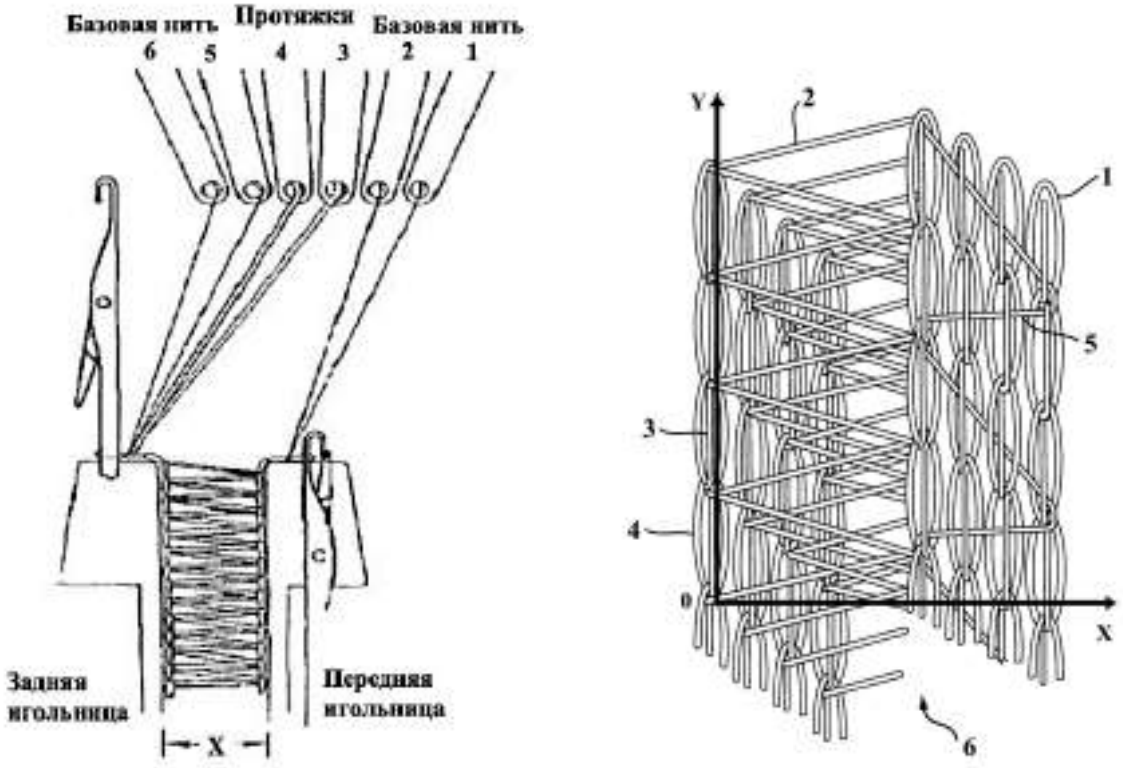
Рисунок 1.9 – Образец основовязаного трикотажа ячеистой структуры с протяжками-распорками.

Разработанные структуры основовязаного двойного трикотажа «knitted spacer fabrics», представленные в патаентах и статьях [113, 114, 116-118, 125-127], вырабатывают на двухфонтурных рашель машинах.

На рисунке 1.10 показана схема процесса выработки основовязаного трикотажа с протяжками из мононитей на рашель машине, и представлена схема петельной структуры основовязаного распорчатого трикотажа.

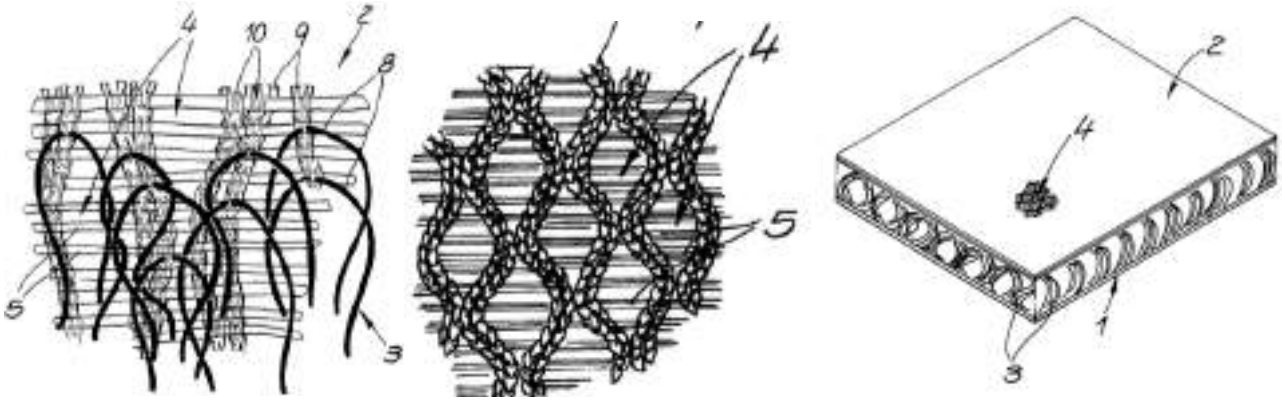
Протяжки между слоями трикотажа «knitted spacer fabrics» могут быть образованы различными способами прокладывания и крепления футерных нитей, как внутреннего, так и внешнего поверхностного закрепления, и могут создавать дополнительный застил, упрочняющий внешние петельные слои, по которым они пролегают (рисунои 1.10, *б*).

В США в 2014 году было разработано и заптентовано двойное основовязаное переплетение с межслойными протяжками [118]. На рисунке 1.11 представлена схема данного 3-D трикотажа, на которой показаны плоские внешние слои *1*, *2* (рис. 1.11, *в*), скрепленные друг с другом распорными моно нитями *3*. Внешние слои имеют ячеистую структуру с ячейками *4*, соединёнными уточными нитями *5* с внутренней стороны каждого внешнего петельного слоя (рис. 1.11, *а*, *б*).




а) б)

Рисунок 1.10 – Схемы основовязаного трикотажа с протяжками из мононитей: а) процесса выработки на рашель машине; б) петельной структуры, где *1*, *3*, *4* – петельная система внешних слоёв, *2*, *5*, *6* – система футерных нитей, образующих протяжки.




а) б) в)

Рисунок 1.11 – Схема двойного основовязаного трикотажа «knitted spacer fabrics»: а) крепление протяжки футерной нити; б) внешний ячеистый слой; в) общий вид.

Основовязаный трикотаж занимает значительную нишу в общем объёме выработки распорчатого 3-D трикотажа. Однако, стоит отметить, что и в области двойного кулирного трикотажа ведутся исследования и разработки подобных распорчатых структур.

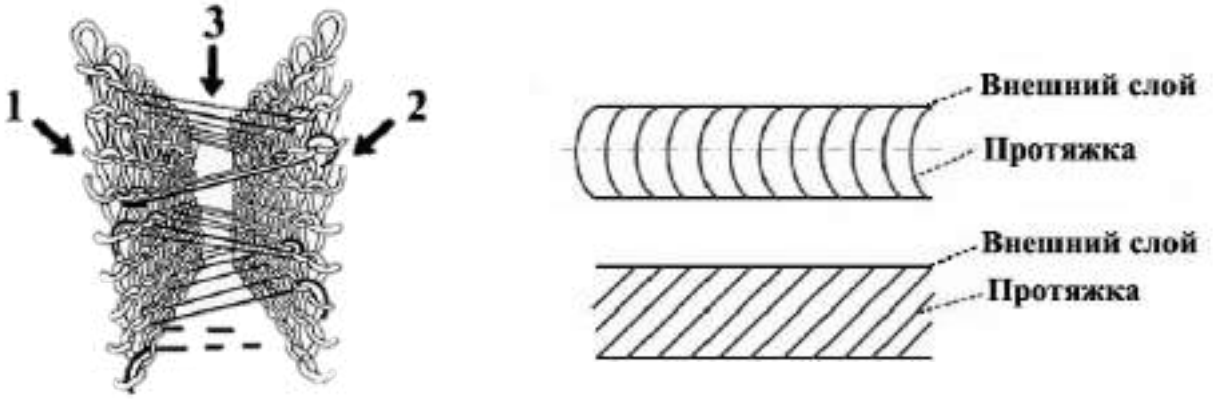
В работе Строганова Б. Б. [1] рассмотрен многослойный кулирный технический трикотаж, в котором в качестве протяжек-распорок выступают отдельные слои, расположенные между внешними петельными слоями трикотажа.

На рисунке 1.12 представлена фотография образца кулирного трикотажа «с наклонными соединительными элементами [1].

Рисунок 1.12 – Двухслойный кулирный трикотаж «с наклонными соединительными элементами» [1].

Следует отметить, что протяжки-распорки всех рассмотренных переплетений и основовязаных, и кулирных, независимо от способа крепления, располагаются в межслойном пространстве перпендикулярно или под некоторым углом к внешним петельным слоям, в ненатянутом свободном состоянии (рис. 1.7, *б*; 1.13, *б*).

На рисунке 1.13 показаны схемы пространственного расположения соединительных протяжек между слоями кулирного трикотажа.




а) б)

Рисунок 1.13 – Двойной кулирный трикотаж с соединительными протяжками «knitted spacer fabrics»: а) петельная структура: 1, 2 – внешние петельные слои; 3 – протяжки между слоями; б) пространственное расположение протяжек.

В статье Башкова А. П. [21] отмечается, что работа внутренних распорок при сосредоточенной или распределённой по ограниченной площади нагрузке, будет распределяться на весь зональный массив распорок, делая более равномерными внутрениие напряжения. Распорки под действием нагрузки сгибаются в виде пространственной кривой, претерпевая деформации изгиба, сжатия и кручения, и при больших углах изгиба сопротивление деформации резко падает. Но, соседние распорки, изгибаясь, градиентно воспринимают нагрузку в режиме вязкоупругой среды [21].

Такой распорчатый трикотаж может сопротивляться деформациям, нормальным к его поверхности [21, 27], но, в силу характерных особенностей расположения протяжек, неустойчив к сдвиговым деформациям, поскольку в данных структурах трикотажа нить протяжки не является жёстким элементом конструкции переплетения, а работает как связка в системе – «два слоя трикотажа + распорки». Длина протяжек в такой системе значителльно превышает размер петли в слоях трикотажа и, потому, «распорки» только связывают или «распирают» два отдельных слоя трикотажа. Если изменить геометрическую схему расположения протяжек-распорок, упорядочить их повторяемость и

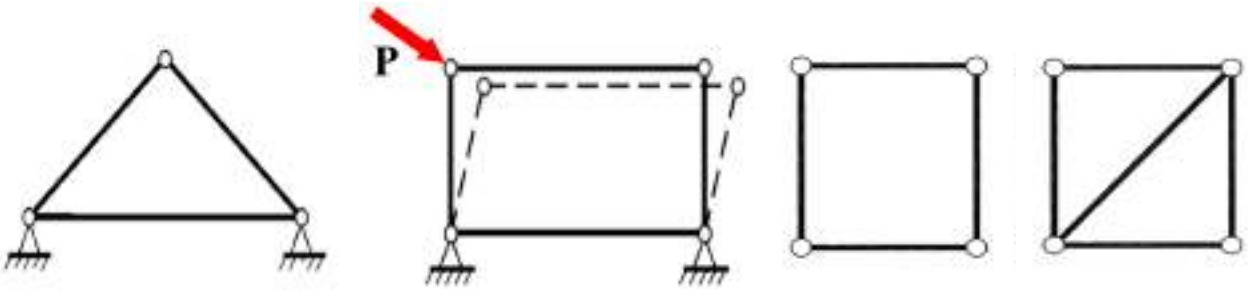
поменять углы наклона, то можно получить трикотажную распорчатую структуру с усиленной коснтрукцией и новыми физико-механическими показателями.

## 1.4 Разработка структурной схемы двойного кулирного трикотажа с межслойными протяжками

Для получения прочной конструкции распорчатого трикотажного материала и обеспечения заданных физико-механических свойств, необходимо получить структуру трикотажа устойчивую к внешним нагрузкам и деформациям различного характера [12, 22-26, 28].

Известно, что самой прочной строительной конструкцией является треугольник – это единственный многоугольник, являющийся жёсткой фигурой, не подверженной деформации. Треугольник составляет основу геометрически неизменяемой системы. Такая система называется строительной плоской фермой, различные конфигурации которой широко используются в строительстве [30]. Данная конструкция по многим механическим показателям, и прежде всего, по отношению прочности к весу или жесткости к весу, превосходит цельнометаллические материалы [28, 29, 112].

По условиям геометрической неизменяемости стержневых систем, геометрически неизменяемой системой (ГНС) является система, состоящая из трёх стержней, соединённых шарнирами в треугольник (рисунок 1.14, а). Изменение формы треугольной системы возможно только в связи с деформацией её элементов.




а) б) в) г)

Рисунок 1.14 – Стержневые шарнирные системы: а) треугольная; б) прямоугольная с приложенной внешней силой $P$; в) изменяемый четырёхугольник; г) неизменяемый четырёхугольник с пятым стержнем.

Если шарнирная система будет представлять прямоугольник, состоящий из четырёх стержней, то такая система перестаёт быть неизменяемой и получится геометрически изменяемая система. Форма данной системы может меняться при действии внешней силы и без деформации её элементов (рисунок 1.14, б) [28, 29].

По определению, ферма, состоящая только из треугольников, геометрически неизменяема, и любой её шарнирный треугольник можно рассматривать как основной [29].

Ферма образуется из основного шарнирного треугольника путём присоединения новых узлов, при этом каждого с помощью двух стержней, не лежащих на одной прямой [28].

На рисунке 1.15 показана простейшая неизменяемая строительная ферма, образованная из основного шарнирного треугольника $\Delta abc$, заштрихованого на схеме.

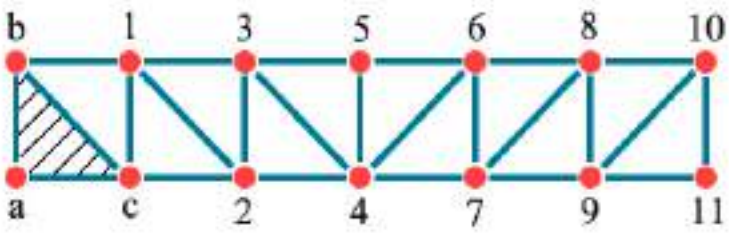



Рисунок 1.15 – Схема геометрически неизменяемой строительной фермы.

Существует зависимость между числом узлов и числом стержней, необходимым для получения простейшей фермы. Основной треугольник имеет три узла и три стержня; каждый из остальных присоединяемых узлов в количестве ($K$ – 3) прикрепляется двумя стержнями (рисунок 1.15). Поэтому полное число стержней в простейшей геометрически неизменяемой ферме:

$$S = 3 + 2(K - 3) \text{ или } S = 2K - 3, \quad (1.1)$$

где $S$ – число стержней фермы; $K$ – число её узлов [29].

Для фермы, представленной на рисунке 1.15, число узлов $K$ = 14, значит число стержней $S = 2K - 3 = 25$.

Если число стержней в составе фермы:

$$S < 2K - 3, \quad (1.2)$$

где $K$ – число её узлов, значит ферма не имеет минимального количества стержней, необходимого для образования геометрически неизменяемой системы, и такая система геометрически изменяема. Примером такой системы является четырёхугольник, (рисунок 1.14, б, в), в котором $S$ = 4; $K$ = 4; следовательно,

$$S = 4 < 2K - 3 = 2 \cdot 4 - 3 = 5. \quad (1.3)$$

Если в четырёхугольник вводится ещё одна диагональ – пятый стержень, то получается геометрически неизменяемая система (рисунок 1.14, г).

Используя данный принцип в организации последовательного расположения протяжек в структуре трикотажа, можно получить протяжки-распорки, как в геометрически неизменяемой системе фермы.

Строительная плоская ферма обладает высокими прочностными характеристиками, и широко используется при строительстве перекрытий зданий, мостов, сводов крыш, телевизионных башен и высоковольтных опор [28-30].

Фотография на рисунке 1.16 демонстрирует конструкцию самого длиного подвесного моста, основным силовым элементом которого являются шарные треугольники неизменяемой строительной фермы [109, 110].

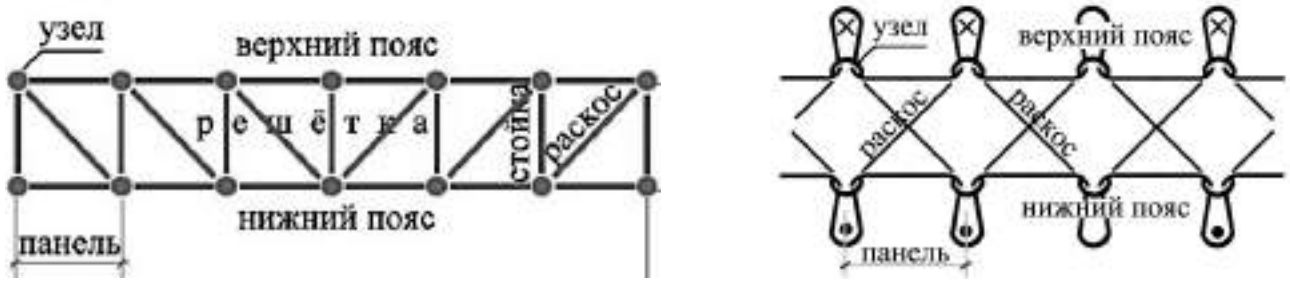
Рисунок 1.16 – Конструкция моста Акаси-Кайкё в Японии [109].

Теперь, путём экстраполяции элементов строительной механики на технологию трикотажа, проведём сравнение петельной структуры двойного кулирного трикотажа с конструкционной схемой строительной плоской фермы [30, 32-34].

На рисунке 1.17, *а* показана конструкция плоской фермы, которая представляет собой решетку из жестких стрежней, соединенных между собой в определённом порядке.

Стержни, расположенные двумя параллельными линиями, называются «панели» и образуют верхний и нижний «пояс» конструкции фермы. Эти «пояса» связаны друг с другом посредством стержней, не лежащих на одной прямой и попарно соединенных с «панелями» в жёстких или шарнирных «узлах». Один из этих стержней – «раскос» расположен под углом к линиям верхнего и нижнего «пояса», а другой стержень «стойка» расположен перпендикулярно к ним. Именно такая система расположения стержней создаёт прочную, неподвижную и неизменяемую конструкцию.

На рисунке 1.17, *б* представлена схема торцевого среза двойного кулирного переплетения, на которой петли и протяжки обозначены как соответствующие конструктивные элементы строительной фермы.




а) б)

Рисунок 1.16 – Схема строения: а) строительной конструкции плоской фермы; б) двойного кулирного переплетения с обозначениями соответствующих элементов конструкции строительной фермы.

Если в петельной структуре торцевого среза двойного кулирного трикотажа лицевой и изнаночный петельные слои рассматривать как верхний и нижний «пояс» конструкции плоской фермы, тогда протяжки, соединяющие остовы петель одного петельного слоя, будут представлять собой конструктивный элемент «панель», протяжки, соединяющие остовы петель соседних петельных слоев, конструктивный элемент «раскос», а сами остовы петель будут соответствовать конструктивному элементу «узел».

Анализ торцевых срезов известных главных и комбинированных двойных кулирных переплетений показал, что в их петельной структуре отсутствует элемент, который соединял бы остовы петель, расположенных в соседних петельных слоях друг напротив друга, и, который соответствовал бы элементу «стойка» в конструкции плоской фермы [9, 10, 97].

Структура протяжек двойного переплетения, показанного на рисунке 1.17, *б* соответствует четырёхугольнику, являющемуся изменяемой системой. Значит, согласно утверждению (1.2), «ферма» конструкции петельной структуры

двойного кулирного трикотажа не имеет минимального количества стержней, необходимого для образования геометрически неизменяемой системы.

Следует предположить, что отсутствие такой протяжки типа «стойка» в структуре двойного трикотажного материала приводит к значительному уменьшению его прочности и устойчивости (жесткости) при деформационных нагрузках. Поэтому необходимо привести количество протяжек-«стержней» в петельной структуре в соответствие полному числу стержней простейшей геометрически неизменяемой фермы, согласно формуле (1.1).

Для того чтобы получить конструкцию переплетения, образованную только треугольниками, необходимо ввести в четырёхугольник из протяжек дополнительную диагональ и превратить изменяемую систему в геометрически неизменяемую [28, 111]. Это будет протяжка, соединяющая петли игольниц двух фонтур вязальной машины, обозначенных на схеме рисунка 1.17, как «узлы».

Отсутствие похожего структурного элемента в петельной структуре трикотажа обуславливается кулирным процессом петлеобразования, при котором осуществляется последовательное образование петель из одной нити поочередно на каждой игле то одной, то другой игольницы двухфонтурной трикотажной машины [9, 97].

Для получения протяжки типа «стойка» в петельной структуре трикотажа необходимо разработать соответствующую конструктивную модель на основе схемы строительной плоской фермы, и найти способ получения дополнительной протяжки-диагонали при кулирном процессе петлеобразования.

Далее необходимо выработать образцы полученной конструкции, и провести испытания её прочностных характеристик для проверки гипотезы о влиянии на прочность системы структурного элемента «стойка».

Необходимо выработать технологический процесс получения трикотажа, позволяющий вывязывать конструкцию подобной структуры на стандартном плосковязальном оборудовании.

Затем, для достижения поставленных в работе целей исследования, необходимо выработать образцы трикотажа из высокомодульных текстильных

нитей. Необходимо, так же, разработать технологический процесс вязания трикотажа из высокомодульных нитей, позволяющий вырабатывать конструкцию данной структуры из высокомодульных нитей на стандартном плосковязальном оборудовании.

## Выводы по первой главе

1. Обзор отечественных и зарубежных информационных источников определил, что 3-D трикотаж с протяжками-распорками нашёл широкое применение в самых различных областях, как промышленный, медицинский и спортивный текстиль.
2. Анализ современных исследований в области разработок и проектирования конструкций трёхмерного трикотажа с соединительными межслойными элементами «knitted spacer fabrics» показал, что требуются качественно новые разработки высокотехнологичного 3-D трикотажа распорчатых структур с заданными физико-механическими свойствами.
3. Определено, что большое количество разработок в области проектирования трёхмерных структур трикотажа ведётся в основном в направлении основовязаного трикотажа с перекрещивающимися протяжками, и конструирование кулирного 3-D трикотажа распорчатых структур является актуальной научно-технической задачей.
4. Установлено, что актуальной технологической задачей является выработка трёхмерного 3-D технического трикотажа с межслойными распорками из высокомодульных нитей.
5. Определено, что для получения конструкций трёхмерного трикотажа, обеспечивающих заданные физико-механические свойства для различных сложных поверхностей пространственных форм, необходимо провести исследования по проектированию и разработке структур трикотажа из высокомодульных нитей.
6. Определён поэтапный подход к решению поставленных в работе задач по разработке конструкций кулирного 3-D трикотажа с распорками между слоями.

# 2. Разработка конструкций двухслойных структур трикотажа и исследование их физико-механических свойств

Создать пространственную структуру трикотажного полотна – это задача важная и нужная на сегодня, поскольку появляется возможность использовать такую структуру в различных сферах деятельности, в том числе, и в технической. Технический трикотаж нашёл применение в производстве композиционных материалов, и можно рассмотреть использование пространственной структуры трикотажа в качестве армирующего компонента композита [1, 19].

Использование в составе композита текстильного наполнителя, состоящего из высокопористых нитей (пряжи), даёт возможность матричному материалу плотнее заполнить структуру армирующего материала, значительно увеличивая прочность их соединения на границе сред, а следовательно, обеспечивает получение более высоких прочностных свойств полимерного композита [3, 12, 20, 22, 23, 25].

Основные требования, которые предъявляются к армирующему материалу - это прочность и устойчивость конструкции в процессе эксплуатации к восприятию внешних нагрузок, нагрузок, нормальных к поверхности, и, особенно, сдвиговых деформаций, свойственных слоистым композитам. Поэтому, необходимо получить устойчивую к нагрузкам и деформациям конструкцию трикотажа, и провести испытания её прочностных характеристик [19, 22].

В главе I была приведена схема строительной плоской фермы, имеющая высокие физико-механические показатели [21, 28, 29]. На основе данной схемы принято разработать соответствующую конструктивную модель структуры двойного кулирного трикотажа. И приведено предположение о том, что отсутствие протяжки типа «стойка» в структуре технического трикотажа значительно уменьшает его прочность и устойчивость (жесткость) при эксплуатации.

Отсутствие протяжки типа «стойка» обуславлено кулирным процессом петлеобразования, когда процесс петлеобразования происходит последовательно из одной нити поочередно на каждой игле двух игольниц двухфонтурной вязальной машины [31]. Для получения такой протяжки в петельной структуре кулирного трикотажа необходимо разработать схему, а так же процесс выработки на стандартном вязальном оборудовании.

## 2.1. Разработка конструктивных схем двойного кулирного трикотажа пространственной структуры

В процессе анализа торцевых срезов двойных кулирных переплетений установлено, что в петельных структурах отсутствует протяжка, соединяющая остовы петель, расположенные друг напротив друга в соседних петельных слоях. Такая протяжка соответствовала бы элементу «стойка» в конструкции плоской фермы, и её наличие в структуре двойного трикотажа могло способствовать увеличению упругости материала, усилению конструкции пеeплетения по прочности и устойчивости (жесткости) при деформационных нагрузках [30, 35, 36].

Для получения протяжки-распорки «стойка» в петельной структуре трикотажа были аналитически построены схемы комбинированных переплетений №1 и №2 на базе фанга, и №3 на базе трубчатой глади.

Переплетения №1 и №2 были разработаны для того, чтобы по отдельности исследовать влияние протяжек-распорок «раскос» и «стойка» на физико-механические показатели конструкций. Так, в структуру переплетения №1 включены только сдвиги игольниц на один игольный шаг, в структуру переплетения №2 – сдвиги игольниц и дополнительная футерная нить,

проложенная по линии «поясов», для их дополнительного укрепления. А в схеме переплетения №3 появляются все элементы конструкции треугольной фермы. Таким образом, сначала элементы «стойка» и «раскос» исследуются отдельно, а затем находится оптимальное решение схемы.

### *2.1.1. Конструкция комбинированного переплетения №1 на базе фанга. Трикотаж с перекрещивающимися протяжками, соединяющими парные иглы соседних игольниц*

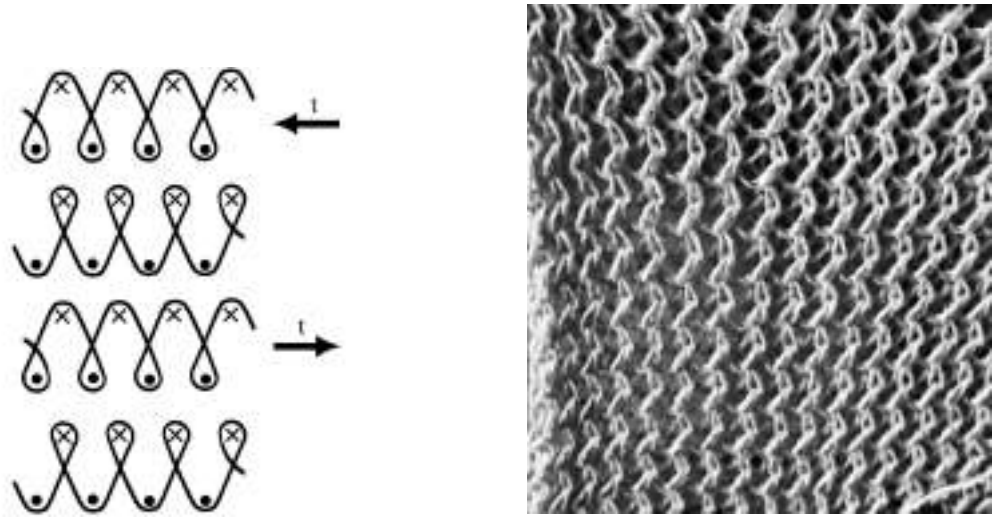
Структуры с протяжками характерны для кулирного трикотажа перекрёстных переплетений, в котором, в результате выполнения сдвигов игольниц, петельные столбики соседних петельных слоёв располагаются друг против друга, а отдельные протяжки, соединяющие эти петельные столбики, направлены перпендикулярно к петельным слоям трикотажа.

Комбинированное переплетение №1 является трикотажем перекрёстных переплетений на базе фанга, с ритмом чередования направлений сдвига игольницы на один игольный шаг $t$ после вывязывания каждого полного петельного ряда раппорта переплетения.

На рисунке 2.1 представлены структурная схема вязания комбинированного переплетения №1 и образец конструкции трикотажа.

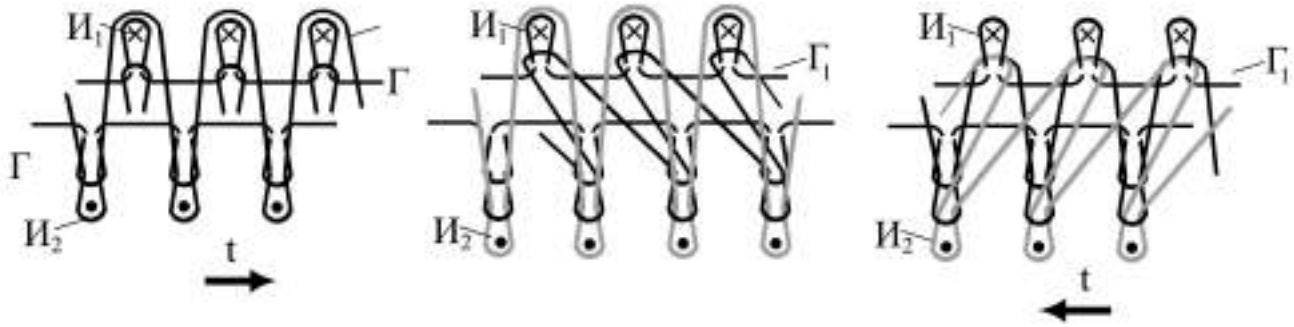
На рисунке 2.2 приведена графическая схема процесса вязания двойного кулирного трикотажа с перекрёстными протяжками, в котором петельные слои образуются переплетением фанг, а их соединение осуществляется протяжками.

В первом петельном ряду провязывается ряд базового переплетения фанг, образуя ряд глади $Г_2$ на игольнице $И_2$ и ряд набросков на игольнице $И_1$. Затем выполняется сдвиг передней игольницы $И_2$ на один игольный шаг $t$ (рисунок 2.1, *а*).



а) б)

Рисунок 2.1 – Комбинированное переплетение №1на базе фанга: а) графическая схема вязания; б) образец трикотажа при растяжении в направлении петельных столбиков.



а) б) в)

Рисунок 2.2 – Графическая схема процесса вязания трикотажа с перекрещивающимися протяжками, соединяющими парные иглы соседних игольниц: а) направление сдвига игольницы на один игольный шаг *t*; б) ряд фанга, провязанный на игольнице $И_2$ и ряд набросков на игольнице $И_1$, в) обратное направление сдвига игольницы на один игольный шаг *t*.

Во втором ряду провязывается новый ряд фанга, образуя ряд глади $Г_1$ на игольнице $И_1$, а на иглы игольницы $И_2$ прокладываются наброски (рис. 2.2, *б*).

После чего выполняется сдвиг передней игольницы $И_2$ на один игольный шаг $t$ в обратном направлении, и иглы игольницы $И_2$ возвращаются в исходное положение (рис. 2.2, *в*). В результате такого технологического процесса на иглах игольницы $И_1$ формируются два наброска.

Затем процесс повторяется: на иглах игольницы $И_1$ два наброска провязываются вместе при вязании ряда глади $Г_1$, а на иглы игольницы $И_2$ прокладываются наброски. После этого выполняется сдвиг передней игольницы $И_2$ на один игольный шаг $t$. Таким образом, ряд провязанных петель фиксирует полученные ранее наброски, и закрепляет пространственное расположение протяжки под углом к внешним петельным слоям, полученное в результате операции сдвига игольницы.

В результате всех операций получается конструкция, в которой перекрещивающиеся протяжки расположены под углом $45^0$ к внешним петельным слоям.

Выработка конструкции переплетения по данной схеме может выполняться на любом современном вязальном оборудовании.

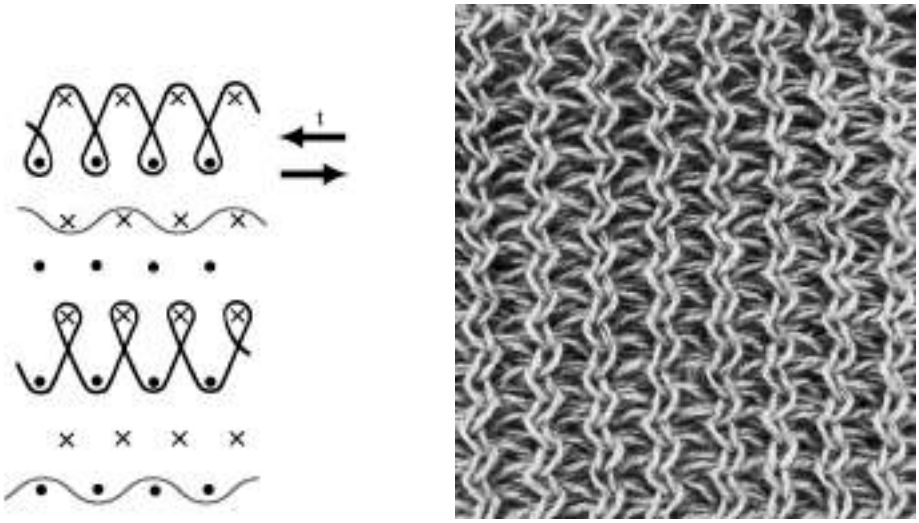
Недостатком данной структуры является раздвижка соседних петельных столбиков при приложении растягивающих и сдавливающих нагрузок, и превращение двойной структуры в квазиодинарную.

### *2.1.2. Конструкция комбинированного переплетения №2 на базе фанга. Трикотаж с перекрещивающимися протяжками, соединяющими парные иглы соседних игольниц и дополнительными футерными нитями*

Комбинированное переплетение №2 представляет собой трикотаж перекрёстных переплетений на базе фанга, с ритмом чередования направлений сдвига игольницы на один игольный шаг $t$ после вывязывания каждого полного

петельного ряда раппорта переплетения, и с дополнительным прокладыванием футерных нитей в отдельных петельных слоях трикотажа.

На рисунке 2.3 приведены графическая схема вязания комбинированного переплетения №2 на базе фанга и образец конструкции трикотажа.



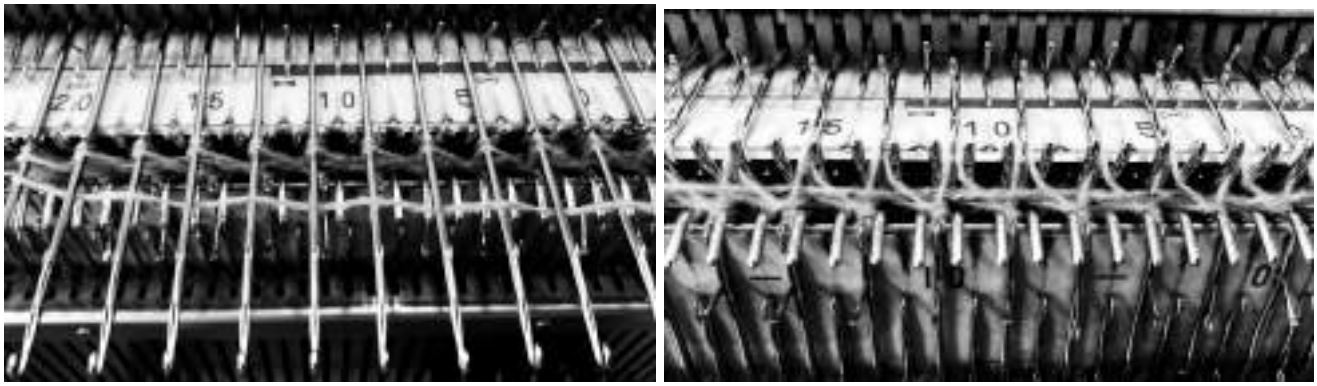
а) б)

Рисунок 2.3 – Комбинированное переплетение №2 на базе фанга: а) графическая схема вязания; б) образец конструкции трикотажа.

В первом петельном ряду провязывается ряд фанга, образуя ряд глади $Г_2$ на игольнице $И_2$ и ряд набросков на игольнице $И_1$. Затем иглы игольницы $И_1$ выставляются в крайнее положение *D* (рис. 2.4). На выдвинутые иглы игольницы $И_1$ прокладываются наброски дополнительной футерной нити. После чего выполняется сдвиг передней игольницы $И_2$ на один игольный шаг *t*. В результате такого технологического процесса на иглах игольницы $И_1$ формируются два наброска, а протяжки между слоями приобретают угол наклона относительно петельных слоёв.

На рисунке 2.4 представлены фотографии с фрагментами процесса вязания конструкции переплетения №2. Иглы задней игольницы $И_1$ выставлены в крайнее положении *D* (рис. 2.4, *а*), и на них проложена дополнительная футерная нить $Ф_4$. На рисунке 2.4, *б* показано расположение игл передней игольницы $И_2$, а так же

провязанных на ней набросков дополнительной футерной нити, при сдвиге игольницы на один игольный шаг *t*.



а) б)

Рисунок 2.4 – Процесс вязания конструкции трикотажа комбинированного переплетения №2 с дополнительными футерными нитями: а) иглы верхней игольницы выдвинуты в положение *D*; б) сдвиг игольницы $И_2$ на один игольный шаг *t* с провязанными на игольнице $И_2$ набросками дополнительной футерной нити.

Во втором ряду, провязывается новый ряд фанга, образуя ряд глади $Г_1$ на игольнице $И_1$, при этом два наброска на игольнице $И_1$ провязываются вместе, а на иглы игольницы $И_2$ прокладываются наброски.

Далее иглы игольницы $И_2$ выставляются в крайнее положение *D*. На выдвинутые иглы игольницы $И_2$ прокладываются наброски футерной нити. Далее провязывается новый ряд фанга, образуя ряд глади $Г_2$ на игольнице $И_2$, при этом два наброска игольницы $И_2$ провязываются вместе, а на иглы игольницы $И_1$ прокладываются наброски. После этого выполняется сдвиг передней игольницы $И_2$ на один игольный шаг *t* в обратном направлении, и иглы игольницы $И_2$ возвращаются в исходное положение. В результате такого технологического процесса на иглах игольницы $И_2$ формируются два наброска. Далее операция повторяется на иглах другой игольницы.

На рисунке 2.5 показана графическая схема петельной структуры комбинированного переплетения №2 с дополнительными футерными нитями. На

схеме обозначены: $И_1$ – задняя игольница, $И_2$ – передняя игольница, $Ф_1$ и $Ф_2$ – перекрещивающиеся протяжки, соединяющие парные иглы соседних игольниц, и $Ф_4$ – протяжки дополнительных футерных нитей.

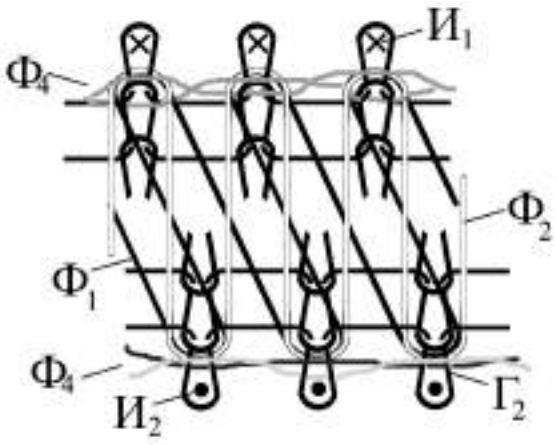



Рисунок 2.5 – Графическая схема петельной структуры комбинированного переплетения №2 с дополнительными футерными нитями: $И_1$ – задняя игольница; $И_2$ – передняя игольница; $Ф_1$ и $Ф_2$ – перекрещивающиеся протяжки, соединяющие парные иглы двух игольниц; $Ф_4$ – протяжки дополнительных футерных нитей.

Полученное переплетение на базе фанга, укреплённое дополнительными футерными нитями, становится малорастяжимым по ширине. Недостатком данной структуры является раздвижка соседних петельных столбиков при приложении растягивающих, вертикально направленных нагрузок, а так же уплощение при сдавливающих нагрузках, нормальных к поверхности трикотажа, и превращение двойной структуры в квазиодинарную.

Трикотаж, полученный по предложенной схеме, нерастяжим в направлении петельных рядов, получивших дополнительную фиксацию проложенными дополнительными футерными нитями. И сильно растяжим по направлению петельных столбиков, поскольку спроектирован на базе фанга, имеющего сильно растяжимую структуру, а дополнительных нитей в направлении петельных столбиков в структуре комбинированного переплетения №2 нет.

Введение дополнительных футерных нитей в структуру трикотажа обеспечивает жёсткую связь петельных столбиков каждого петельного ряда друг с другом, что предотвращает их раздвижку при приложении растягивающих эксплуатационных нагрузок, в данном случае, в направлении петельных рядов. Таким образом, трикотаж комбинированного переплетения №2 сохраняет свою чёткую двухслойную структуру при одноосном растяжении, что обеспечивает степень и определённое направление армирования при использовании его в составе композита. Однако конструкция уплощается до квазиодинарной при нагрузках, нормальных к поверхности трикотажа.

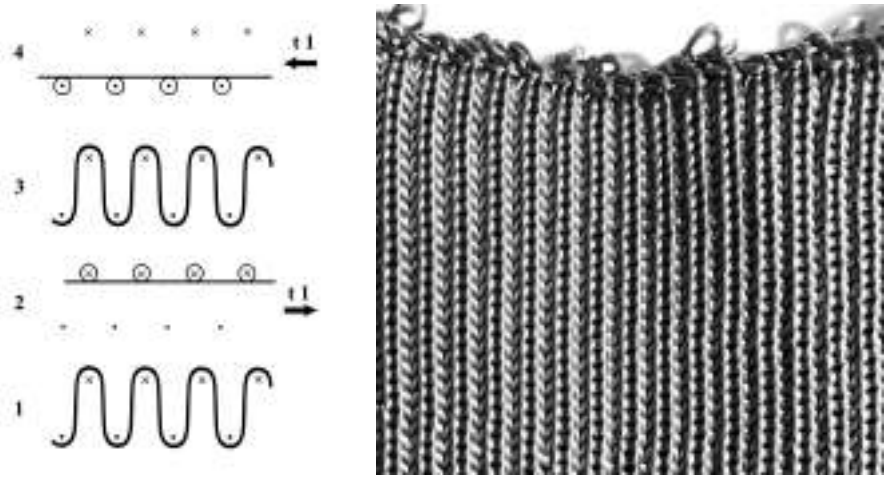
Выработка конструкции комбинированного переплетения №2 может выполняться на любом современном вязальном оборудовании.

### *2.1.3. Конструкция комбинированного переплетения №3 на базе трубчатой глади. Трикотаж с перекрещивающимися протяжками футерной нити*

Получение протяжек типа «стойка» в петельной структуре двойного кулирного трикотажа можно осуществить при использовании в процессе петлеобразования дополнительной технологической операции – сдвига игольницы на один игольный шаг *t*, а так же прокладывания дополнительных футерных нитей.

Чередование операций прокладывания нитей на иглы и возвратно-поступательных сдвигов игольниц приводит к перекрещиванию протяжек, соединяющих остовы петель, висящих на парных иглах соседних игольниц, что в готовом трикотаже заставляет остовы этих петель располагаться друг против друга, а соединяющие их протяжки – перпендикулярно к петельным слоям двойного трикотажа.

На рисунке 2.6 показана графическая схема конструкции переплетения №3 на базе трубчатой глади со сдвоенными протяжками типа «стойка» и «раскос» и образец конструкции переплетения.



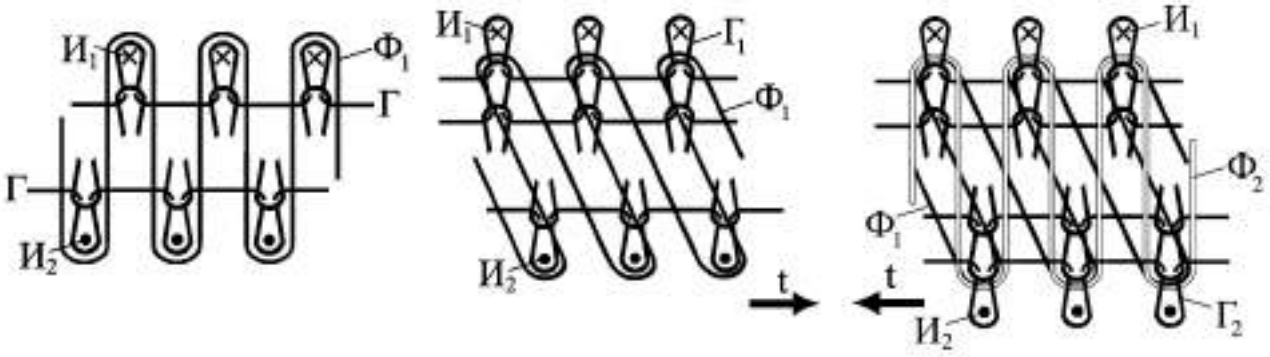

а) б)

Рисунок 2.6 – Двойной кулирный трикотаж комбинированного переплетения №3 на базе трубчатой глади: а) графическая схема вязания; б)образец конструкции.

В первом петельном ряду провязывается ряд трубчатой глади, образуя ряд глади $Г_2$ на игольнице $И_2$ и ряд глади $Г_1$ на игольнице $И_1$. В следующем ряду на все иглы двух игольниц $И_1$ и $И_2$ последовательно прокладывается футерная нить $Ф_1$ (рис. 2.7, *а*). Затем провязывается петельный ряд глади $Г_1$ на иглах одной игольницы $И_1$. Следующей операцией выполняется сдвиг передней игольницы $И_2$, содержащей наброски, на один игольный шаг *t* (рис. 2.7, *б*).

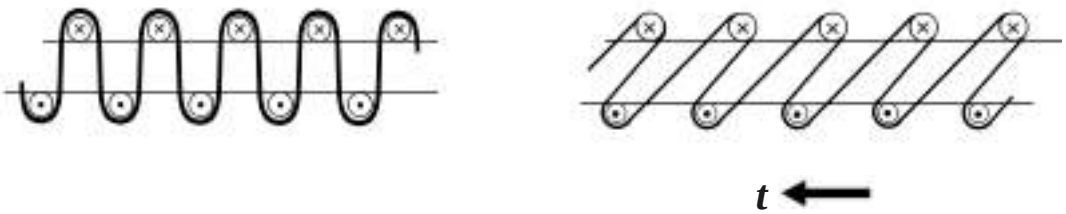
Далее на иглы обеих игольниц прокладывается футерная нить $Ф_2$. В следующем петельном ряду провязывается ряд глади $Г_2$ только на иглах второй игольницы $И_2$, а сдвиг передней игольницы $И_1$ на один игольный шаг *t* выполняется в обратном направлении (иглы игольницы $И_1$ возвращаются в исходное положение) (рис. 2.7, *в*). В результате такого технологияческого процесса образуется трикотаж с перекрещивающимися протяжками футерных нитей $Ф_1$ и $Ф_2$.

На рисунке 2.8 представлены графические схемы и фотографии операций прокладывания футерной нити на иглы обеих игольниц и сдвига предней игольницы $И_2$ на один игольный шаг.

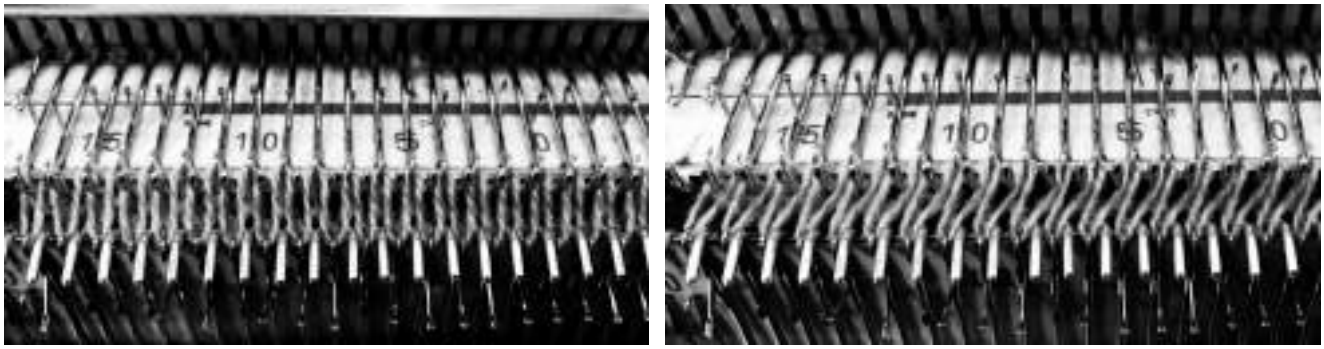



а) б) в)

Рисунок 2.7 – Графическая схема процесса вязания конструкции трикотажа №3 на базе трубчатой глади.




а) б)



в) г)

Рисунок 2.8 – Графические схемы и фотографии процесса выработки конструкции переплетения №3 на базе трубчатой глади: а), в) прокладывание футерной нити на иглы двух игольниц; б), г) сдвиг предней игольницы $И_2$ на один игольный шаг *t*.

На рисунке 2.9 показана графическая схема пространственного изображения петельной структуры трикотажа комбинированного переплетения №3, на которой обозначены структурные элементы.

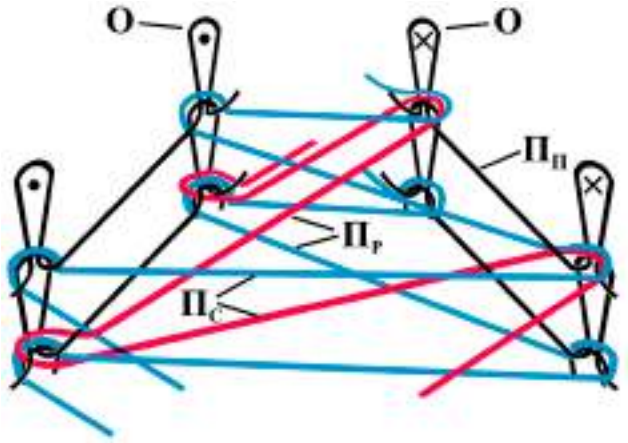



Рисунок 2.9 – Графическая схема петельной структуры комбинированного переплетения №3, где *О* – остовы петель; $П_с$ – протяжки типа «стойка»; $П_р$ – протяжки типа «раскос».

Необходимо проверить соответствие элементов петельной структуры комбинированного переплетения №3 элементам схемы строительной треугольной фермы, для чего обратимся к рисунку 2.10.

а) б)

Рисунок 2.10 – Сопоставление элементов петельной структуры трикотажа переплетения №3 и строительной треугольной фермы: а) схема строительной фермы; б) конструкция переплетения с перекрещивающимися протяжками футерной нити, где *О* – элемент «узел», $П_п$ – элемент «панель», $П_с$ – протяжки – элементы «стойка», $П_р$ – протяжки – элементы «раскос».

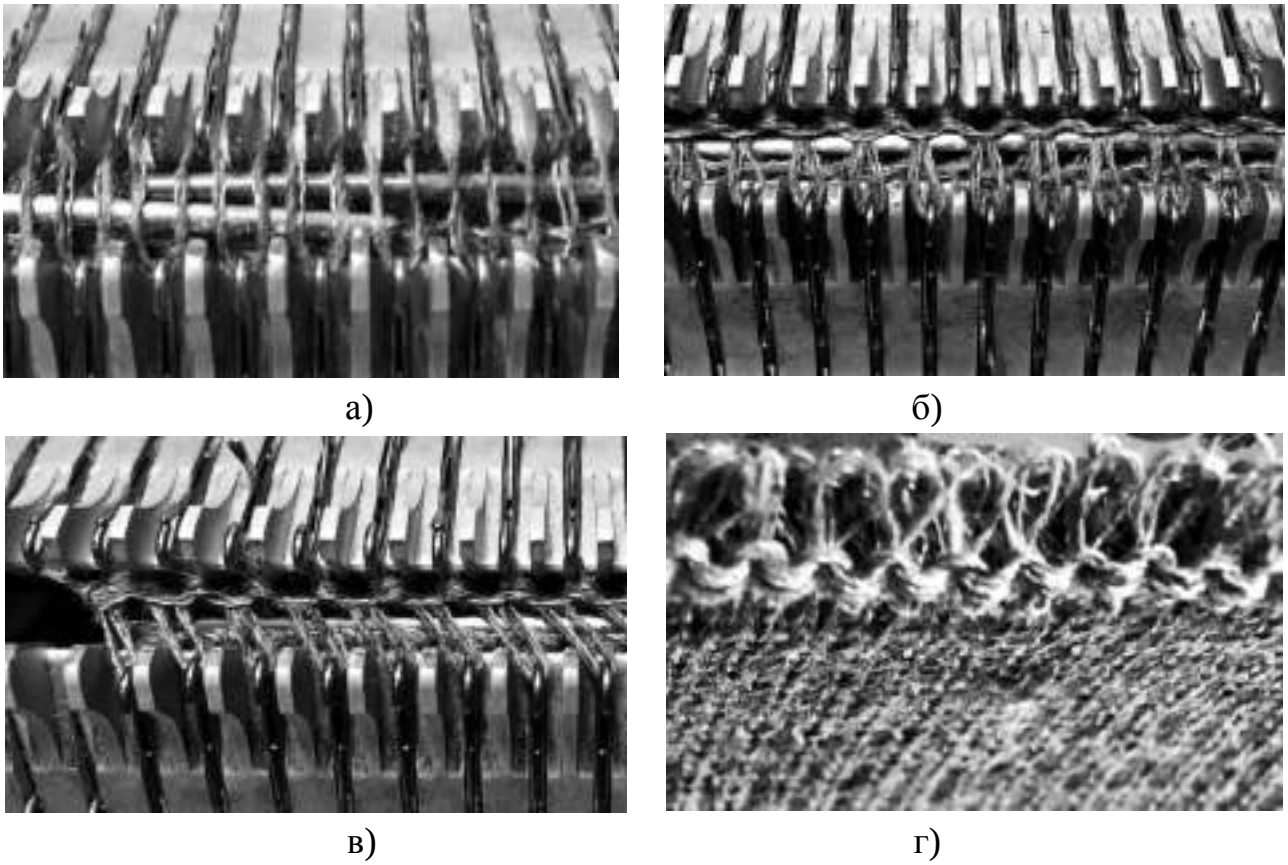
Следует заметить, что в данной структуре трикотажа остовы петель *О* соответствуют элементу «узел», перекрещивающиеся протяжки футерных нитей $Ф_1$ и $Ф_2$, соединяющие парные остовы петель *О*, расположенных друг против друга в соседних петельных слоях, образуют сдвоенные протяжки $П_с$, соответствующие элементу фермы «стойка». Перекрещивающиеся протяжки футерных нитей $Ф_1$ и $Ф_2$, соединяющие остовы петель соседних петельных пар , образуют протяжки $П_р$, соответствующие элементу фермы «раскос», с противоположным углом наклона. Сравнение элементов схем строительной плоской фермы и конструкции переплетения №3 показало, что конструкция двойного трикотажа содержит все элементы строительной конструкции плоской фермы [21], [29], [30].

Процесс выработки образцов конструкции трикотажа переплетения №3 с перекрещивающимися протяжками футерной нити показал, что для вязания трикотажа по данной технологии необходима дополнительная оттяжка полотна.

На фотографиях, представленных на рисунке 2.11, а-в, показаны спицы дополнительной оттяжки трикотажного полотна, которые прокладывались на протяжки петель, соединяющие петельные ряды, в зеве вязальной машины. Так же приведена фотография торцевого среза конструкции трикотажа (рис. 2.11, *г*).

Спицы оттяжки перекладывались на новый ряд после каждой операции прокладывания ряда футерных набросков. Это необходимо, поскольку на каждой игле одной из игольниц $И_1$ или $И_2$ в процессе вязания образуется по три не провязанных наброска одновременно. Дополнительная оттяжка требуется для удерживания петель на иглах, чтобы избежать произвольного сброса петель с игл до прохода каретки. Такой процесс вязания возможно осуществить на машинах, оснащённых платинами фронтальной оттяжки, системой валиков или прутковым механизмом [8, 38].

На рисунке 2.12 представлена фотография торцевой части конструкции переплетения №3.



а) б)

в) г)

Рисунок 2.11 – Процесс выработки трикотажа переплетения №3: а) прокладывание футерной нити на иглы двух игольниц; б) провязывание ряда глади на задней игольнице $И_1$; в) сдвиг передней игольницы $И_2$ на один игольный шаг $t$; г) образец трикотажа, профильная поверхность торцевого среза.

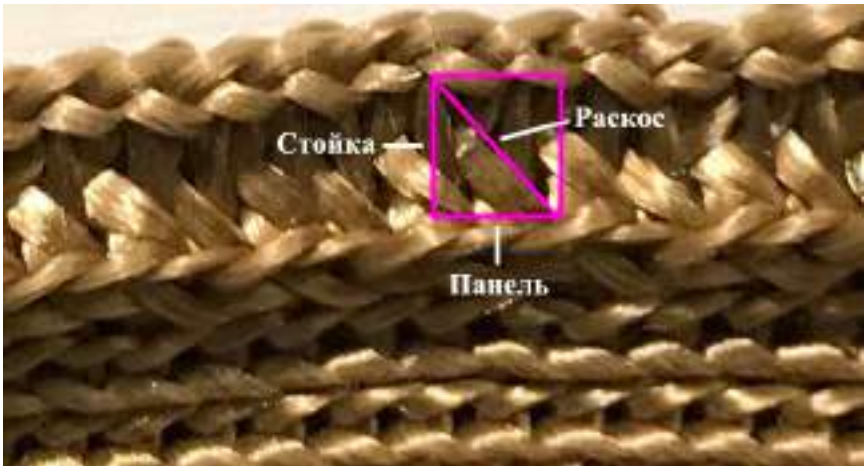



Рисунок 2.12 – Торцевая сторона образца трикотажа комбинированного переплетения №3 на базе трубчатой глади; схема расположения протяжек-распорок.

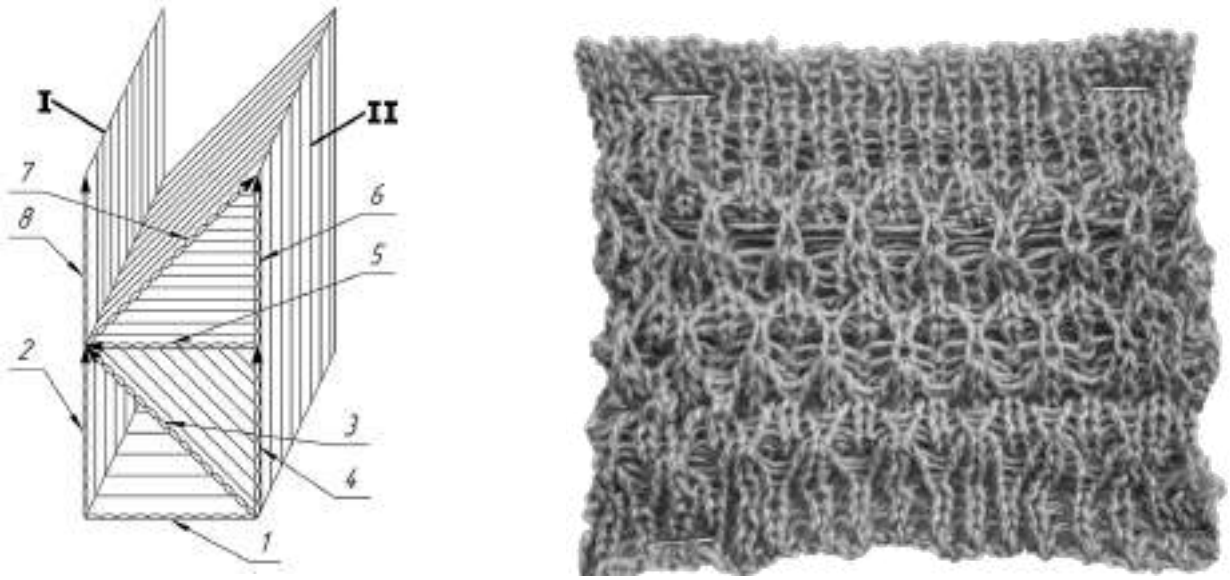
Составными элементами строительной плоской фермы являются «стойка», «панель» и «раскос». В исследовании была поставлена задача получить элемент «стойка» в конструкции трикотажной структуры. На рисунке видно, что расположенные на торцевой стороне образца трикотажа протяжки составляют все конструктивные элементы строительной фермы «панель», «раскос», а так же искомый элемент «стойка», который необходимо было спроектировать в конструкции трикотажа.

### *2.1.4. Конструкция трикотажа крупноячеистой структуры с послойным образованием элементов «стойка» и «раскос»*

Воспроизведение конструктивных элементов строительной плоской фермы – «панели», «стойка» и «раскос», (рис. 2.10, а), в элементах петельной структуры двойного кулирного трикотажа можно получить путём вязания слоёв, имитирующих отдельные детали конструкции. Для этого возможно использовать в процессе выработки операции переноса целого ряда (слоя) петель с одного внешнего петельного слоя на другой [104].

На рисунке 2.13 представлена пространственная схема последовательности и направлений формирования отдельных участков переплетения, а так же, связанный по данной схеме, образец конструкции трикотажа крупноячеистой структуры.

На схеме показаны лицевой *I* и изнаночный *II* петельные слои, которые можно условно рассматривать как элементы типа «панели», внутрениие горизонтальные петельные слои *1 – 5*, в качестве элементов типа «стойка», а внутрениие вертикальные петельные слои *3, 7* в качестве элементов типа «раскос».



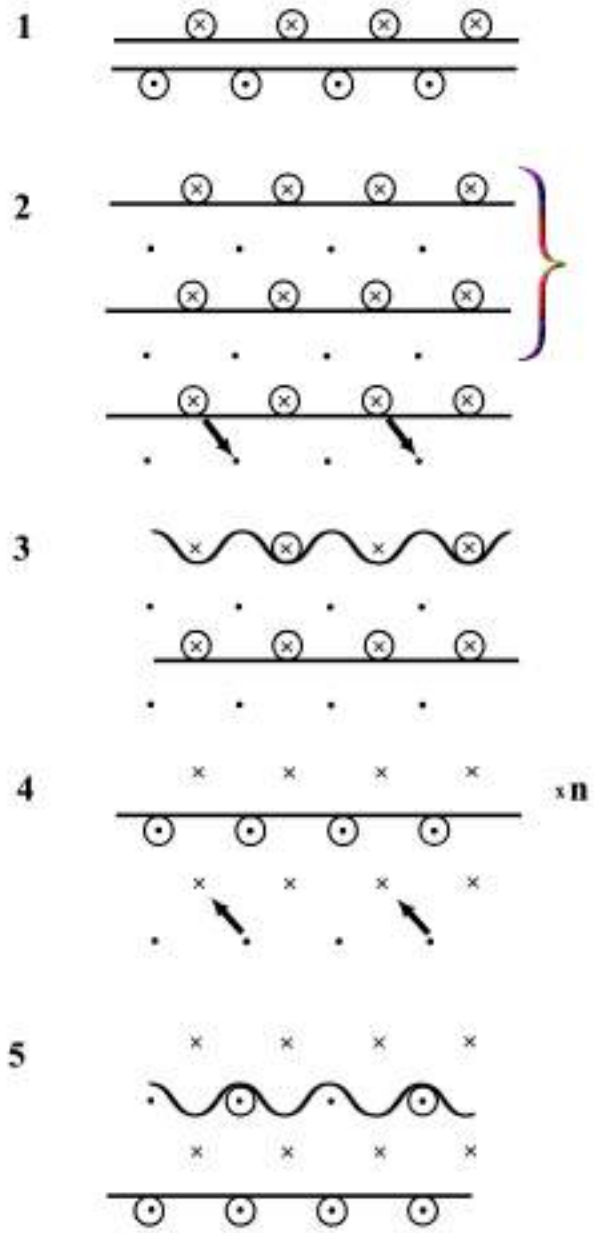

а) б)

Рисунок 2.13 – Трикотаж крупноячеистой структуры: а) пространственная схема последовательности и направлений формирования отдельных участков; б) образец трикотажа.

На рисунке 2.14 приведена графическая схема процесса вязания трикотажа крупноячеистой структуры, и даны пояснения всех этапов процесса вязания.

Рассмотрим программу процесса вязания двойного кулирного трикотажа с внутренним горизонтальным слоем типа «стойка», в котором все петельные слои образуются переплетением трубчатая гладь *Г*. Наработка участка *1* в виде валика осуществляется черезигольной гладью на иглах игольницы $И_1$. Число рядов в валике определяется заданной толщиной армирующего трикотажа, типом механизма оттяжки и возможным расстоянием между игольницами (величиной зева).

Для вязания петель валика иглы игольницы $И_1$ выставляются в положение *D* в последовательности через одну иглу, как показано на фотографии рисунка 2.15. Затем, после получения необходимого количества рядов в валике, осуществляется перенос провязаннных петель валика на иглы игольницы $И_2$. При переносе последнего ряда валика на иглы соседней игольницы формируется горизонтальный участок *1* – слой типа «стойка» (рис. 2.13, *а*).




1. Базовое переплетение трубчатая гладь.

2. Наработка участка *I* в виде валика черезигольной гладью. Число рядов в валике определяется заданной толщиной армирующего трикотажа, типом механизма оттяжки и величиной зева.

2-а. Перенос последнего ряда валика на иглы соседней игольницы, формирование участка *1*.

3. Наработка вертикального участка *2* на иглах *I* игольницы.

4. Наработка участка *3* в виде валика черезигольной гладью на иглах *II* игольницы.

4-а. Перенос последнего ряда участка *3* на иглы *II* игольницы. Формирование наклонного участка *3*.

5. Наработка вертикального участка *4* на иглах *II* игольницы.

Далее происходит повтор всей последовательности данных операций со сменой игольниц.

Рисунок 2.14 – Графическая схема вязания трикотажа крупноячеистой структуры, с пояснением этапов процесса вязания.

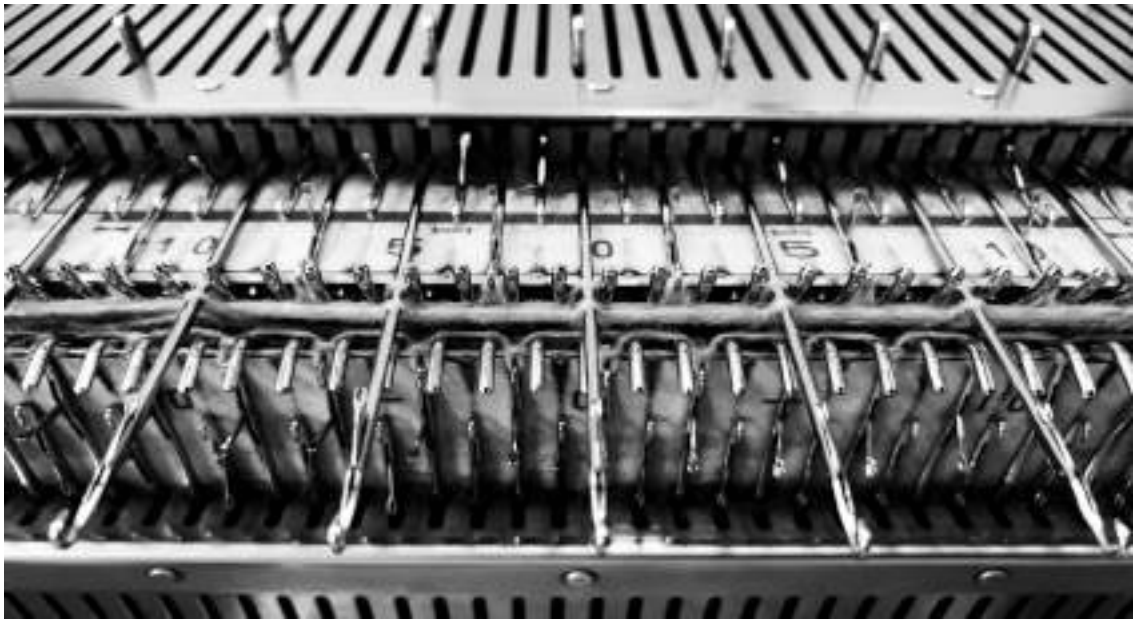


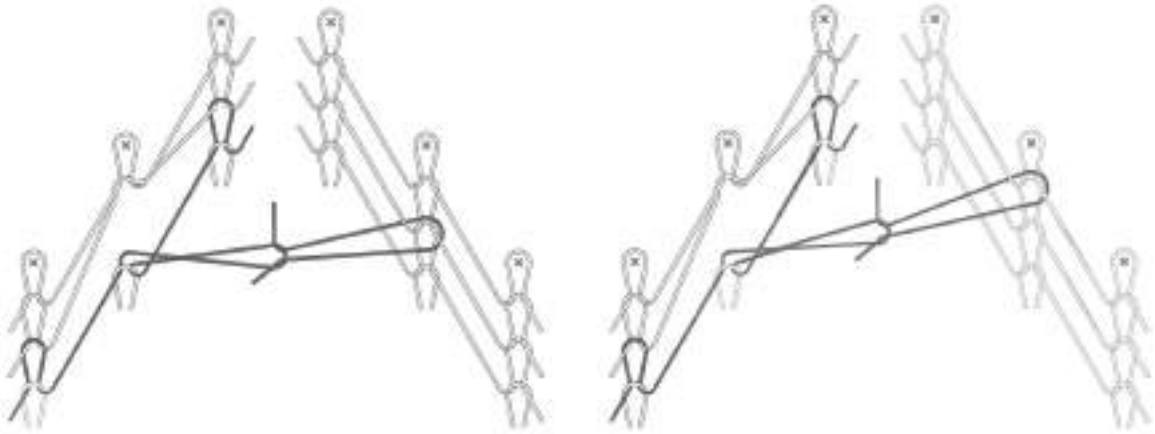
Рисунок 2.15 – Иглы игольницы $И_1$, выставленные в положение *D*.

Затем выполняется наработка валика и вязание петельных рядов глади $Г_1$ вертикального участка *2* на иглах одной игольницы $И_1$. Далее происходит наработка участка *3* в виде валика на иглах игольницы $И_2$. Для этого иглы игольницы $И_2$ выставляются в положение *D*, и провязывается заданное число рядов валика. После этой опреации осуществляется перенос провязаннных петель валика на иглы игольницы $И_1$. Перенос последнего ряда валика на иглы соседней игольницы формирует наклонный участок *3* типа «раскос». Затем на каждой из игл игольницы $И_2$ нарабатывается вертикальный участок *4*, и выполняется вязание петельных рядов глади $Г_2$. Далее процесс вязания петельной структуры повторяется со сменой игольниц.

Недостатком трикотажа данной структуры является формирование на поверхности внешних петельных слоёв полусквозных ажурных отверстий (рисунок 2.13, *б*), образующихся в результате черезигольного набора петель ряда. Способы закрытия отверстий показаны далее (раздел 2.1.6).

На рисунке 2.16 представлена схема петельной структуры двойного кулирного трикотажа с внешними и внутренними петельными слоями – «панели», «стойка» и «раскос», где показаны варианты изменения угла переноса ряда

валика на иглы соседней игольницы относительно петельного ряда, на который переносятся петли валика.



а) б)

Рисунок 2.16 – Петельная структура двойного кулирного трикотажа с внешними и внутренними петельными слоями – «панели», «стойка» и «раскос».

В результате такого технологияческого процесса получается трикотаж, в петельной структуре торцевого среза которого лицевой *I* и изнаночный *II* петельные слои можно рассматривать как верхний и нижний «пояс» и «панели» конструкции плоской фермы (рис. 2.10, а и 2.13, а). Тогда внутренний горизонтальный слой, проходящий в виде горизонтального валика и соединяющий остовы петель двух петельных слоёв, будет представлять собой конструктивный элемент «стойка», а внутренний вертикальный слой, проходящий в виде вертикального валика и соединяющий петели соседних петельных слоев под углом, конструктивный элемент «раскос». Таким образом, данный двойной кулирный трикотаж содержит в своей петельной структуре все элементы строительной конструкции плоской фермы. Наличие горизонтального и вертикального петельных слоёв типа «стойка» и «раскос» в структуре армирующего трикотажного материала позволит значительно увеличить его прочность и устойчивость к восприятию внешних нагркзок при эксплуатации.

Экспериментальная выработка образцов трикотажа данного переплетения не вызвала технологических затруднений и показала, что его получение можно осуществить на ручном и автоматическом плосковязальном оборудовании.

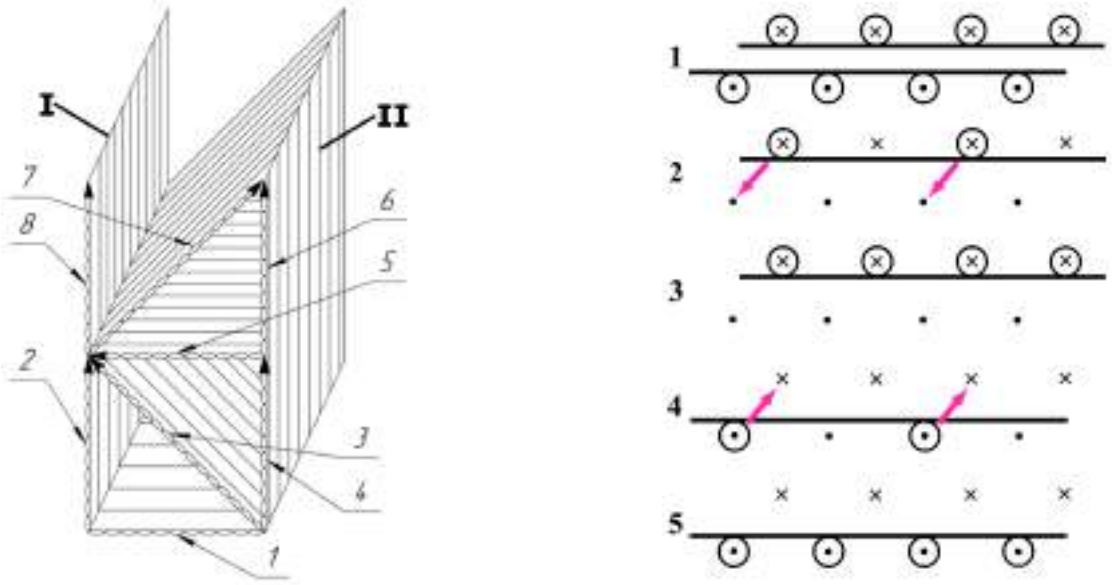
### *2.1.5. Конструкция объёмного трикотажа мелкоячеистой структуры с послойным образованием элементов «стойка» и «раскос»*

Принцип использования протяжек типа «стойка» и «раскос» в петельной структуре крупноячеистого трикотажа, изложенный на графической схеме рисунка 2.13, можно представить по-другому, если несколько изменить последовательность вязания. Основная пространственная схема будет та же, что и в случае с крупноячейстой структурой, но некоторые детали и принцип вязания мелкоячеистого трикотажа позволят избежать формирования на внешних петельных слоях довольно крупных полу-сквозных ажурных отверстий (рисунок 2.13, *б*), образующихся в результате переноса части петель внутреннего петельного слоя на игольницу другого петельного слоя.

На рисунке 2.17 приведена графическая схема процесса вязания и схема последовательности и направлений формирования отдельных участков двойного мелкоячеистого кулирного трикотажа с внутренним горизонтальным слоем типа «стойка», в котором петельные слои образуются базовам переплетением трубчатая гладь.

Наработка участка *1* (рис. 2.17, *а*) в виде валика осуществляется черезигольной гладью на иглах игольницы $И_1$. Число рядов в валике определяется заданной толщиной армирующего трикотажа, типом механизма оттяжки и расстоянием между игольницами (величиной зева). Иглы игольницы $И_2$ выставляются в положение *D* через одну иглу, как показано на рисунке 2.15, и так нарабатывается участок в виде валика черезигольной гладью.

Число рядов в валике определяется заданной толщиной армирующего трикотажа, типом механизма оттяжки и величиной зева (рисунок 2.17, *б*-2). Затем, наработанные петли валика переносятся на иглы игольницы $И_1$, формируя участок *1*. Далее на всех иглах игольницы $И_2$ провязывается заданное число рядов (рисунок 2.17, *б*-3). Так происходит наработка вертикального участка *3* на иглах игольницы $И_2$.




а) б)

Рисунок 2.17 – Трикотаж мелкоячеистой структуры: а) схема последовательности и направлений формирования отдельных участков; б) графическая схема.

Процесс вязания зеркально повторяется на игольнице $И_1$: иглы игольницы $И_1$ выставляются в положение *D* через одну иглу, и нарабатывается участок в виде валика черезигольной гладью, как на игольнице $И_2$ (рис. 2.17, *б*-4). Число связаных рядов в валике одинаковое во всех аналогичных рядах преплетения или заданное, в зависимости от требуемых технических условий. Наработанные петли валика переносятся с игольницы $И_1$ на иглы игольницы $И_2$, формируя участок *1*. Дальнейшее вязание повторяется со сменой игольниц до получения полотна нужного размера.

В результате такого технологияческого процесса получается конструкция трикотажа, в сруктуре которой циклически повторяются треугольные фигуры. Таким образом, данный двойной кулирный трикотаж мелкоячеистой структуры содержит элементы строительной конструкции плоской фермы, полученные путём переноса плоскостей, образованных петельными рядами черезигольной глади.

На рисунке 2.18 представлена конструкция трикотажа мелкоячеистой структуры, где видна толщина трикотажа по торцевой стороне образца.

а) б)

Рисунок 2.18 – Образец конструкции трикотажа мелкоячеистой структуры:
а) внешний петельный слой; б) торцевая поверхность.

Торцевой срез мелкоячеистого трикотажа представляет все элементы конструкции плоской фермы «стойка» и «раскос», что позволит армирующему трикотажу данной структуры обеспечивать оптимальные анизотропные свойства в составе композиционного материала [12, 16, 20].

Преимуществом данной структуры является возможность увеличить размер внутренних ячеек трикотажа за счет увеличения числа петель внутренних валиков, параметры которого задаются при проектировании трикотажа.

Выработка опытных образцов трикотажа данной конструкции показала, что его получение можно осуществить на ручном и автоматическом плосковязальном оборудовании.

## 2.2 Исследование физико-механических свойств разработанных конструкций трикотажа

Создание качественной современной текстильной продукции зависит от уровня используемых технологий и качества сырья, и всегда сопровождается поиском лучших решений [38]. Для подтверждения целесообразности выработки образцов трикотажа из высокомодульных нитей, а так же понимания эффективных технологических режимов выработки разработанных конструкций из высокомодульных нитей, необходимо провести анализ влияния внешних нагрузок на образцы конструкций и определить параметры деформаций растяжения до разрыва.

Экспериментальное исследование разработанных схем переплетений необходимо для определения физико-механической прочности конструкций, а так же анализа влияния протяжек-распорок между петельными слоями трикотажа на показатели сопротивления при приложении нагрузок продольного растяжения и упругости полотна при восприятии нагрузок, нормальных к поверхности.

### *2.2.1 Параметры выработанных образцов трикотажа*

Для исследования закономерностей изменения физико-механических свойств разработанных конструкций, выработаны образцы трикотажа комбинированных переплетений №1, №2 на базе фанга и №3 на базе трубчатой глади.

Для проведения сравнительного анализа физико-механических показателей разработанных конструкций переплетений №1, №2 и №3 с показателями свойств традиционных кулирных переплетений гладь, трубчатая гладь, ластик 1х1, фанг, полуфанг, были выработаны соответствующие образцы трикотажа данных переплетений. Линейные размеры элементарных проб – 50 х 200 мм.

Выработка образцов проводилась на двухфонтурной плосковязальной машине 5-го класса Singer System, технические характеристики которой приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры двухфонтурной плосковязальной машины Singer Sistem

| Тип машины | Единица измерения | Плосковязальная машина Singer Sistem |
|---|---|---|
| Класс | – | 4,5G (5 мм) |
| Ширина игольницы | мм | 900 |
| Количество петлеобразующих систем | шт | 1 |
| Скорость каретки | м/с | 0,9 |
| Количество фиксированных положений регулятора плотности | шт | 12 |
| Мощность электродвигателя EMS-2 | Вт | 2200 |

Выработка образцов кулирного трикотажа, выбор оборудования для испытаний, а так же проведение испытаний проходили по стандартным методикам [45-47].

Отвязанные образцы, снятые с машины, отпаривались, отлёживались в течение 12 часов, затем испытывались по стандартной методике [49].

Переплетение трикотажа и вид нити, используемой для его выработки, представляют основные характеристики, определяющие свойства полотна [8, 9]. Некоторые значения характеристик структуры трикотажа являются стандартными

показателями качества, такие как плотность полотна и линейная плотность нитей. Наряду с этим, поверхностная плотность трикотаж $\rho_S$ , г/м$^2$ является характеристикой массы трикотажного полотна и косвенной характеристикой его толщины. Толщина и масса трикотажа зависят от его структуры, которая определяется размерами, формой и взаимным расположением составляющих его элементов [9, 31, 50]. Плотность трикотажа влияет на физико-механические свойства, в том числе и на разрывную нагрузку трикотажного полотна [50-52].

Фактическую поверхностную плотность трикотажных полотен $\rho_S$ , выполненных одним переплетением по всей длине, определяют по формуле:

$$\rho_S = \frac{\sum m}{\sum S},$$

$m -$ масса образца, г; $S -$ площадь образца, м$^2$ [8]. В таблице 2.5 представлены расчётные данные по поверхностной плотности $\rho_S$ выработанных образцов трикотажа.

Плотность трикотажа – поверхностная $\rho_S$ и по горизонтали $П_Г$ и вертикали $П_В$ – определялась экспериментально по пяти выработанным образцам; измерение плотности вязания по горизонтали и по вертикали проводилось после снятия обрацов с машины, в свободном состоянии. Для определения поверхностной плотности $\rho_S$ (г/м$^2$) были взвешены шесть квадратов каждого переплетения размером 5х5 см [10]. Данные по поверхностной плотности и плотности по горизонтали $П_Г$ и вертикали $П_В$ приведены в таблицах 2.3, 2.4.

Между индивидуальными отклонениями от средних показателей и флуктуацией значений признака существует прямая зависимость: чем сильнее колебание значений, тем больше отклонения его значений от средней величины и менее устойчив изучаемый показатель. Совокупность считается однородной, если значение коэффициента вариации V не превышает 33%: при V < 10% вариация признака слабая; при 10% < V < 25% – вариация средняя; при V > 25% – вариация сильная [51, 52].

Таблица 2.3 – Плотность трикотажа по горизонтали $П_Г$, пет/дм

| № образца | Гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Полу-фанг | Переплетение | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | №1 | №2 | №3 |
| 1 | 32 | 26 | 16 | 16 | 14 | 13 | 16 |
| 2 | 33 | 28 | 17,2 | 16,7 | 14,5 | 12,4 | 15,4 |
| 3 | 34 | 26,2 | 19,5 | 15,8 | 14,8 | 12,5 | 16,7 |
| 4 | 31 | 25,4 | 18,5 | 17,1 | 13,7 | 13,3 | 16,9 |
| 5 | 32,5 | 28,1 | 21,5 | 18,4 | 13,9 | 12,9 | 17,7 |
| 6 | 29,9 | 30,1 | 16,8 | 16,5 | 14,9 | 13,8 | 15,8 |
| Среднее | 32,08 | 27,56 | 18,7 | 16,9 | 14,36 | 12,98 | 16,5 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 1,63 | 1,83 | 1,9 | 0,96 | 0,56 | 0,58 | 0,91 |
| Коэффициент вариации $V$, % | 5,08 | 6,64 | 10,16 | 5,68 | 3,76 | 4,47 | 5,52 |

Таблица 2.4 – Плотность трикотажа по вертикали $П_В$, пет/дм

| № образца | Гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Полу-фанг | Переплетение | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | №1 | №2 | №3 |
| 1 | 32 | 36 | 32 | 30 | 36 | 34 | 32 |
| 2 | 31,4 | 39,2 | 32,8 | 30,4 | 37,8 | 33,7 | 32,1 |
| 3 | 32,3 | 36,7 | 32,3 | 29,7 | 34,5 | 32,8 | 32,3 |
| 4 | 29,7 | 39,7 | 32,5 | 32 | 36,12 | 32,3 | 29,7 |
| 5 | 31,6 | 35,5 | 30,7 | 34,4 | 34,8 | 32,5 | 32,06 |
| Среднее | 32,5 | 36,5 | 31,7 | 33,2 | 35,8 | 34,2 | 32,5 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 1,11 | 1,83 | 0,83 | 1,94 | 1,3 | 0,82 | 1,15 |
| Коэффициент вариации $V$, % | 3,52 | 4,88 | 2,59 | 6,07 | 3,63 | 2,48 | 3,62 |

Данные таблиц 2.3 – 2.5 позволяют сделать вывод, что коэффициент вариации по линейной плотности выработанных образцов трикотажа не превышает 10% в каждой группе переплетений, таким образом полученные средние значения можно считать однородными. Следовательно, в каждой группе переплетений, состоящей из шести образцов, структура трикотажа достаточно равномерна по линейной плотности [52]. Поэтому, все выработанные образцы

традиционных и разработанных переплетений, пригодны для проведения экспериментальных исследований разрывных характеристик трикотажа.

Таблица 2.5 – Поверхностная плотность трикотажа $\rho_S$, г/м$^2$

| № образца | Гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Полу-фанг | Переплетение | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | №1 | №2 | №3 |
| 1 | 196 | 364 | 336 | 368 | 388 | 424 | 664 |
| 2 | 184 | 358 | 331 | 368 | 392 | 410 | 668 |
| 3 | 189 | 361 | 342 | 371 | 379 | 418 | 660 |
| 4 | 192 | 370 | 338 | 379 | 384 | 427 | 671 |
| 5 | 201 | 366 | 334 | 369 | 386 | 421 | 666 |
| Среднее | 198,5 | 365 | 335 | 368,5 | 387 | 422,5 | 665 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 6,5 | 4,6 | 4,15 | 4,64 | 4,82 | 6,52 | 4,15 |
| Коэффициент вариации $V$, % | 3,27 | 1,26 | 1,24 | 1,26 | 1,25 | 1,54 | 0,62 |

### *2.2.2 Исследование физико-механических свойств трикотажа при одноосном растяжении*

Известно, что модель конструкции строительной плоской фермы, состоящая из двух параллельных поясов, соединённых группой стержней (распорок), расположенных как перпендикулярно, так и под углом $45^0$ к плоскостям этих поясов, обладает максимальными физико-механическими показателями прочности и сопротивляемости к нагрузкам [28, 29, 103]. И если предположить, что использование данного принципа в петельной структуре трикотажа позволит улучшить физико-механические свойства трикотажного полотна, тогда появляется целесообразность выработки образцов трикотажа из высокомодульных нитей, и возможность использования такого трикотажа в качестве армирующего наполнителя композиционного материала.

В настоящее время в техническом трикотаже особенно актуально использование двухслойных трёхмерных структур с протяжками-распорками, соединяющими петельные слои [113-116, 118, 121, 125], основным достоинством которых является способность соединительных протяжек эффективно сопротивляться продольному сжатию и изгибу, за счёт чего полотно получает упругую устойчивость при эксплуатации [21].

Сопротивление трикотажного полотна внешним нагрузкам зависит от условий деформирования, а также от структуры полотна. Трикотаж имеет подвижную петельную структуру и деформируется в результате действия нагрузок, значительно меньше разрывных [50]. Это обусловлено строением трикотажного материала, объём которого составляют нити, сформированные волокнами, воздушные промежутки между нитями, волокнами и петлями полотна.

Важным показателем механических свойств текстильных полотен, определяющим их целостность, является прочность при растяжении, когда петли трикотажного полотна изменяют геометрические параметры под действием приложенных сил, что приводит к раздвижке петельных столбиков.

Для оценки степени деформации структуры выработанных конструкций комбинированных переплетений, были проведены испытания по определению характера изменения параметров трикотажа при одноосном растяжении вдоль петельных рядов.

Определение растяжимости образцов трикотажных полотен при нагрузках меньше разрывных проводилось на разрывной машине РТ–250М1 по стандартным методикам [45, 46, 54].

Данные по результатам испытаний трикотажа при одноосном растяжении приведены в таблице 2.6.

Анализ таблицы 2.6 позволяет сделать вывод, что коэффициент вариации изменения параметров трикотажа при одноосном растяжении находится в пределах значений средней вариации: 10% < V < 25%, и не превышает 33%, значит, полученные средние значения можно считать достаточно однородными.

На рисунке 2.21 представлен график изменения параметров трикотажа при растяжении для всех образцов переплетений.

Таблица 2.6 – Изменение параметров трикотажа при одноосном растяжении

| Нагрузка $P$, кгс | Удлинение образца переплетения трикотажа $\Delta L$, мм | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Полу-фанг | Комбинированные перепл. | | |
| | | | | | №1 | №2 | №3 |
| 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 100 | 110 | 140 | 124 | 120 | 118 | 111 | 107,5 |
| 200 | 125 | 148,5 | 128 | 140 | 125 | 120 | 110 |
| 300 | 129 | 158 | 137 | 145 | 135 | 125 | 115 |
| 400 | 140 | 165 | 144 | 149 | 136 | 130 | 120 |
| 500 | 142 | 166 | 146 | 151 | 139 | 142 | 130 |
| 600 | 144 | 170 | 151 | 155 | 157 | 144 | 132,5 |
| 700 | 146 | 173 | 155 | 156 | 157 | 145 | 135 |
| 800 | 146 | 174 | 156 | 156 | 160 | 146 | 135 |
| 900 | 147 | 175 | 159 | 157 | 160 | 150 | 135 |
| 1000 | 147 | 177 | 160 | 158 | 163 | 152 | 135 |
| Среднее | 145 | 171,6 | 153,4 | 155 | 154,6 | 145,4 | 133,5 |
| Сред. кв. откл. $\sigma$ | 16,32 | 22,71 | 18,41 | 18,37 | 20,61 | 17,26 | 13,14 |
| Коэф. вар. $V$, % | 11,26 | 13,23 | 12 | 11,85 | 13,33 | 11,87 | 9,84 |

На графике можно увидеть, что значение параметра $\Delta L$ переплетения ластик 1х1 менялось непрерывно в диапазоне нагрузок $P = 1 \dots 1000$ кгс. Достаточно однородную картину растяжимости показала группа переплетений – гладь, фанг, полуфанг и конструкции переплетений №1 и №2 на базе фанга. Параметр $\Delta L$

данных переплетений при нагрузках $P = 0 \ldots 600$ кгс показал похожую динамику изменения, а при $P \geq 600$ кгс сходную картину постепенной стабилизации деформации. Показатели $\Delta L$ переплетения №3 на базе трубчатой глади наиболее стабильны уже при нагрузке $P \geq 400$ кгс, а при $P \geq 600$ кгс параметр $L$ практически не изменяется.

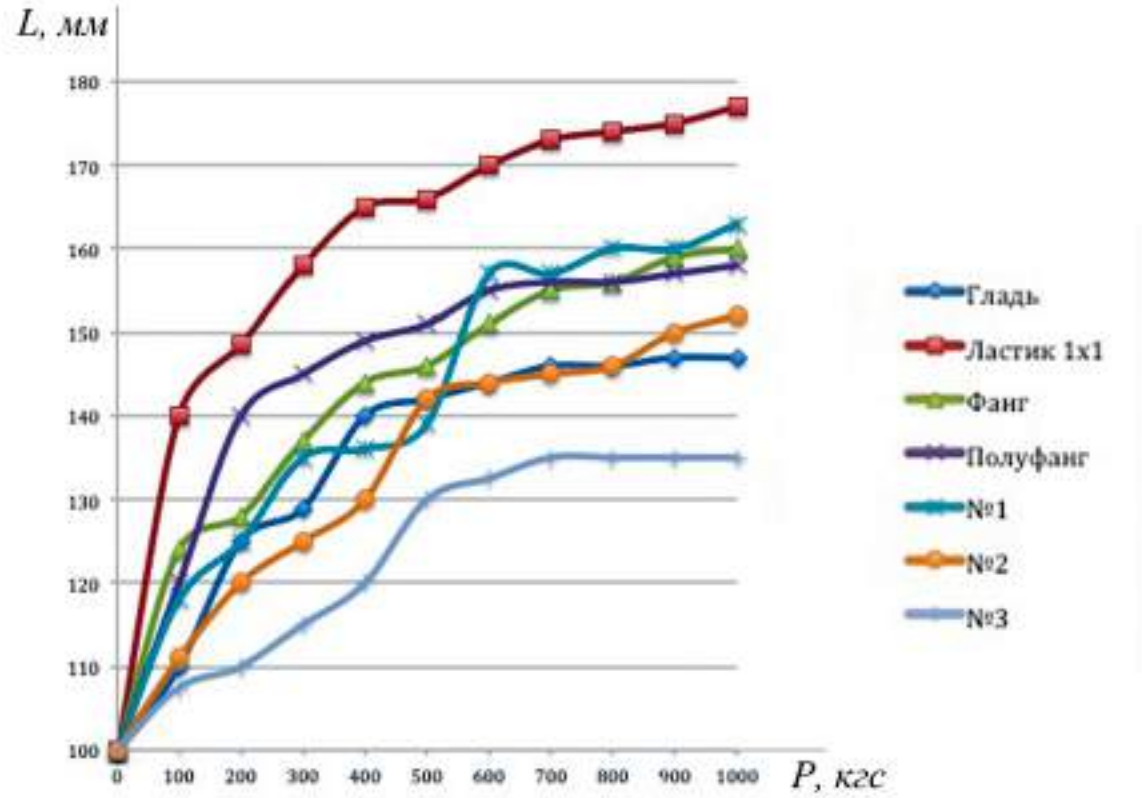



Рисунок 2.21 – График изменения параметров трикотажа при продольном одноосном растяжении при максимальной растягивающей нагрузке P = 1000 кгс.

Как видно из графика, переплетение №3 показало наибольшую начальную сопротивляемость растяжению при малых значениях нагрузки и быстрый переход в равновесное состояние при дальнейшем нагружении до $P \leq 1000$ кгс.

Для наглядного сравнения степени деформации петельной структуры образцов, удобно представить степень растяжимости в процентном соотношении к начальному состоянию трикотажа. На основании полученных данных

рассчитаны значения относительной растяжимости $L_{отн}$, определяемой по формуле:

$$L_{\text{отн}}(P) = \frac{L(P)}{L(P_0)} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $L(P)$ – значение растяжения при текущей нагрузке, $L(P_0)$ – значение растяжения при начальной нагрузке. Полученный массив данных интерпретируется в диаграмму сравнительных показателей относительной растяжимости образцов при одноосном растяжении до $P_{max} = 1000$ кгс.

На рисунке 2.22 представлена диаграмма относительного удлинения образцов трикотажа при продольном растяжении.

На диаграмме относительного удлинения образцов параметр $L$ ластика 1х1 в процентном отношении к начальной длине $L_0$ имеет наибольшее значение (рисунок 2.22, столбик 2).

Диаграмма наглядно демонстрирует очень незначительное растяжение образцов переплетения №3 на базе трубчатой глади. Механические свойства данного переплетения можно объяснить наличием в петельной структуре трикотажа протяжек в виде соединительных «распорок», расположенных под углом $45^0$ и $90^0$ между слоями трикотажа. Такие протяжки-распорки способны работать в переплетении как гибкие стержни [21] при восприятии нагрузки.

Проведённые испытания демонстрируют возможность «распорок» оказывать сопротивление деформированию петель при продольном растяжении полотна.

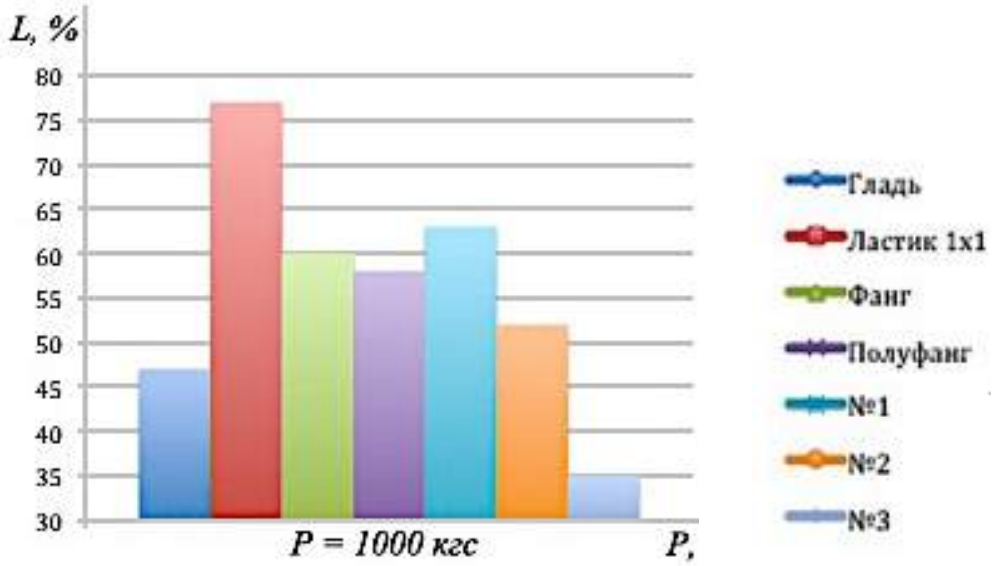
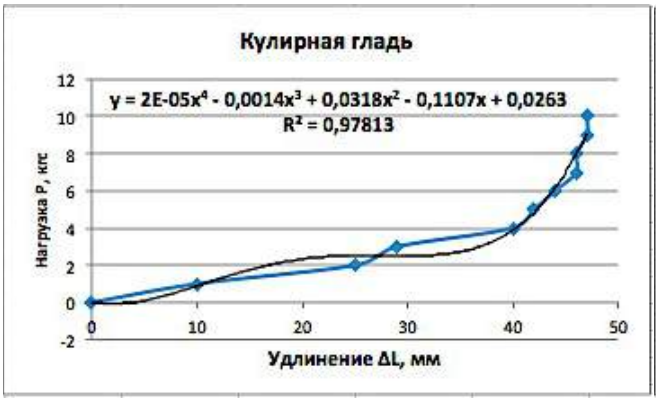
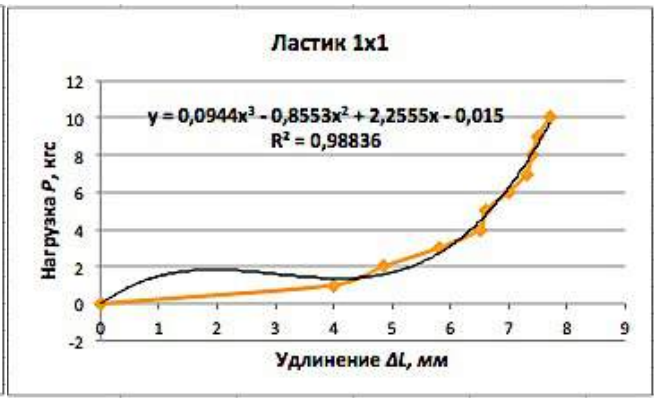


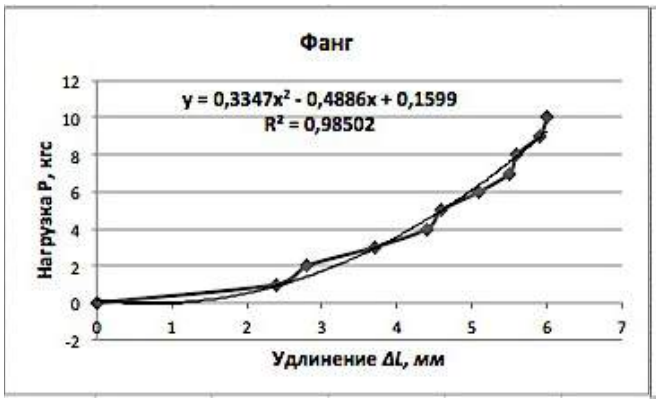

Рисунок 2.22 – Диаграмма относительного удлинения образцов трикотажа при максимальной растягивающей нагрузке P = 1000 кгс.

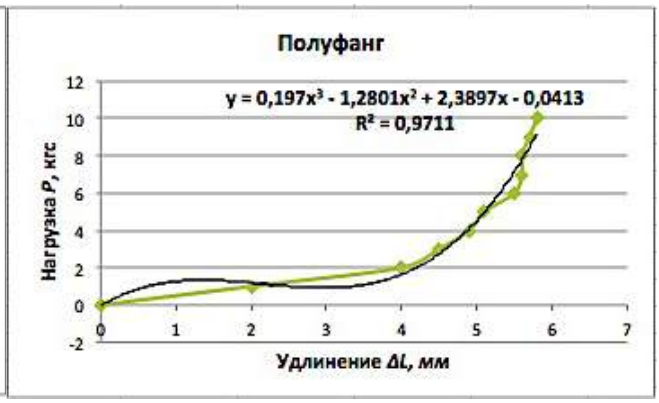
На рисунке 2.23 представлены графики, показывающие закономерности изменения параметров трикотажа при одноосном растяжении и уравнения линейной зависимости растяжения от нагрузки.

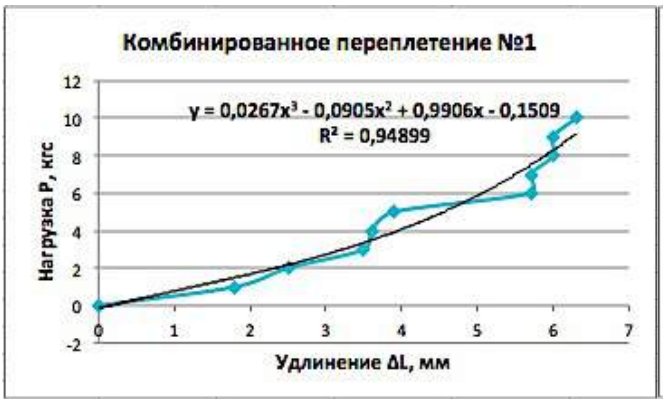
Толщина трикотажных полотен влияет на теплоизолирующие свойства, проницаемость, жесткость, драпируемость и др. Этот показатель необходимо учитывать при конструировании изделий, технологии их производства и проектировании готовой продукции с определёнными свойствами [8].

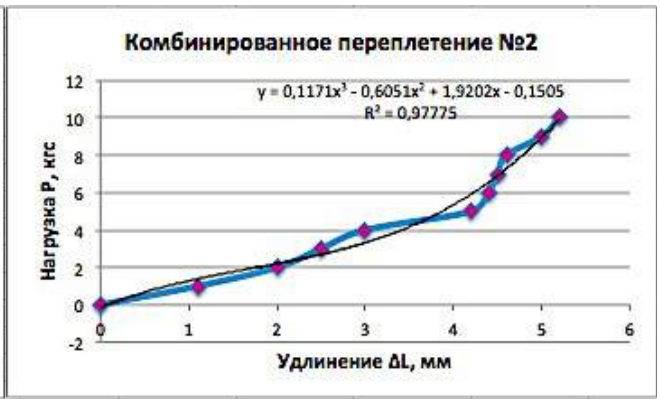


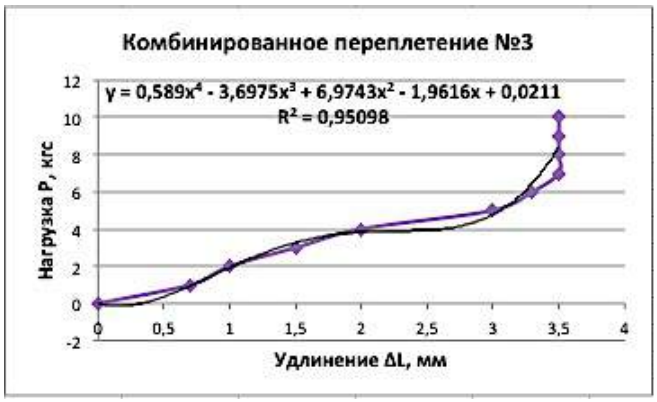




Рисунок 2.23 – Графики закономерности изменения параметров трикотажа при одноосном растяжении; линейные уравнения и величина достоверности аппроксимации.

### *2.2.3 Исследование физико-механических свойств трикотажа при сдавливающих нагрузках*

Трикотажное полотно легко поддаётся сжатию, поэтому целесообразно было определять его толщину при разных значениях давления. Измерение толщины образцов трикотажа проводилось на толщиномере эластичных материалов ТН-10 [46, 47]. Результаты испытаний трикотажа при сдавливающих нагрузках приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Изменение толщины трикотажа при сдавливающих нагрузках

| Давление $P$, Па | Толщина образца переплетения трикотажа $b$, мм | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Полу-фанг | Комбинированные переплетения | | |
| | | | | | №1 | №2 | №3 |
| 0 | 1,8 | 3,2 | 3,8 | 3,9 | 4,8 | 4,8 | 4,8 |
| 100 | 1,2 | 2,4 | 2,2 | 3 | 3,6 | 4,3 | 4 |
| 200 | 1 | 2 | 1,7 | 2,4 | 2,6 | 2,9 | 3,2 |
| 300 | 0,9 | 1,5 | 1,6 | 2,2 | 1,9 | 2,8 | 3 |
| 400 | 0,8 | 1,4 | 1,3 | 2,2 | 1,7 | 2,2 | 2,6 |
| 500 | 0,8 | 1,3 | 1 | 1,6 | 1,5 | 2,1 | 2,6 |
| 600 | 0,7 | 1,1 | 0,8 | 1,4 | 1,3 | 2 | 2,5 |
| 700 | 0,7 | 1,1 | 0,7 | 1,4 | 1,3 | 1,9 | 2,5 |
| 800 | 0,7 | 1,1 | 0,7 | 1,3 | 1,2 | 1,9 | 2,4 |
| 900 | 0,6 | 1,1 | 0,7 | 1,2 | 1,1 | 1,8 | 2,3 |
| 1000 | 0,6 | 1 | 0,6 | 1,2 | 1,1 | 1,7 | 2,3 |
| Относительная деформация сжатия $\varepsilon$, % | 0,8 | 2,2 | 2,8 | 2,9 | 3,8 | 3,8 | 3,8 |

В процессе сдавливания уменьшается толщина полотна и его плотность. Средняя плотность трикотажа изменяется пропорционально относительной деформации сжатия $\varepsilon$, которую рассчитывают по формуле:

$$\varepsilon = \frac{(h_0 - h_K)}{h_0}, \quad (2)$$

где $h_0$ – начальная толщина трикотажа; $h_K$ – толщина трикотажа в сжатом состоянии [27]. Относительная деформация – это отношение абсолютной деформации к исходному размеру образца, и значение коэффициента $\varepsilon$, применительно к трикотажу, является показателем материалоёмкости.

Зависимость толщины трикотажа от давления была определена путём построения графика $b = f(x)$ по экспериментальным точкам.

При сжатии трикотажа происходит не только деформация исходных материалов, но их конформация в новых условиях.

На рисунок 2.24 представлен график $b = f(x)$, который отражает изменение толщины образцов трикотажа при сдавливающей нагрузке в диапазоне $P = 0 \ldots 1000$ Па.

Интенсивность изменения конечного параметра $b$ образцов трикотажа при приложении сдавливающих нагрузок наиболее наглядно представлена на диаграмме относительного изменения толщины, выраженном в процентах к начальной толщине образца $b_0$.

Диаграмма относительного удлинения образцов трикотажа при растяжении представлена на рисунке 2.25.

На рисунке 2.26 представлены графики изменения параметров трикотажа при сдавливающей нагрузке, нормальной к поверхности трикотажа, и уравнения линейной зависимости изменения толщины трикотажа от приложенной нагрузки.

Трикотаж имеет пространственное строение, сформированное волокнами и нитями, остальную часть объёма занимает воздух. Поэтому наибольшей деформации подвержены структуры, с преобладанием воздушной объёмной части. К таким структурам относятся образцы переплетений фанг, т.к. является сильно растяжимой, и №1 на базе фанга (рисунок 2.25, столбики 3, 5).

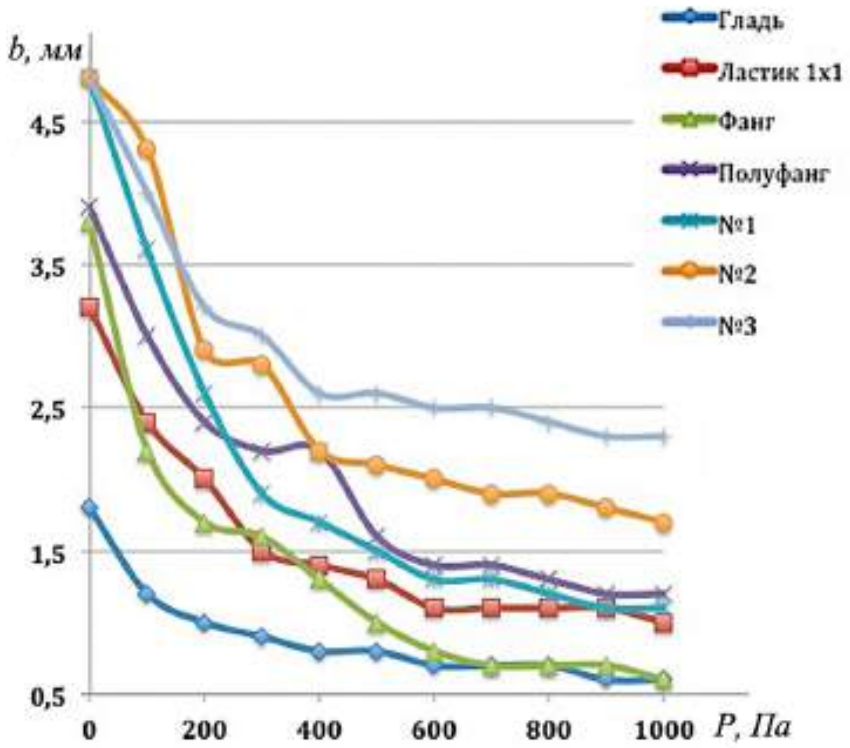



Рисунок 2.24 – График изменения параметров трикотажа при сдавливающих нагрузках.

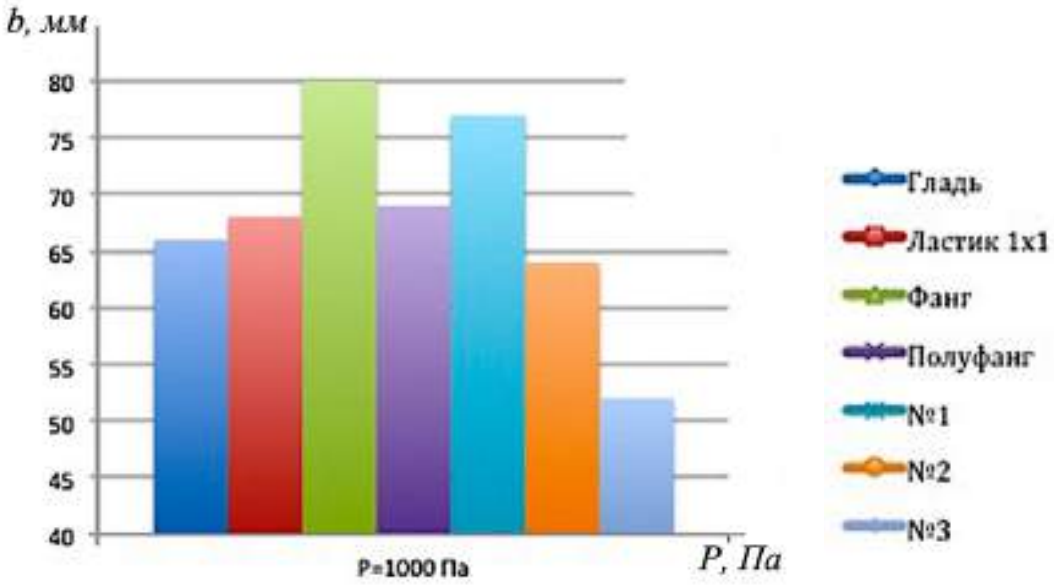



Рисунок 2.25 – Диаграмма относительного изменения толщины трикотажа при нагрузке $P$ = 1000 Па.

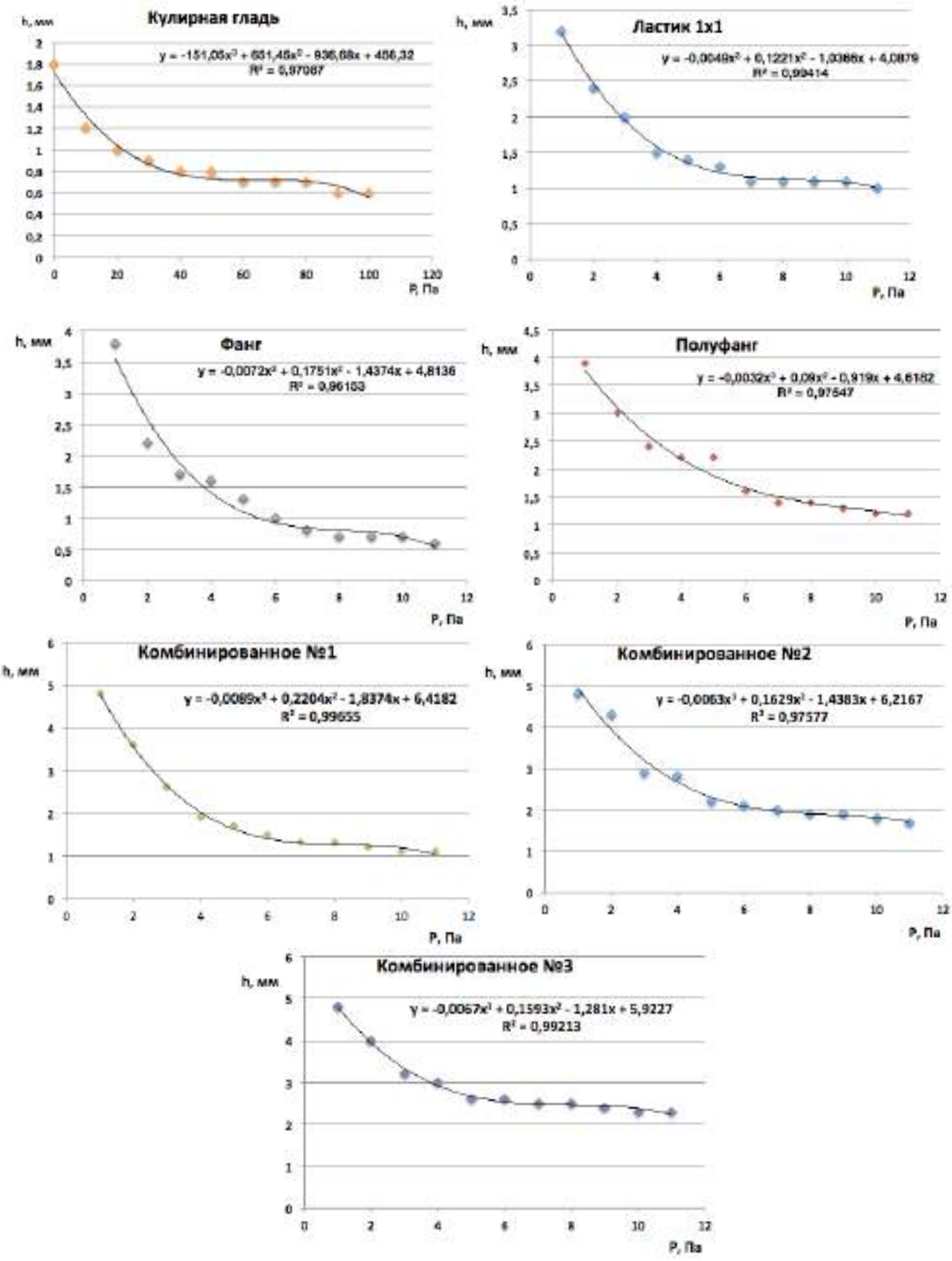



Рисунок 2.26 – Графики изменения параметров трикотажа при сдавливающей нагрузке *P*; линейные уравнения и величина достоверности аппроксимации.

Наименьшие значения $\Delta b$ изменения толщины показали образцы комбинированных переплетений №3 на базе трубчатой глади и №2 на базе фанга (рисунок 2.25, столбики 6, 7).

Механику работы переплетения №3 можно объяснить наличием в его петельной структуре межслойных протяжек-распорок. Следует предположить, что при восприятии нагрузки, перпендикулярно направленной к длине полотна, протяжки-распорки переплетения №3 сработали в конструкции, как упругие гибкие стержни [21]. Это предположение подтверждается данными графика и диаграммы растяжения, а так же результатами испытаний конструкции переплетения №1, так же имеющей перекрещивающиеся протяжки «раскос», расположенные под углом $45^0$ к внешним слоям трикотажа, но не имеющей протяжек типа «стойка», расположенных под углом $90^0$ к внешним слоям.

Таким образом, экспериментально установлено, что именно протяжки типа «стойка», расположенные под углом $90^0$ к внешним петельным слоям трикотажа влияют на прочность конструкции переплетения при плоскостном нагружении. Проведённые испытания на плоскостное нагружение демонстрируют возможность таких «распорок» оказывать сопротивление деформированию петель при сдавливающих нагрузках.

В сравнительной таблице 2.8 показано наличие протяжек, расположенных под разными углами к внешним петельным слоям, в структуре переплетений испытанных образцов.

Таблица 2.8 – Наличие протяжек (футерной нити) $45^0$ и $90^0$ в структуре переплетений

| Угол направления протяжки | Гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Полуфанг | Комбинированные переплетения | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | №1 | №2 | №2 |
| $45^0$ | – | – | + | + | + | + | + |
| $90^0$ | – | – | – | – | – | – | + |
| $> 90^0$ | – | – | – | – | + | + | – |

Анализ таблицы 2.8 позволяет сделать вывод, что переплетения ластик 1х1, фанг, полуфанг, а так же все комбинированные переплетения имеют протяжки, проложенные под углом $45^0$. Комбинированные переплетения №1 и №2 на базе фанга имеют протяжки, проложенные под углом $>90^0$. Следует отметить, что только комбинированное переплетение №3 отличается от всех представленных конструкций наличием двух видов протяжек – под углом и $45^0$ и $90^0$ между внешними слоями трикотажа.

Проведенные испытания на плоскостное нагружение образцов трикотажа кулирных переплетений показали, что наибольшей деформации подвержены образцы переплетения фанг и комбинированного переплетения №1 на базе фанга – это петельные структуры с преобладанием воздушной объёмной части. Протяжки между петельными слоями данных переплетений имеют большой угол наклона, и при нагружении уплощаются в большей степени, чем переплетения ластик 1х1, полуфанг и комбинированные переплетения №2 и №3, и структура переплетения фанг из двойной уплощается до квазиодинарной. Объёмная структура переплетения фанг недостаточно устойчива к сдавливанию, и по своим показателям не подходит для высокой степени армирования и обеспечения прочности текстильно-армированного композита.

## 2.3 Исследование разрывных характеристик конструкций трикотажа

Способность трикотажа воспринимать внешнюю нагрузку является основным показателем механических свойств переплетения и нитей, поэтому испытания на разрыв широко используются для определения качественного

состава текстильных материалов. При одинаковой разрывной нагрузке, лучшими показателями механических свойств обладает трикотаж с более высоким значением разрывного удлинения, поскольку такое трикотажное переплетение дольше сопротивляется разрыву, изменяя свои линейные размеры.

Для проведения испытаний на растяжение до разрыва, на двухфонтурной плосковязальной машине 5-го класса Singer System (таблица 2.2) были выработаны образцы трикотажа кулирных переплетений гладь, трубчатая гладь, ластик 1х1, фанг, полуфанг и комбинированных №1, №2 на базе фанга и №3 на базе трубчатой глади. Линейные размеры элементарных проб трикотажа – 50 х 200 мм.

Выработка образцов для испытаний, выбор оборудования и проведение испытаний проходили по стандартным методикам [45, 49, 54].

Отвязанные образцы, снятые с машины, отпаривались, отлёживались в течение 12 часов, затем испытывались по стандартной методике.

Средние значения параметров трикотажа и разрывной нагрузки получены по результатам испытания пяти образцов трикотажа каждого вида переплетения.

*Испытательная установка*

На рисунке 2.27 представлена универсальная испытательная машина (разрывная) УТС – 110М, на которой проходили испытания элементарных проб трикотажа на растяжение до разрыва. Разрывная машина оснащена микропроцессорной системой управления и регистрации силовых и деформационных параметров испытаний, которые записываются в программу в удобном информационном формате для дальнейшей обработки. Данные отражают зависимость удлинения от действующей на него нагрузки в течение всего испытания. Информация о результатах испытаний отображается микропроцессором испытательной установки в виде таблиц, протоколов и графиков на экране дисплея.

Технические характеристики разрывной машины приведены в таблице 2.9.

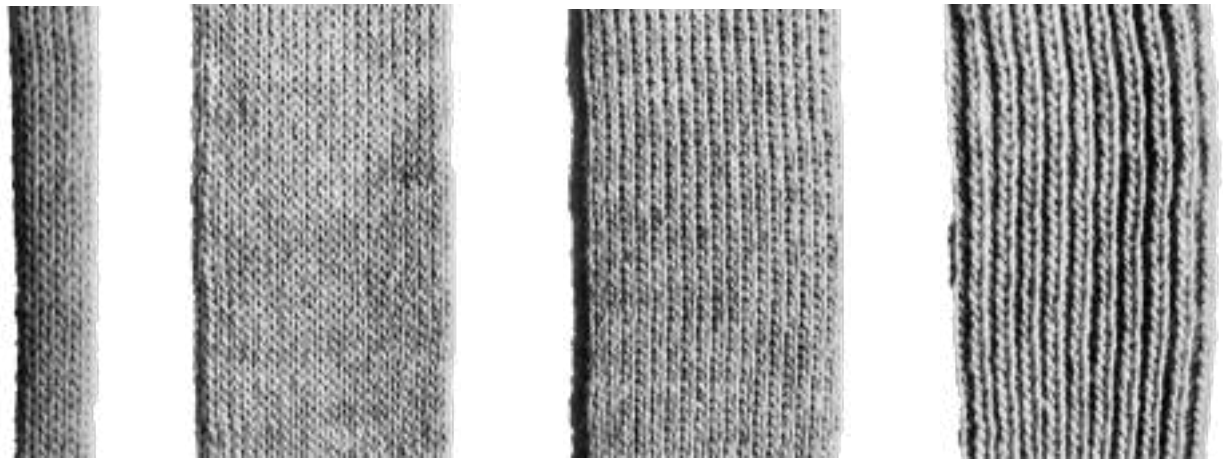
Рисунок 2.27 – Испытательная разрывная машина УТС – 110М.

Таблица 2.9 – Технические характеристики разрывной машины УТС 110М-100

| Характеристика | Значение |
|---|---|
| Диапазон измеряемых нагрузок, кН | 0,001 –100 |
| Тип силоизмерительного датчика | тензорезисторный – 2 шт. |
| Погрешность измерения нагрузки | ± 1% или ±0,5% от показания вплоть до 1/100 от величины допустимой нагрузки тензодатчика |
| Минимальная скорость перемещения активного захвата при номинальной нагрузке | 0,003 мм/мин |
| Максимальная скорость перемещения активного захвата при номинальной нагрузке | 350 мм/мин |
| Погрешность поддержания рабочей скорости перемещения траверсы | ± 0,2 % от заданной скорости (при нулевой или постоянной величине нагрузки) |
| Цена деления наименьшего разряда измерителя при измерении перемещения подвижной траверсы | 0,0001 мм |
| Предел допускаемой погрешности измерения перемещения подвижной траверсы | 0,01 мм |
| Максимальный ход подвижной траверсы | не менее 1300 мм |
| Ширина рабочего пространства | не менее 620 мм |
| Напряжение питания | 220 В, 50 Гц |
| Потребляемая мощность | не более 1,5 кВт |
| Габаритные размеры | 2400х1200х800 мм |
| Вес машины | 1100 кг |

### *2.3.1 Параметры образцов конструкций трикотажа*

Средние значения параметров трикотажа, а так же линейные размеры элементарных проб получены по результатам исследования пяти образцов каждого вида переплетения, которые представлены на рисунке 2.28.



а) б) в) г)

д) е) ж)

Рисунок 2.28 – Образцы кулирного трикотажа: а) гладь; б) трубчатая гладь; в) ластик 1х1; г) фанг; д) полуфанг; е) комбинированное переплетение №1 на базе фанга; ж) комбинированное переплетение 3№ на базе трубчатой глади.

Отвязанные образцы, снятые с машины, отпаривались, отлёживались в течение 12 часов, затем испытывались по стандартным методикам [45-49, 54]. Данные по линейным размерам и весу выработанных образцов трикотажа приведены в таблицах 2.10 – 2.11.

Таблица 2.10 – Линейные размеры *L* и *b* трикотажа.

| № пробы | Длина *L* образца, мм | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Полу-фанг | Перепл. №1 | Перепл. №3 |
| 1 | 278 | 238 | 231 | 227 | 246 | 270 | 242 |
| 2 | 285 | 237 | 233 | 228 | 243 | 278 | 245 |
| 3 | 280 | 231 | 233 | 230 | 242 | 274 | 245 |
| 4 | 275 | 237 | 241 | 230 | 248 | 267 | 240 |
| 5 | 285 | 235 | 241 | 230 | 250 | 267 | 247 |
| Среднее | 280,6 | 235,6 | 235,8 | 229 | 245,8 | 271,2 | 243,8 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 4,39 | 2,79 | 4,82 | 1,41 | 3,35 | 4,76 | 2,77 |
| Коэф. вар. *V*, % | 1,56 | 1,18 | 2,04 | 0,62 | 1,36 | 1,76 | 1,14 |
| Ширина *b*, мм | 50 | 53 | 55 | 57 | 50 | 55 | 50 |

По данным таблицы 2.10 можно сделать вывод, что коэффициент вариации линейных размеров выработанных образцов трикотажа не превышает 3%, и полученные средние значения можно считать однородными. Следовательно, в каждой группе переплетений, состоящей из пяти образцов, параметры размеров образцов достаточно равномерны. Поэтому все выработанные образцы традиционных и разработанных переплетений можно использовать для дальнейшего определения и сравнения геометрических параметров структур трикотажа.

Таблица 2.11 – Масса $m$ образцов трикотажа, г

| № пробы | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Полуфанг | Перепл. №1 | Перепл. №3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ширина $b$, мм | 50 | 53 | 55 | 57 | 50 | 55 | 50 |
| 1 | 3,58 | 6,56 | 5,52 | 5,74 | 5,62 | 7,67 | 12,28 |
| 2 | 3,56 | 6,44 | 5,38 | 5,61 | 5,48 | 7,84 | 12,27 |
| 3 | 3,46 | 6,14 | 5,45 | 5,06 | 5,57 | 7,86 | 12,24 |
| 4 | 3,25 | 6,24 | 5,34 | 5,8 | 5,55 | 7,54 | 12 |
| 5 | 3,38 | 6,45 | 5,39 | 5,71 | 5,59 | 7,7 | 12,24 |
| Среднее | 3,446 | 6,366 | 5,416 | 5,584 | 5,562 | 7,722 | 12,206 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 0,14 | 0,17 | 0,07 | 0,3 | 0,05 | 0,13 | 0,12 |
| Коэф. вар. $V$, % | 4,06 | 2,67 | 1,29 | 5,37 | 0,9 | 1,68 | 0,98 |

По результатам измерения, представленным в таблице 2.11, можно сравнить показатели веса образцов кулирного трикотажа. Средний вес образца переплетения №3 примерно в несколько раз превышает вес всех других образцов при практически одинаковых линейных размерах.

Коэффициент вариации образцов по весу не превышает 10%, поэтому полученные средние значения можно считать однородными.

Табличные значения параметров $\gamma$ и $\delta$ для шерсти: плотность вещества нити $\gamma = 1{,}32$ мг/мм$^3$; объёмная масса вещества $\delta \sim 0{,}5 - 0{,}6$ г/см$^3$ [50]. Из таблицы 2.11 видно, что образцы трикотажа, выработанные из одинаковой п/ш пряжи и имеющие сходные линейные размеры, имеют большую вариативность веса и толщины. Так, средний вес образца комбинированного переплетения №3 в 3,5 раза превышает вес образца кулирной глади и в 1,9 раз больше веса исходного переплетения трубчатая гладь, а так же образцы переплетения №3 имеют значительно большую толщину и объёмную плотность, чем образцы других выработанных переплетений.

Геометрические параметры трикотажа определялись экспериментально по пяти фактически выработанным образцам. Измерение поверхностной плотности $\rho_S$, толщины трикотажа $h$ и линейных размеров – длины $l$ и ширны $b$, а так же плотности вязания, определяемой по количеству петель на 10 см по вертикали и по горизонтали, проведено после снятия образцов с машины и релаксации в свободном состоянии [9, 54, 55].

Плотность трикотажа влияет на физико-механические свойства полотна, в том числе и на разрывную нагрузку. В зависимости от толщины и плотности трикотажа, различные переплетения будут иметь разные основные показатели при приложении разрывной нагрузки: значение максимального напряжения $P_P$ (или предела прочности), которое способен выдержать образец, абсолютное удлинение $l_p$ образца и работу разрыва $R_P$.

Для определения поверхностной плотности $\rho_S$ (г/м$^2$) трикотажа были взвешены пять квадратов каждого переплетения размером 5х5 см [45, 56]. Данные по поверхностной плотности выработанных образцов приведены в таблицах 2.12 – 2.14.

Таблица 2.12 – Поверхностная плотность трикотажа по горизонтали $П_Г$, пет/дм

| № пробы | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Полуфанг | Перепл. №1 | Перепл. №3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 32 | 40 | 30 | 20 | 22 | 28 | 60 |
| 2 | 36 | 42 | 32 | 20 | 20 | 28 | 56 |
| 3 | 36 | 40 | 32 | 20 | 20 | 30 | 54 |
| 4 | 36 | 40 | 32 | 20 | 20 | 28 | 52,8 |
| 5 | 38 | 40 | 32 | 20 | 20 | 30 | 62 |
| Среднее | 32 | 40,4 | 31,6 | 20 | 20,4 | 28,8 | 56,96 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 2,19 | 0,89 | 0,89 | 0 | 0,89 | 1,1 | 3,93 |
| Коэф. вар. $V$, % | 6,84 | 2,2 | 2,82 | 0 | 4,36 | 3,82 | 6,9 |

Таблица 2.13 – Поверхностная плотность трикотажа по вертикали $П_В$, пет/дм

| № пробы | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Полуфанг | Перепл. №1 | Перепл. №3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 48 | 44 | 48,4 | 40 | 36 | 29,2 | 38 |
| 2 | 48 | 44,4 | 48 | 40 | 34 | 28,4 | 36,8 |
| 3 | 48 | 43,6 | 46 | 40 | 34 | 28,4 | 37,2 |
| 4 | 48 | 44 | 44 | 40 | 34 | 28 | 38 |
| 5 | 48 | 46 | 48 | 40 | 33,2 | 30 | 36,4 |
| Среднее | 48 | 44,4 | 46,88 | 40 | 34,24 | 28,8 | 37,28 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 0 | 0,94 | 1,86 | 0 | 1,04 | 0,8 | 0,72 |
| Коэф. вар. $V$, % | 0 | 2,12 | 3,97 | 0 | 3,04 | 2,78 | 1,93 |

Таблица 2.14 – Поверхностная плотность трикотажа $\rho_S$, г/м$^2$

| № пробы | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Полуфанг | Перепл. №1 | Перепл. №3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 258 | 520 | 434 | 444 | 457 | 516 | 1015 |
| 2 | 250 | 513 | 420 | 432 | 451 | 513 | 1002 |
| 3 | 247 | 502 | 425 | 386 | 460 | 522 | 999 |
| 4 | 236 | 497 | 403 | 442 | 448 | 513 | 1000 |
| 5 | 237 | 518 | 407 | 436 | 447 | 524 | 991 |
| Среднее | 245,6 | 510 | 417,8 | 428 | 452,6 | 517,6 | 1001,4 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 9,24 | 9,07 | 9,79 | 9,96 | 5,68 | 5,13 | 8,68 |
| Коэф. вар. $V$, % | 3,76 | 1,97 | 3,06 | 5,6 | 1,25 | 0,99 | 0,87 |

Анализ таблиц 2.12 – 2.14 позволяет сделать вывод, что коэффициент вариации по поверхностной плотности выработанных образцов трикотажа не превышает 10% по всем показателям линейной плотности трикотажа (по горизонтали $П_Г$, по вертикали $П_В$, поверхностная $\rho_S$). Показатели, представленные

в таблице 2.14 будут использованы для определения значений объёмного заполнения трикотажа.

Согласно теории математической статистики, проверка индивидуальных отклонений значений от средней величины показателей проходит по коэффициенту вариации V, который не должен превышать 33%:

- При V < 10% вариация признака слабая;
- При 10% < V < 25% – вариация средняя;
- При V > 25% – вариация сильная [52], [53].

Полученные средние значения можно считать однородными; в каждой группе переплетений, состоящей из пяти образцов, структура трикотажа достаточно равномерна по показателям линейной плотности [53]. Значит, все образцы традиционных и комбинированных переплетений можно использовать в полуцикловых испытаниях для сравнения их разрывных характеристик.

При полуцикловых испытаниях большое значение имеют вид переплетения, толщина, плотность и заполненность объёма трикотажа сырьевым материалом: чем большее количество петель переплетения будет сопротивляться разрывной нагрузке, тем большая работа разрыва, характеризующая количество энергии разрушения, потребуется на разрыв образца трикотажа.

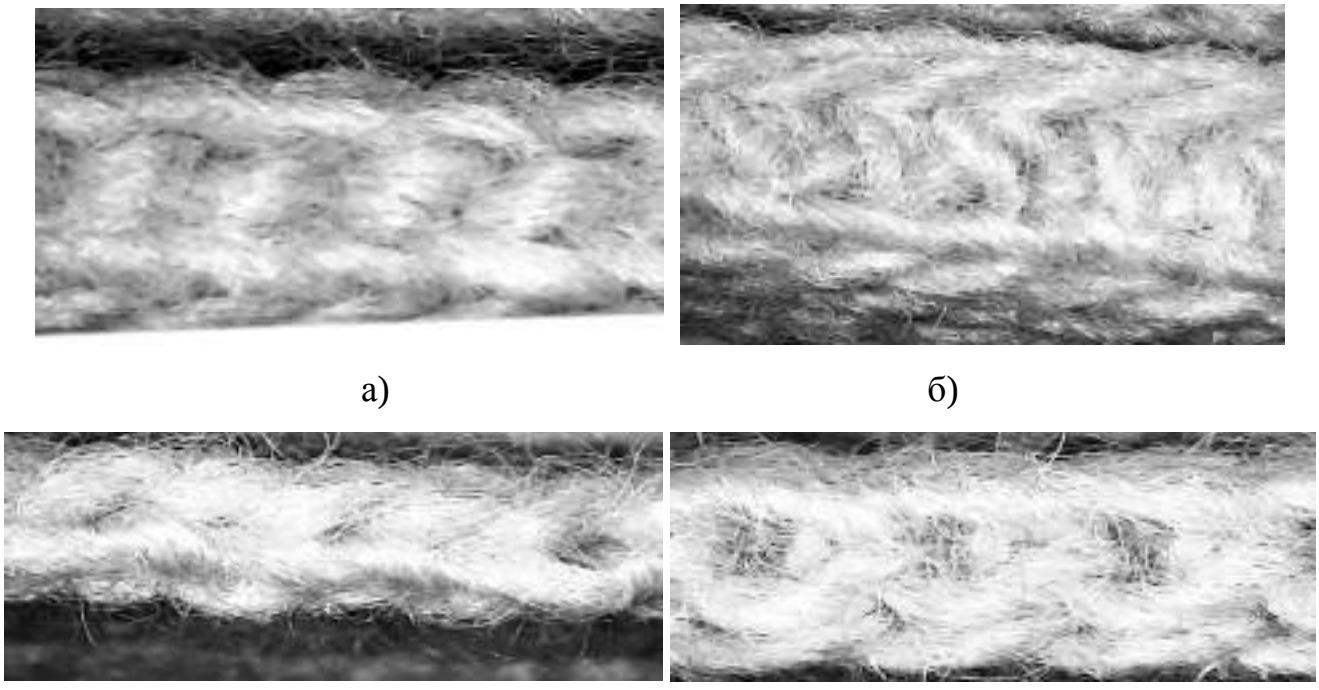
В таблице 2.15 приведены расчётные показатели толщины образцов.

Таблица 2.15 – Толщина *h* образцов трикотажа, мм

| № пробы | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Полуфанг | Перепл. №1 | Перепл. №3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,2 | 5,5 | 3,8 | 5 | 3,8 | 5,1 | 7,7 |
| 2 | 1,3 | 5,4 | 3,5 | 4,9 | 4 | 5 | 7,5 |
| 3 | 1,3 | 5,4 | 3,6 | 4,8 | 4 | 5 | 7,4 |
| 4 | 1,3 | 5,5 | 3,7 | 4,8 | 4,1 | 4,9 | 7,4 |
| 5 | 1,3 | 5,5 | 3,7 | 4,9 | 4,1 | 5 | 7,4 |
| Среднее | 1,28 | 5,46 | 3,66 | 4,88 | 4 | 5 | 7,48 |
| Ср. кв. откл. | 0,04 | 0,05 | 0,11 | 0,08 | 0,12 | 0,07 | 0,13 |
| Коэф. вар. *V*, % | 3,13 | 0,92 | 3,01 | 1,64 | 3 | 1,4 | 1,74 |

Анализ таблицы 2.15 позволяет сделать вывод, что коэффициент вариации по толщине выработанных образцов трикотажа не превышает 10% в каждой группе переплетений (таблица 2.15), значит полученные средние значения можно считать однородными. По этому показателю можно судить о том, что в каждой группе переплетений, состоящей из пяти образцов, толщина трикотажа достаточно равномерна [52, 53]. Поэтому все выработанные образцы конструкций традиционных и разработанных переплетений можно использовать в испытаниях для сравнения их разрывных характеристик.

На рисунке 2.29 представлены фотографии профильных поверхностей вывязанных образцов трикотажа при увеличение х 400.



а) б)

в) г)

Рисунок 2.29 – Профильная поверхность трикотажа (увеличение х 400):
а) ластик 1х1; б) фанг; в) трубчатая гладь; г) комбинированное переплетение №3 на базе трубчатой глади.

Следует отметить, что средние значения плотности и толщины образцов трубчатой глади, приведённые таблицах 2.14 и 2.15, в два и полтора

соответственно раза меньше, чем показатели у производного от неё комбинированного переплетения №3, имеющего межслойные протяжки-распорки. Толщина данных переплетений показана на рисунке 2.29, в, г.

Можно соотнести средние значения толщины $h$ образцов переплетений, представленных в таблице 2.15, с профильными поверхностями, показанными на рисунке 2.29. Так, толщина $h$ профильной поверхности образца трубчатой глади представлена в сравнении с профильной поверхностью комбинированного переплетения №3 на базе трубчатой глади, толщина $h$ и плотность $\rho_S$ которого значительно увеличены за счёт спроектированной пространственной петельной структуры, содержащей протяжки футерных нитей (схема переплетения приведена выше).

### *2.3.2. Объёмное заполнение трикотажа*

Объёмное заполнение трикотажа оказывает влияние на свойства полотна, которые изменяются в зависимости от степени заполнения – это жёсткость, проницаемость, драпируемость, прочность, износостойкость, теплопроводность. При увеличении объёмной плотности и заполнения, увеличивается поверхностная плотность, прочность, жёсткость и вес трикотажа, а проницаемость и теплопроводность, соответственно, уменьшаются [8, 51, 56, 57].

Для определения зависимости объёмного заполнения от параметров трикотажа, проведен сравнительный анализ пяти образцов трикотажа традиционных и разработанных переплетений. Результаты исследования объёмного заполнения структур трикотажа приведен в таблице 2.16.

*Формулы расчёта*

Объёмное заполнение трикотажа $E_V$, % показывает, какую часть объема трикотажа занимает объем нити [8, 50, 56, 57]:

$$E_V = \frac{\delta_T}{\delta_н} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $\delta_T$ – средняя плотность трикотажа, г/м$^3$; $\delta_н$ – объёмная масса вещества г/см$^3$ (табл. знач.). Значение объёмной массы вещества для шерсти – $\delta \sim 0{,}5 - 0{,}6$ г/см$^3$ [8], [9].

Объём образца трикотажа:

$$V_T = Lbh,$$

где $L$ – длина образца; $b$ – шир. образца; $h$ – толщина образца.

Объём нитей:

$$V_H = \frac{M}{\delta_н}, \quad (2)$$

где $M$ – масса образца; $\delta_н$ – средняя плотность нитей.

Среднюю плотность трикотажа $\delta_T$ вычисляют по формуле:

$$\delta_T = \frac{\rho_s}{h}, \quad (3)$$

где $h$ – толщина трикотажа, мм; $\rho_s$ - поверхностная плотность трикотажа, г/м$^2$.

Заполнение трикотажа по массе $E_M$, % определяется отношением массы нитей в трикотаже к его максимальной массе при полном заполнении объема трикотажа веществом, из которого состоят нити:

$$E_M = \frac{\delta_T}{\gamma} \cdot 100, \quad (4)$$

где $\gamma$ – плотность вещества нити, г/см$^3$.

Объёмная пористость трикотажа $R_V$, % показывает долю воздушных промежутков между нитями:

$$R_V = 100 - E_V. \quad (5)$$

Общая пористость трикотажа $R_M$, % – это доля всех воздушных промежутков в трикотаже, межнитевых и внутринитевых или суммарный объем всех видов пор:

$$R_M = 100 - E_M. \quad (6)$$

Полученные расчётные данные параметров объёмного заполнения трикотажа выработанных образцов приведены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Объёмное заполнения трикотажа

| Переплетение / № образца | | Поверхностная плотность Ps, г/м$^2$ | Объёмное заполнение $E_V$, % | Объёмная масса $E_M$, % | Объёмная пористость $R_V$, % | Общая пористость $R_M$, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Гладь | 1 | 258 | 36 | 83,3 | 64 | 16,7 |
| | 2 | 250 | 32 | 76,9 | 68 | 23,1 |
| | 3 | 247 | 32 | 76,9 | 68 | 23,1 |
| | 4 | 236 | 30 | 76,9 | 70 | 23,1 |
| | 5 | 237 | 30 | 76,9 | 70 | 23,1 |
| Среднее | | 245,6 | 32 | 78,18 | 68 | 21,82 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | | 9,24 | 2,45 | 2,86 | 2,45 | 2,86 |
| Коэф. вар. $V$, % | | 3,76 | 7,66 | 3,66 | 3,6 | 13,11 |
| Трубчатая гладь | 1 | 520 | 16 | 18,2 | 84 | 81,8 |
| | 2 | 513 | 16 | 18,5 | 84 | 81,5 |
| | 3 | 502 | 15 | 18,5 | 85 | 81,5 |
| | 4 | 497 | 15 | 18,2 | 85 | 81,8 |
| | 5 | 518 | 16 | 18,2 | 84 | 81,8 |
| Среднее | | 510,0 | 15,6 | 18,32 | 84,4 | 81,68 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | | 9,07 | 0,55 | 0,16 | 0,55 | 0,16 |
| Коэф. вар. $V$, % | | 1,97 | 3,53 | 0,87 | 0,65 | 0,2 |
| Ластик 1х1 | 1 | 434 | 19 | 26,3 | 81 | 73,7 |
| | 2 | 420 | 20 | 28,6 | 80 | 71,4 |
| | 3 | 425 | 20 | 27,8 | 80 | 72,2 |
| | 4 | 403 | 18 | 27 | 82 | 73 |
| | 5 | 407 | 18 | 27 | 82 | 73 |
| Среднее | | 417,8 | 19 | 27,34 | 81 | 72,66 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | | 9,79 | 1 | 0,88 | 1 | 0,88 |
| Коэф. вар. $V$, % | | 3,06 | 5,26 | 3,22 | 1,23 | 1,21 |
| Фанг | 1 | 444 | 15 | 20 | 85 | 80 |
| | 2 | 432 | 15 | 20,4 | 85 | 79,6 |
| | 3 | 386 | 13 | 20,8 | 87 | 79,2 |
| | 4 | 442 | 15 | 20,8 | 85 | 79,2 |

Продолжение таблицы 2.16

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 436 | 15 | 20,4 | 85 | 79,6 |
| Среднее | | 428,0 | 14,6 | 20,48 | 85,4 | 79,52 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | | 9,96 | 0,89 | 0,33 | 0,89 | 0,33 |
| Коэф. вар. $V$, % | | 5,6 | 6,1 | 1,61 | 1,04 | 0,41 |
| Полуфанг | 1 | 457 | 20 | 26,3 | 80 | 73,7 |
| | 2 | 451 | 19 | 25 | 81 | 75 |
| | 3 | 460 | 19 | 25 | 81 | 75 |
| | 4 | 448 | 18 | 24,4 | 82 | 75,6 |
| | 5 | 447 | 18 | 24,4 | 82 | 75,6 |
| Среднее | | 452,6 | 18,8 | 25,02 | 81,2 | 74,98 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | | 5,68 | 0,84 | 0,78 | 0,84 | 0,78 |
| Коэф. вар. $V$, % | | 1,25 | 4,47 | 3,12 | 1,03 | 1,04 |
| Комбинир.№1 | 1 | 516 | 17 | 19,6 | 83 | 80,4 |
| | 2 | 513 | 17 | 20 | 83 | 80 |
| | 3 | 522 | 17 | 20 | 83 | 80 |
| | 4 | 513 | 17 | 20,4 | 83 | 79,6 |
| | 5 | 524 | 17 | 20 | 83 | 80 |
| Среднее | | 517,6 | 17 | 20 | 83 | 80 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | | 5,13 | 0 | 0,28 | 0 | 0,28 |
| Коэф. вар. $V$, % | | 0,99 | 0 | 1,4 | 0 | 0,35 |
| Комбинир.№3 | 1 | 1015 | 22 | 13 | 78 | 87 |
| | 2 | 1002 | 22 | 13,3 | 78 | 86,7 |
| | 3 | 999 | 23 | 13,5 | 77 | 86,5 |
| | 4 | 1000 | 23 | 13,5 | 77 | 86,5 |
| | 5 | 991 | 22 | 13,5 | 78 | 86,5 |
| Среднее | | 1001,4 | 22,4 | 13,36 | 77,6 | 86,64 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | | 8,68 | 0,55 | 0,22 | 0,55 | 0,22 |
| Коэф. вар.$V$, % | | 0,87 | 2,46 | 1,65 | 0,71 | 0,25 |

Из теории трикотажа известно, что подвижная петельная структура деформируется при нагрузках гораздо меньше разрывных, поскольку пространственное строение трикотажа формируют волокна и нити, а остальную

часть объёма составляет воздух [9, 11, 12]. Растягивающие нагрузки без труда деформируют петли, затем петельные столбики и ряды полотна.

Наибольшей деформации подвержены структуры, где преобладает воздушный объём. Степень заполненности трикотажа значительно влияет на растягивающие и разрывные показатели, поскольку большее количество петель в переплетении будет дольше оказывать сопротивление разрушению [8, 38, 50].

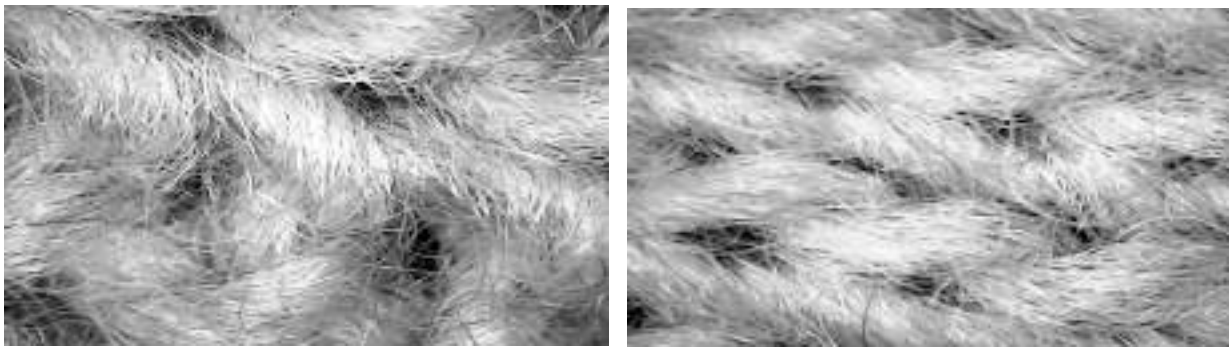
Сравнивая представленные в таблице 2.16 показатели объёмной пористости $R_V$ , показываающей долю воздушных промежутков между нитями, видим, что самое маленькое значение имеет переплетение гладь – 68%, следующее наименьшее значение у переплетения №3 – 76%. Близкие значения объёмной пористости у ластика 1х1 и производного от ластика полуфанга – 81 и 81,2% соответственно. Похожие высокие показатели доли воздушных промежутков между нитями дали комбинированное переплетение №1 на базе фанга – 83,0 %, трубчатая гладь – 84,4%, фанг – 85,4%. Следует заметить, что переплетение гладь – одинарное, и поэтому минимальный показатель объёма воздушных промежутков у комбинированного переплетения №3 на базе трубчатой глади, которое, по данным таблицы, имеет самое высокое значение поверхностной плотности Ps – 1001,4 г/м$^2$ среди всех представленных структур.

Рисунок 2.30 демонстрирует степень плотности петельного застила и пористости структуры связанных образцов.

Для определения показателей плотности застила нужно найти значения линейного и поверхностного заполнения трикотажа волокнистым материалом, а так же коэффициент объёмности $K_V$, который определяют как отношение объёма трикотажа к объёму, который занимает масса вещества, составляющая нити:

$$K_V = \frac{V_T}{V_{min}} = \frac{100}{E_M}.$$

Параметры коэффициентов объёмности для исследуемых образцов приведены в таблице 2.17.



а) б)

в) г)

д) е)

Рисунок 2.30 – Поверхностная плотность трикотажа (увеличение х 400): а) гладь; б) трубчатая гладь; в) ластик 1х1; г) фанг; д) комбинированное №1 на базе фанга; е) комбинированное №3 на базе трубчатой глади.

Таблица 2.17 – Коэффициенты объёмности.

| № образца | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Полуфанг | Комбин. №1 | Комбин. №3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,2 | 5,5 | 3,8 | 5,0 | 3,8 | 5,1 | 7,7 |
| 2 | 1,3 | 5,4 | 3,5 | 4,9 | 4,0 | 5,0 | 7,5 |
| 3 | 1,3 | 5,4 | 3,6 | 4,8 | 4,0 | 5,0 | 7,4 |
| 4 | 1,3 | 5,5 | 3,7 | 4,8 | 4,1 | 4,9 | 7,4 |
| 5 | 1,3 | 5,5 | 3,7 | 4,9 | 4,1 | 5,0 | 7,4 |
| Среднее | 1,3 | 5,5 | 3,7 | 4,9 | 4,0 | 5,0 | 7,5 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 0,04 | 0,04 | 0,11 | 0,08 | 0,12 | 0,07 | 0,12 |
| Коэф. вар. $V$, % | 3,13 | 0,73 | 3,01 | 1,64 | 3 | 1,4 | 1,6 |

Комбинированное переплетение №3 на базе трубчатой глади (рисунок 2.30, е), имеющее большое количество соединительных протяжек между петельными слоями, отличается от исходного переплетения трубчатая гладь (рисунок 2.30, б) повышенным объёмным заполнением, а так же имеет высокий показатель коэффициента объёмности – 7,5, характеризующий отношение объёма трикотажа к объёму вещества нити, т.е. имеет самый высокий коэффициент заполнения внутреннего межслойного объёма трикотажа нитями.

Сравнить толщину профильных поверхностей и степень заполнения нитями объёма переплетений трубчатая гладь и комбинированного №3 можно на рисунке 2.30, приведены так же профильные поверхности переплетений ластик 1х1 и фанг.

### *2.3.3 Расчёт разрывных характеристик конструкций трикотажа*

Прочность трикотажа определяется свойствами формирующих его нитей и петельной структурой полотна, от которой зависит характер распределения нагрузок на нити петель. Так, если в тканях большое влияние на прочность оказывают силы трения в перекрытиях между нитями, то в трикотаже такого увеличения прочности почти нет [2, 38, 50].

Прочность трикотажа по вертикали определяется сопротивлением, оказываемым нитями столбиков. Поскольку структура и плотность нитей неоднородны по длине, то происходит неравномерное распределение нагрузок на различные участки нитей, в результате чего их разрыв происходит неодновременно, а прочность трикотажного полотна снижается.

*Формулы расчёта разрывных характеристик*

Разрывная нагрузка $P_P$, Н (кгс) – это наибольшее усилие, выдерживаемое материалом до разрушения и выражающее его способность воспринимать нагрузку [8, 54, 56]. Этот показатель позволяет оценить качественный состав сырья.

Абсолютное разрывное удлинение $l_P$, мм – приращение длины испытываемой пробы к моменту разрыва отображается на экране дисплея разрывной машины.

Относительное разрывное удлинение определяют как отношение абсолютного удлинения к расстоянию между зажимами разрывной машины, выраженное в процентах $\varepsilon_P$, %:

$$\varepsilon_P = \frac{l_P}{l_{\text{зжм}}} \cdot 100\%,$$

где $l_P$ – абсолютное разрывное удлинение; $l_{\text{зжм}}$ – начальная (зажимная) длина пробы.

Абсолютная работа разрыва $R_P$, Дж характеризует количество энергии, затраченное на разрушение связей между структурными элементами трикотажа и

разрыв образца. Абсолютную работу разрыва определяют по площади геометрической фигуры, образованной кривой разрыва и максимальными показателями $P_P$ и $l_P$ на диаграмме растяжения.

Абсолютную работу разрыва рассчитывают по формуле:

$$R_P = P_P l_P \eta,$$

где η — коэффициент полноты диаграммы, определяемый отношением площади, ограниченной кривой растяжения, ко всей прямоугольной площади диаграммы, ограниченной сторонами:

$$\eta = \frac{R_P}{P_P l_P}$$

Коэффициент полноты диаграммы η характеризует относительную работу, затрачиваемую на разрыв образца: чем больше коэффициент полноты диаграммы, тем лучше материал сопротивляется разрыву [[8, 54, 56]и тем выше величина работы, совершаемой при разрыве. Величина коэффициента для трикотажных полотен составляет $\eta \approx 0{,}15 \div 0{,}4$ [8].

Удельная работа разрыва $R_{\text{у}}$, Дж (кгс·см) для материалов различной массы рассчитывается по формуле:

$$R_{\text{у}} = \frac{Rp}{m},$$

где $Rp$ – абсолютная работа разрыва, Дж (кгс·см).

Расчётная разрывная нагрузка $P_{расч}$, Н (кгс) – это разрывное усилие, приходящееся на структурный элемент трикотажа (петельный столбик или ряд):

$$P_{\text{Р}сч} = \frac{P_P}{n},$$

где $n$ - число структурных элементов на ширине пробы.

Удельная разрывная нагрузка $P_{\text{уд}}$, Н – это разрывное усилие, приходящееся на ед. ширины образца и зависящее от поверхностной плотности материала:

$$P_{\text{уд}} = \frac{P_P}{(M_S \cdot b)},$$

где $M_S$ – поверхностная плотность трикотаж а, г/м$^2$; $b$ – ширина элементарной пробы, м.

При экспериментальном изучении растяжения получают полуцикловые характеристики; образцы трикотажа доводятся до разрушения. Трикотажный материал деформируется под действием механической нагрузки, изменяются размеры и форма образцов: в начале растяжения в структуре трикотажа происходит упорядочивание, затем форма и размер петель изменяются.

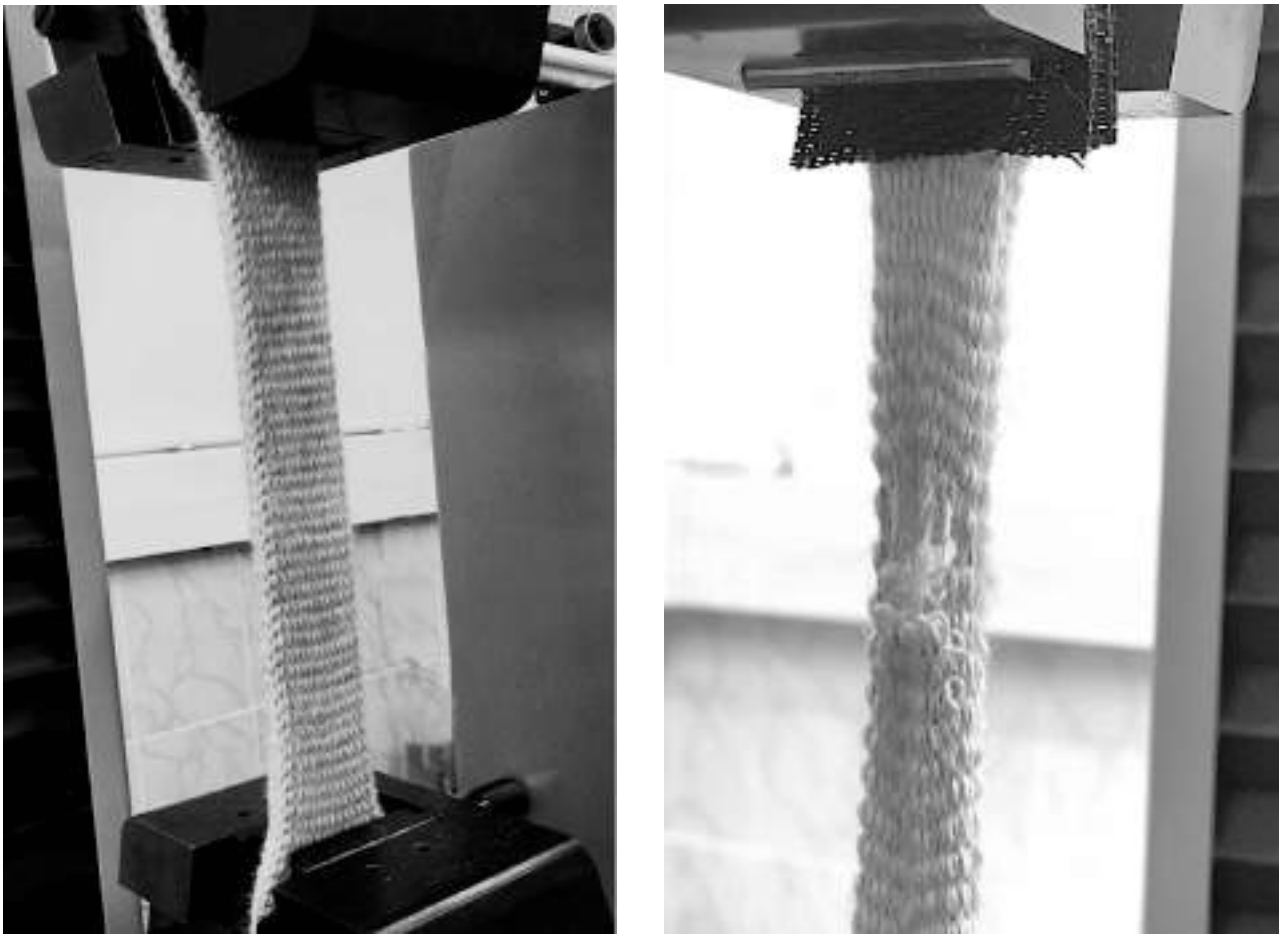
При одноосном продольном растяжении в направлении петельных столбиков, петельные палочки постепенно распрямляются, увеличивается их длина и меняется угол наклона, а размеры петельных дуг и протяжек уменьшаются. Происходит уменьшение петельного шага *A* и увеличение высоты петельного ряда *B*, образец сужается посередине зажимной длины. Наибольшее растяжение получают петли в области зажимов. В ходе испытания необходимо зафиксировать какой элемент трикотажа не выдерживает разрывной нагрузки – нить или полотно. В результате испытаний определяют разрывную нагрузку, абсолютное разрывное удлинение и абсолютную работу разрыва.

Надежное закрепление элементарной пробы в зажимах и препятствие выскальзыванию образца в процессе растяжения обеспечивали тонкие пластиковые прокладки. Испытания всех образцов трикотажа проводились в направлении петельных столбиков. Скорость движения нижнего зажима разрывной машины – 60 мм/мин. Начальное усилие 5Н.

На рисунке 2.31 показан процесс проведения испытания конструкции трикотажа комбинированного переплетения №3 на базе трубчатой глади, где показано начальное растяжение и разрушение образца.

В начале нагружения происходит быстрое удлинение образца, характерное для трикотажных полотен (рисунок 2.31, а), которое по мере увеличения нагрузки замедляется. На рисунке хорошо видны деформированные удлинившиеся петли переплетения, а так же заметное сужение образца в центральной части между зажимами и значительное уменьшение петельного шага *A*. При дальнейшем возрастании нагрузки размер петель продолжает увеличиваться, растёт напряжение в нитях и наблюдаются разрывы наиболее жёстких волокон нитей,

затем следует постепенный разрыв петель и потом полное разрушение петельной структуры образца трикотажа.



а) б)

Рисунок 2.31 – Растяжение образца трикотажа комбинированного переплетения №3 на разрывной машине УТС – 110М: а) процесс растяжения; б) процесс разрушения.

При одинаковой разрывной нагрузке, лучшими показателями механических свойств обладает полотно с более высоким разрывным удлинением, поскольку такое трикотажное переплетение дольше сопротивляется разрыву, изменяя свои линейные размеры. Диаграммы разрывных испытаний представлены на рисунках 2.32 – 2.38.

В результате испытаний были получены значения разрывной нагрузки, абсолютного и относительного разрывного удлинения, полная работа,

затраченная на разрыв образца. Показатели только разрывной нагрузки и удлинения при разрыве не дают достаточного представления о ходе деформации материала, происходящей под действием возрастающей нагрузки, а только конечную оценку сопротивления трикотажа растяжению в момент его разрушения [8, 50, 55-57]. Полной характеристикой деформационных свойств трикотажного полотна при однократном растяжении является диаграмма растяжения, на которой отражается площадь работы разрыва $R_p$, Дж.

На рисунке 2.39 представлена диаграмма работы разрыва образцов комбинированного переплетения №1. Диаграммы работы разрыва других образцов трикотажа представлены на рисунках приложения А.

Расчётные параметры результатов испытаний образцов трикотажа приведены в таблице 2.18.

Таблица 2.18 – Физико-механические показатели при растяжении до разрыва

| Переплетение/№ образца | | Разрывная нагрузка $P_р$, Н | Абсолютное разрывное удлинение $l_р$, мм | Относительное разрывное удлинение εр, % | Абсолютная работа разрыва $R_Р$, Дж | Удельная работа разрыва $R_у$, Дж | Расчётная разрывная нагрузка $P_{рсч}$, Н | Удельная разрывная нагрузка $P_{уд}$, Н |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Гладь | 1 | 218 | 84,5 | 32,5 | 5158 | 19,0 | 12,1 | 44,38 |
| | 2 | 216,3 | 100,4 | 38,6 | 6081 | 22,4 | 12,0 | 44,04 |
| | 3 | 259 | 96,4 | 37,1 | 6991 | 25,7 | 14,4 | 52,73 |
| | 4 | 303,9 | 95,4 | 36,7 | 8118 | 29,8 | 16,9 | 61,87 |
| | 5 | 283,8 | 90,4 | 34,8 | 7184 | 26,4 | 15,8 | 57,78 |
| Среднее | | 256,2 | 93,4 | 35,9 | 6706,2 | 24,7 | 14,2 | 52,16 |
| Ср. кв. откл. | | 39,0 | 6,1 | 2,4 | 1128,1 | 4,2 | 2,2 | 7,95 |
| Коэф. вар., % | | 15,2 | 6,6 | 6,6 | 16,8 | 16,8 | 15,3 | 15,24 |
| Трубчатая гладь | 1 | 515,0 | 77,0 | 38,5 | 11103 | 22,4 | 24,5 | 53,52 |
| | 2 | 648,0 | 81,0 | 40,5 | 14697 | 29,6 | 30,9 | 67,34 |
| | 3 | 615,0 | 85,0 | 42,5 | 14637 | 29,5 | 29,3 | 63,91 |
| | 4 | 638,0 | 66,0 | 33,0 | 11790 | 23,8 | 30,4 | 66,30 |
| | 5 | 550,0 | 85,0 | 42,5 | 13090 | 26,4 | 26,2 | 57,16 |
| Среднее | | 593,2 | 78,8 | 39,4 | 13063,5 | 26,3 | 28,2 | 61,7 |

Продолжение таблицы 2.18

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ср. кв. откл. | | 58,0 | 7,9 | 3,9 | 1628,4 | 3,3 | 2,8 | 6,03 |
| Коэф. вар., % | | 9,8 | 10,0 | 10,0 | 12,5 | 12,5 | 9,8 | 9,78 |
| Ластик 1х1 | 1 | 495,0 | 76,7 | 38,4 | 10631 | 29,2 | 27,5 | 65,16 |
| | 2 | 549,4 | 73,0 | 36,5 | 11230 | 30,9 | 30,5 | 72,32 |
| | 3 | 560,4 | 76,0 | 38,0 | 11925 | 32,8 | 31,1 | 73,77 |
| | 4 | 601,0 | 85,0 | 42,5 | 14304 | 39,3 | 33,4 | 79,12 |
| | 5 | 456,4 | 72,5 | 36,3 | 9265 | 25,5 | 25,4 | 60,08 |
| Среднее | | 532,4 | 76,6 | 38,3 | 11470,9 | 31,5 | 29,6 | 70,1 |
| Ср. кв. откл. | | 56,9 | 5,0 | 2,5 | 1861,6 | 5,1 | 3,2 | 7,49 |
| Коэф. вар., % | | 10,7 | 6,6 | 6,6 | 16,2 | 16,2 | 10,7 | 10,69 |
| Фанг | 1 | 424,0 | 71,0 | 35,5 | 8429 | 19,3 | 35,3 | 56,47 |
| | 2 | 438,0 | 81,0 | 40,5 | 9934 | 22,8 | 36,5 | 58,33 |
| | 3 | 364,0 | 66,0 | 33,0 | 6727 | 15,4 | 30,3 | 48,48 |
| | 4 | 415,4 | 123,0 | 61,5 | 14306 | 32,8 | 34,6 | 55,32 |
| | 5 | 343,1 | 124,0 | 62,0 | 11912 | 27,3 | 28,6 | 45,69 |
| Среднее | | 396,9 | 93,0 | 46,5 | 10261,7 | 23,5 | 33,1 | 52,86 |
| Ср. кв. откл. | | 41,1 | 28,4 | 14,2 | 2960,0 | 6,8 | 3,4 | 5,47 |
| Коэф. вар., % | | 10,4 | 30,5 | 30,5 | 28,9 | 28,9 | 10,3 | 10,35 |
| Полуфанг | 1 | 373,4 | 82,0 | 39,0 | 8573 | 21,4 | 33,9 | 41,25 |
| | 2 | 322,5 | 76,0 | 36,2 | 6863 | 17,2 | 29,3 | 35,63 |
| | 3 | 316,9 | 75,0 | 35,7 | 6655 | 16,6 | 28,8 | 35,01 |
| | 4 | 297,5 | 69,0 | 32,9 | 5748 | 14,4 | 27,0 | 32,87 |
| | 5 | 378,6 | 97,5 | 46,4 | 10336 | 25,8 | 34,4 | 41,83 |
| Среднее | | 337,8 | 79,9 | 38,0 | 7635 | 19,1 | 30,7 | 37,32 |
| Ср. кв. откл. | | 36,2 | 10,9 | 5,2 | 1823,0 | 4,6 | 3,3 | 3,99 |
| Коэф. вар., % | | 10,7 | 13,6 | 13,6 | 23,9 | 23,9 | 10,7 | 10,69 |

Продолжение таблицы 2.18

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Комбинир.№1 | 1 | 536,5 | 131,0 | 59,5 | 19679 | 42,8 | 31,6 | 57,01 |
| | 2 | 505,5 | 121,0 | 55,0 | 17126 | 37,2 | 29,7 | 53,71 |
| | 3 | 474,3 | 119,0 | 54,1 | 15804 | 34,4 | 27,9 | 50,40 |
| | 4 | 474,3 | 125,0 | 56,8 | 16601 | 36,1 | 27,9 | 50,40 |
| | 5 | 509 | 136,0 | 61,8 | 19383 | 42,1 | 29,9 | 54,09 |
| Среднее | | 499,9 | 126,4 | 57,5 | 17718,4 | 38,5 | 29,4 | 53,12 |
| Ср. кв. откл. | | 26,3 | 7,1 | 3,2 | 1723,3 | 3,8 | 1,6 | 2,79 |
| Коэф. вар., % | | 5,3 | 5,6 | 5,6 | 9,7 | 9,7 | 5,3 | 5,25 |
| Комбинир.№3 | 1 | 418,2 | 100,0 | 50,0 | 11710 | 11,7 | 29,9 | 20,88 |
| | 2 | 414,5 | 92,0 | 46,0 | 10678 | 10,6 | 29,6 | 20,70 |
| | 3 | 438,2 | 118,0 | 59,0 | 14478 | 14,4 | 31,3 | 21,88 |
| | 4 | 427,0 | 93,0 | 46,5 | 11119 | 11,1 | 30,5 | 21,32 |
| | 5 | 480,2 | 114,0 | 57,0 | 15328 | 15,3 | 34,3 | 23,98 |
| Среднее | | 435,6 | 103,4 | 51,7 | 12662,5 | 12,6 | 31,1 | 21,75 |
| Ср. кв. откл. | | 26,5 | 12,0 | 6,0 | 2099,5 | 2,1 | 1,9 | 1,33 |
| Коэф. вар., % | | 6,1 | 11,6 | 11,6 | 16,6 | 16,6 | 6,1 | 6,11 |

В консолидированной таблице 2.18 отражена динамика сопротивления разрыву петельных структур образцов, анализ которой позволяет сделать вывод, что показатели максимальной разрывной нагрузки элементарных проб переплетений трубчатая гладь (593 Н), ластик 1х1 (532 Н) и комбинированных переплетений №1 (500 Н) и №3 (436 Н) заметно превышают значения переплетений гладь, фанг и полуфанг.

При одинаковых значениях разрывной нагрузки лучшим в отношении механических свойств считается материал, имеющий более значительную величину разрывного удлинения [8]. Установлено, что наибольшие значения разрывного удлинения имеют комбинированные переплетения №1 (126,4 мм) и №3 (103,4 мм), которым соответствуют графики на рисунках 2.34 и 2.35. Таким образом, установлено, что механические свойства данных переплетений

превосходят по показателям прочности исходные переплетения фанг и трубчатая гладь соответственно. Графики разрыва переплетений трубчатая гладь и фанг представлены на рисунках 2.33 и 2.35.

Большие значения разрывных удлинений увеличивают графическую площадь и значения работы разрыва – 17718 Дж переплетение №1 и 12663 Дж переплетение №3. Следует заметить, что абсолютная работа разрыва производного переплетения №3 сопоставима с показателем исходного переплетения трубчатая гладь – 12662,5 и 13063,5 Дж соответственно.

Поскольку работа разрыва характеризует количество энергии, которое необходимо затратить на разрушение материала, то конструкцию переплетения №1 можно считать наиболее «прочной» при разрыве.

Анализ результатов экспериментальных данных подтверждает, что дополнительную прочность при сопротивлении разрывной нагрузке конструкции структуры №1 обеспечивают сдвиговые операции, а конструкции структуры №3 – разработанная система протяжек, имитирующих стержни шарнирной строительной фермы типа «стойка» и «раскос» [28, 38].

Дополнительные протяжки оказывают значительное воздействие на растяжимость трикотажа, показателем которой является абсолютное удлинение. Так, переплетение фанг является сильно растяжимой трикотажной структурой [70], и, тем не менее, значение абсолютного удлинения образцов фанга 93,0 мм, в то время, как показатели абсолютного удлинения образцов комбинированных переплетений №1 и №3, с протяжками-распорками в петельной структуре, 126,4 и 103,4 мм соответственно. Следовательно, можно говорить о том, что поперечные протяжки при продольном удлинении упрочняют общую структуру материала за счёт дополнительного количества упругих нитей для разрыва.

На рисунках 2.40 – 2.42 представлены графики изменения параметров трикотажа при растяжении до разрыва, уравнения линейной зависимости изменения длины трикотажа от прилагаемой нагрузки, и приведены линии тренда.

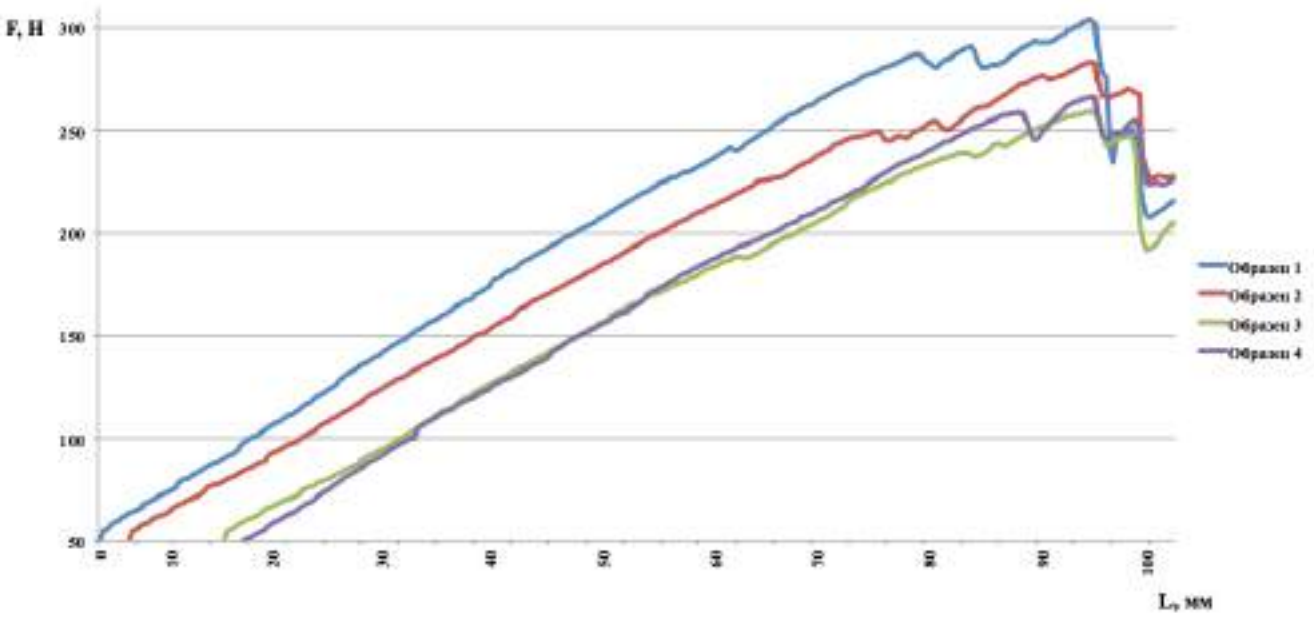



Рисунок 2.32 – Диаграмма растяжения образцов переплетения кулирная гладь.

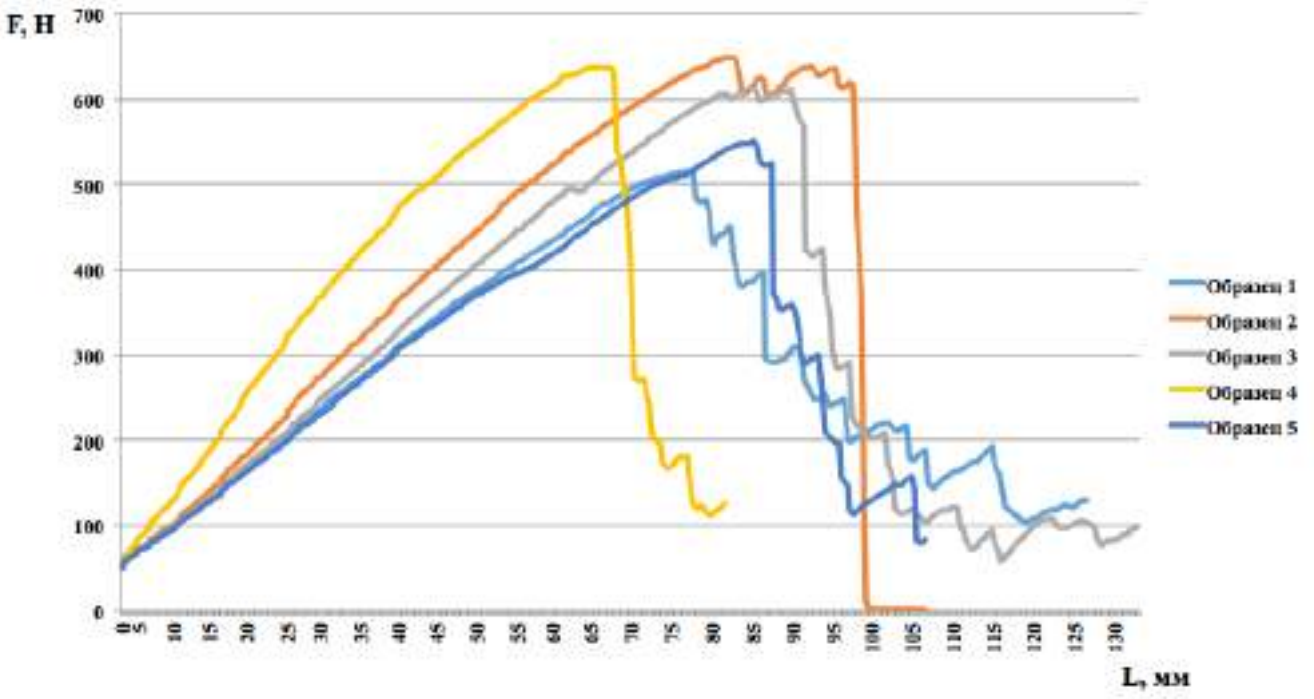



Рисунок 2.33 – Диаграмма растяжения образцов переплетения трубчатая гладь.

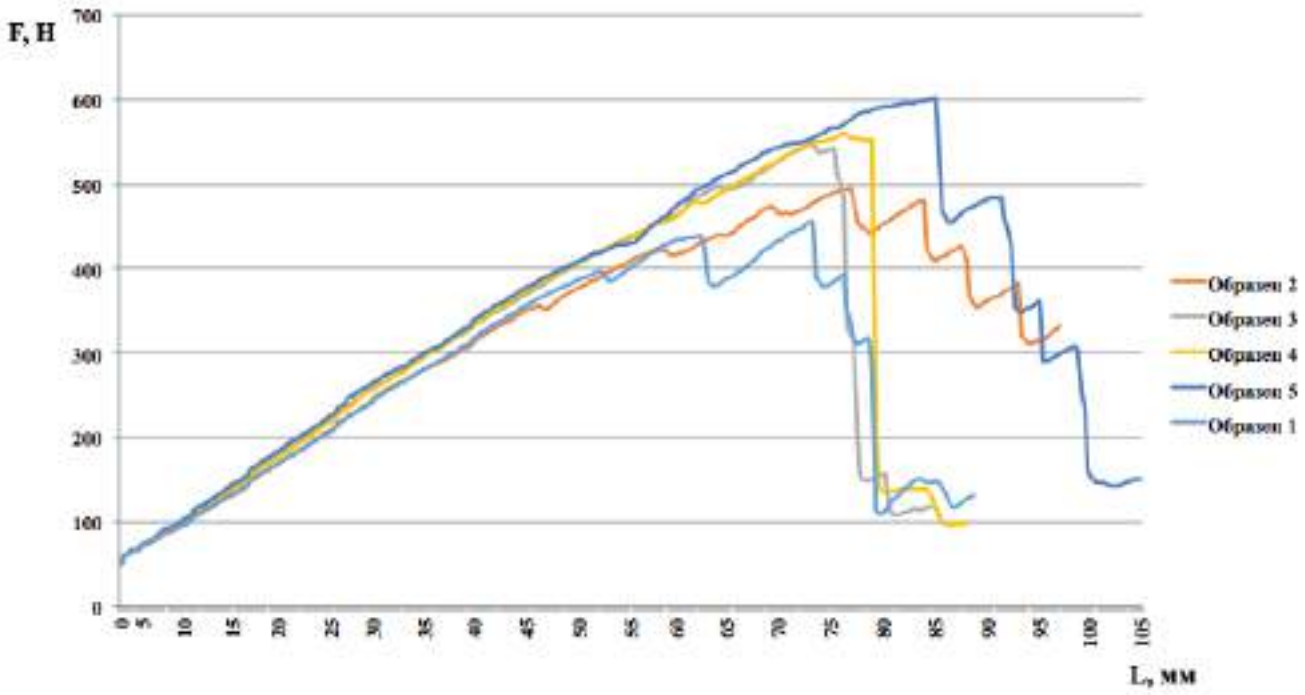



Рисунок 2.34 – Диаграмма растяжения образцов переплетения ластик 1х1.

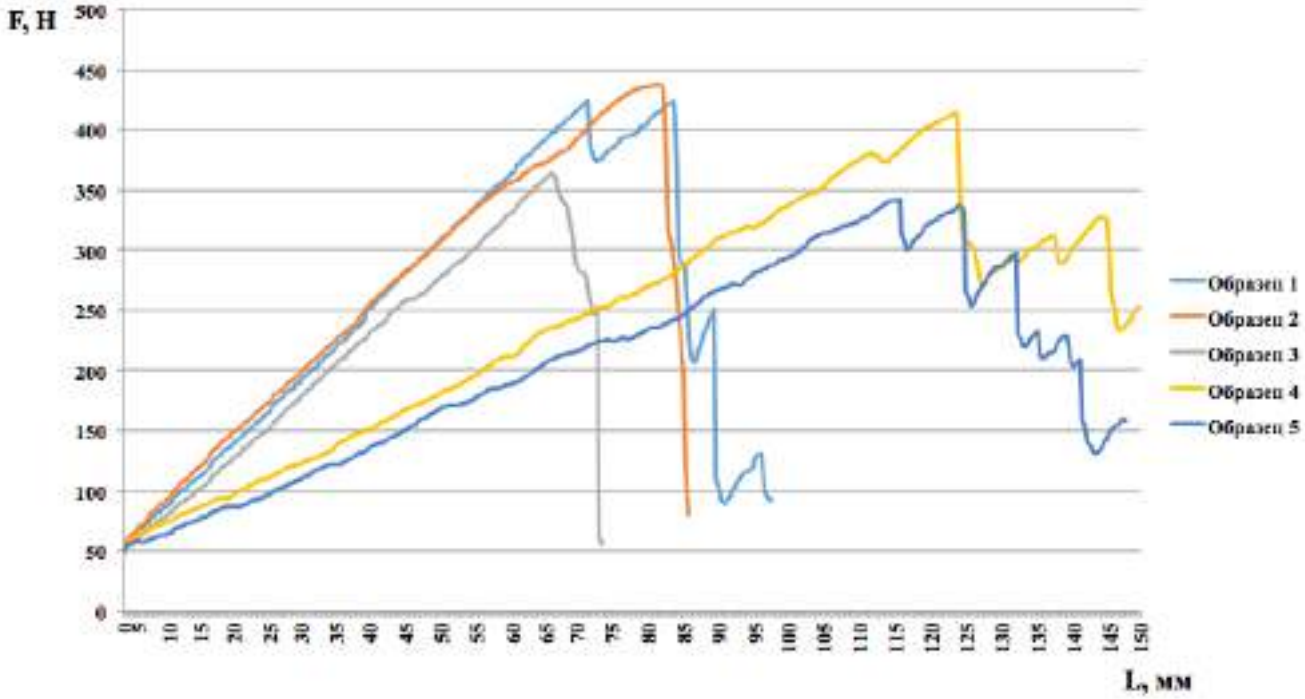



Рисунок 2.35 – Диаграмма растяжения образцов переплетения фанг.

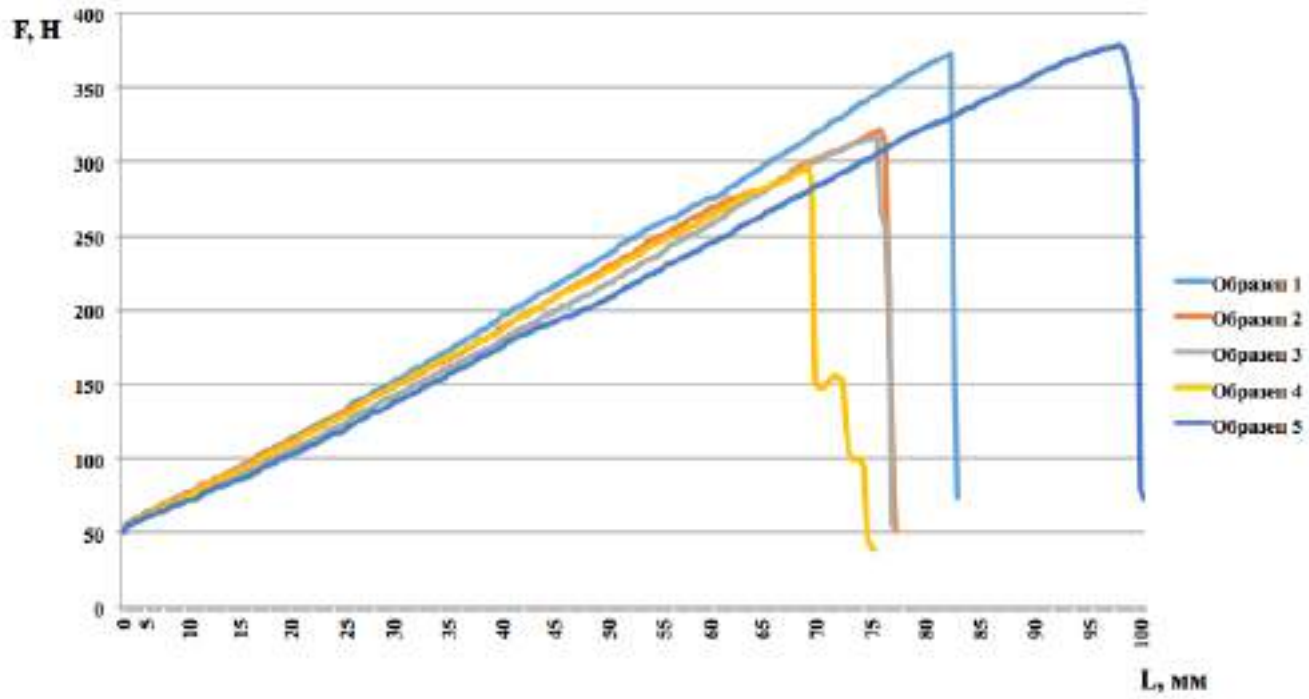



Рисунок 2.36 – Диаграмма растяжения образцов переплетения полуфанг.

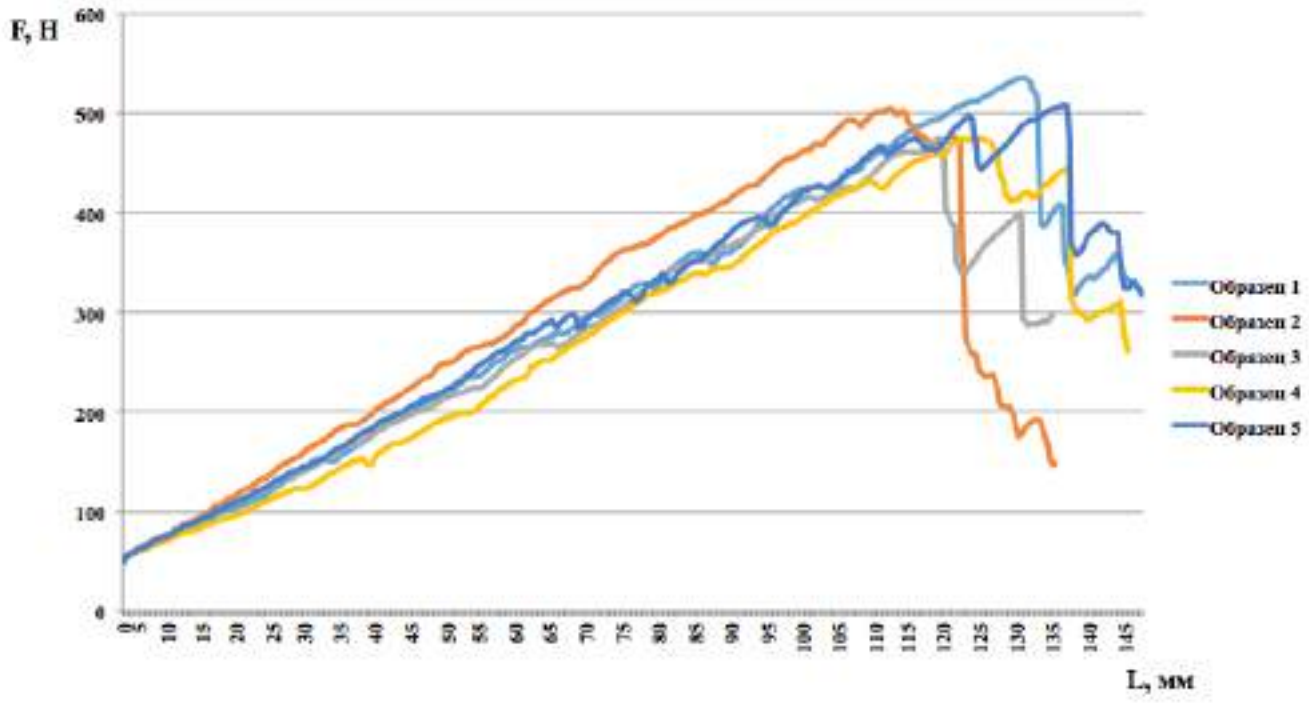



Рисунок 2.37 – Диаграмма растяжения образцов комбинированного переплетения №1 на базе фанга.

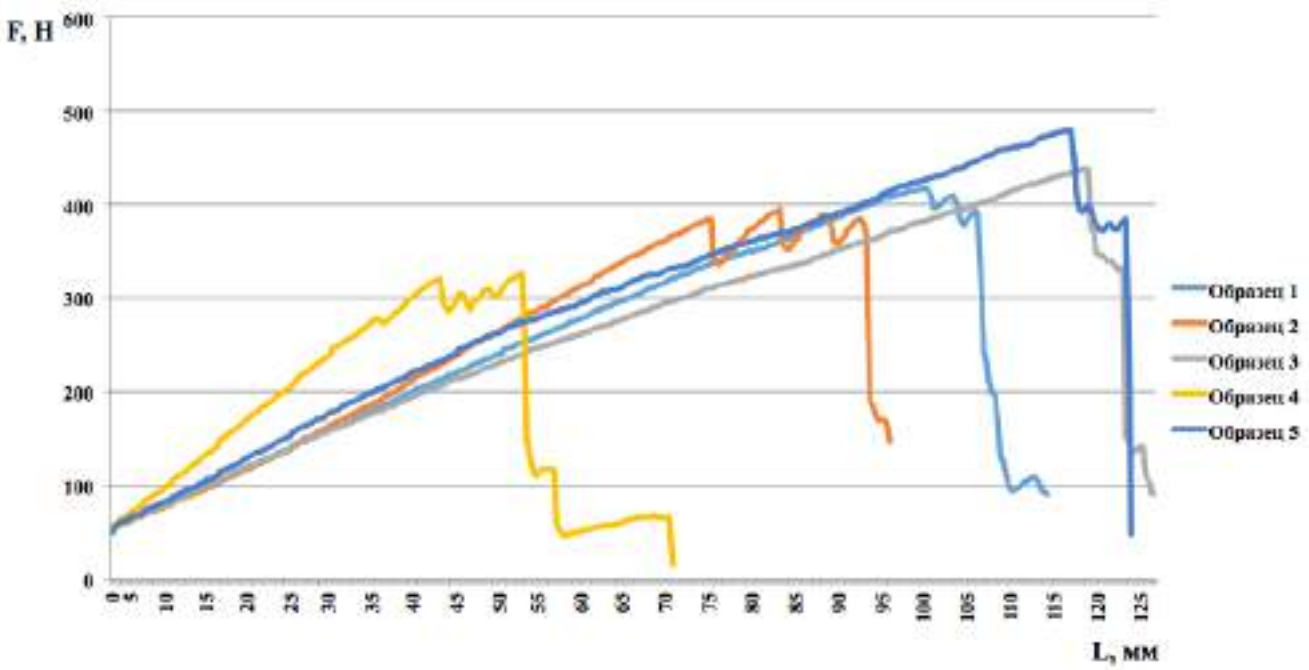



Рисунок 2.38 – Диаграмма растяжения образцов комбинированного переплетения №3 на базе трубчатой глади.

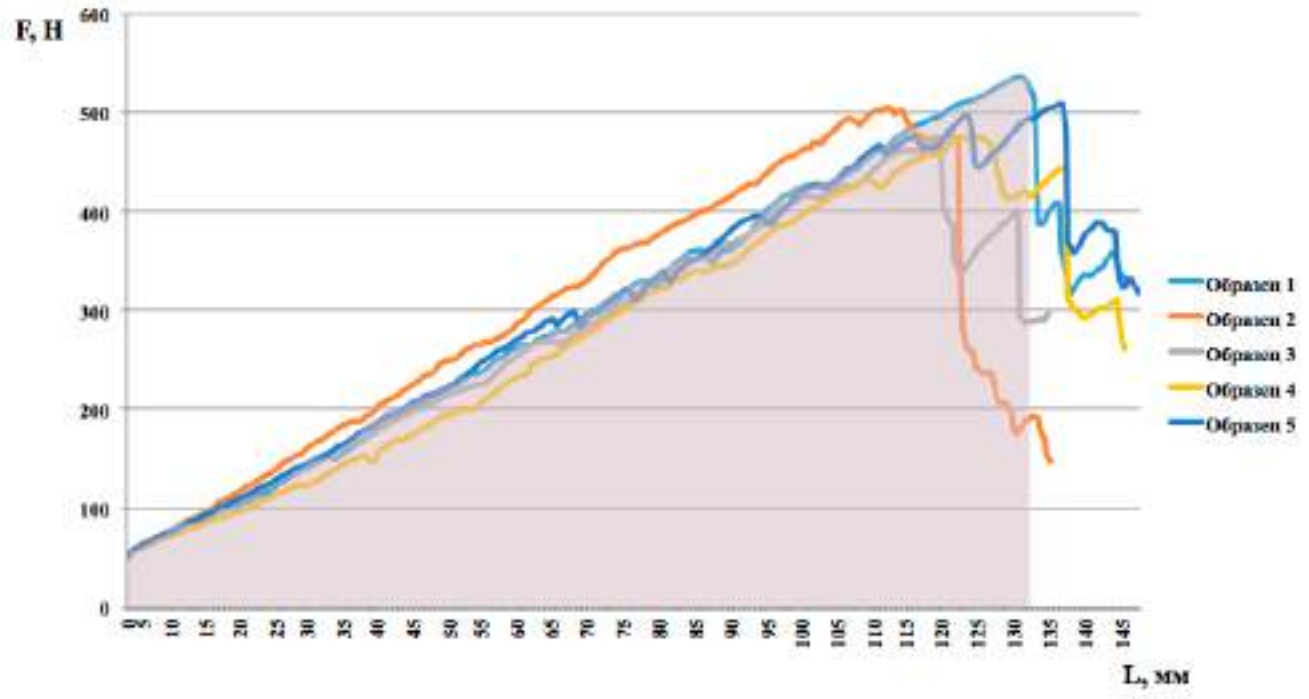



Рисунок 2.39 – Диаграмма работы разрыва образцов комбинированного переплетения №1 на базе фанга.

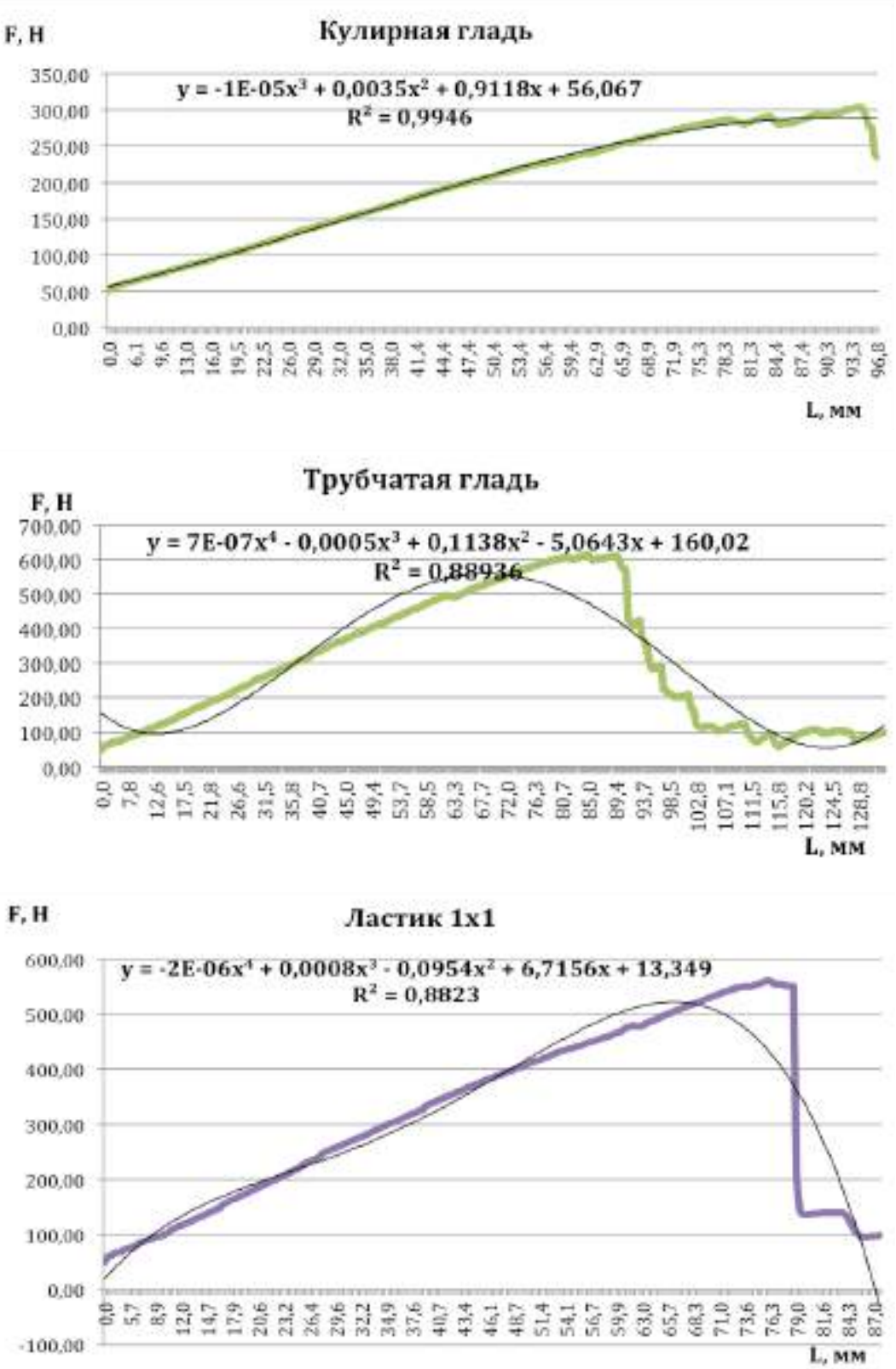



Рисунок 2.40 – Графики изменения параметров трикотажа при растяжении до разрыва, линейные уравнения и величина достоверности аппроксимации.

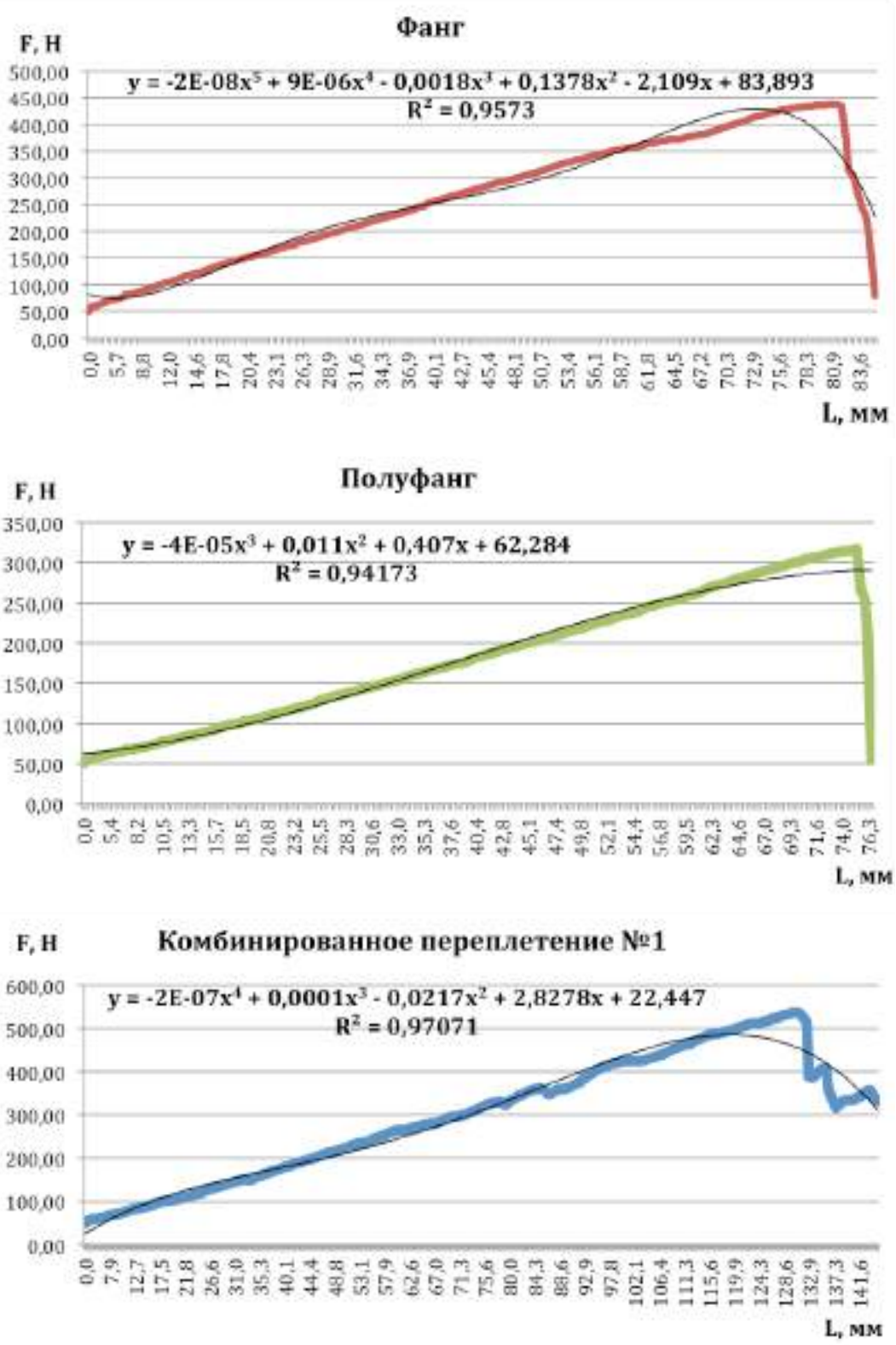



Рисунок 2.41 – Графики изменения параметров трикотажа при растяжении до разрыва, линейные уравнения и величина достоверности аппроксимации.

Рисунок 2.42 - График изменения параметров трикотажа переплетения №3 при растяжении до разрыва. Линейное уравнение и величина достоверности аппроксимации.

## 2.4. Закручиваемость краёв образцов трикотажа

Закручиваемость трикотажа по краям относится к отрицательным свойствам трикотаж, создающим определённые неудобства использования и обработки деталей с перекрученными кромками.

На рисунке 2.43 представлена фотография всех связанных образцов разработанных и традиционных переплетений, на которой можно видеть степень закручиваемости трикотажа по краю.

Закручиваемость трикотажа по краям наиболее характерна для одинарных полотен, выработанных на однофантурных машинах с одной игольницей. На это свойство влияют вид переплетения и плотность вязания [32, 38, 41]. Степень

закручивания зависит от упругости и линейной плотности изогнутой в петлю нити, стремящейся распрямиться, а так же от внешних условий и вида отделки.

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7.

Рисунок 2.43 – Образцы переплетений: 1 – кулирная гладь; 2 – трубчатая гладь; 3 – ластик 1х1; 4 – фанг; 5 – полуфанг; 6 – комбинированное переплетение №1; 7 – комбинированное переплетение №3.

Временно снять напряжение в петельной структуре и устранить закручиваемость можно путём влажно-тепловой обработки трикотажа, при условии достаточной гидрофильности исходного сырья.

Среди выработанных конструкций наибольшую закручиваемость краёв можно наблюдать у образцов одинарного переплетения кулирная гладь (рисунок 2.43, 1), как особенность, характерную для кулирных переплетений, выработанных на одной игольнице.

Сильная закручиваемость краёв кулирной глади создаёт дополнительные трудности для использования данного переплетения в качестве армирующего компонента композитов, поскольку потребуется дополнительная фиксация сильно закручивающихся краёв в процессе формования изделия [13].

Образцы двойных кулирных переплетений, выработанные на двух фонтурах, не закручиваются по краю, что хорошо видно на рисунке. Трикотаж двойных переплетений с одинаковым сочетанием лицевых и изнаночных петель не

закручивается ни по длине, ни по ширине (рисунок 2.43, 2-7), так как стремление к закручиванию петель одной стороны уравновешивается стремлением другой стороны к закручиванию в обратном направлении [32].

## 2.5 Выбор переплетений для выработки образцов трикотажа из высокомодульной нити

Были проведены эксперименты по выявлению зависимости прочности трикотажа от вида конструкции. Сопротивление нагрузкам определяют и основные параметры трикотажа, которыми являются вид переплетения, толщина и плотность, и, во многом, вид нитей. В результате проведённых испытаний образцов конструкций получены эмпирические данные о влиянии на физико-механические свойства трикотажа структурных особенностей переплетений. Экспериментально установлено, что наличие протяжек-распорок типа «стойка» и «раскос» в конструкции переплетения трикотажа, составляющих соединительные элементы между петельными слоями, приводит к значительному увеличению прочности и устойчивости (жесткости) трикотажного материала при восприятии внешних нагрузкок.

Наилучшие показатели по проведённым сериям испытаний показали комбинированные переплетения №1 на базе фанга и №3 на базе трубчатой глади. Конструктивными особенностями комбинированного переплетения №1 являются операции по сдвигу игольниц на один игольный шаг. Конструкция комбинированного переплетения №3 смоделирована по схеме плоской строительной фермы, и полностью повторяет все элементы, которые обеспечивают неизменяемость и прочность фермы (рисунок 2.8) [30, 53].

Установлено, что текстильные протяжки-распорки способны значительно упрочить трикотажную структуру при приложении внешних нагрузок.

На основании проведённых механических испытаний конструкций и полученных расчётных данных, выбраны конструкции для выработки образцов переплетений из высокомодульной нити и проведения их дальнейших исследований. Были отобраны переплетения гладь, трубчатая гладь, ластик 1х1, фанг, комбинированное переплетение №3 на базе трубчатой глади.

## Выводы по второй главе

1. Разработаны новые структуры двойного кулирного трикотажа, для обеспечения заданных физико-механических свойств композиционного материала:
   - Комбинированное переплетение №1 на базе фанга, с перекрёстными протяжками и с ритмом чередования направлений сдвига на один игольный шаг после вывязывания каждого полного петельного ряда раппорта переплетения.
   - Комбинированное переплетение №2 на базе фанга, с ритмом чередования направлений сдвига на один игольный шаг после вывязывания каждого полного петельного ряда раппорта переплетения, и с дополнительным прокладыванием футерных нитей в отдельных петельных слоях трикотажа.
   - Комбинированное переплетение №3 на базе трубчатой глади, с перекрещивающимися протяжками футерной нити, с ритмом чередования направлений сдвига на один игольный шаг после вывязывания каждого полного петельного ряда раппорта переплетения.
   - Двухслойный трикотаж крупноячеистой структуры.
   - Объёмный трикотаж мелкоячеистой структуры
   - Двухслойный трикотаж с участками ажурных отверстий различной структуры
2. Проверена возможность выработки трикотажа разработанных конструкций на стандартном плосковязальном оборудовании.
3. Установлено, что при плоскостном нагружении, показатели устойчивости к приложенной нагрузке конструкции переплетения №3 значительно превышают параметры образцов конструкций других переплетений.
4. При разрывных испытаниях установлено, что конструкцию переплетения №1 можно считать более «прочной» при разрыве, чем конструкцию переплетения №3.

5. Установлено, что при плоскостном нагружении соединительные протяжки-распорки повышают устойчивость трикотажного материала сдавливающим нагрузкам. Трикотажные структуры, не имеющие протяжек-«распорок», имеют значительно меньшие показатели нагрузок, в сравнении с комбинированными переплетениями №1 и №3.
6. Установлено, что наличие в конструкции структуры двойного трикотажа соединительных элементов «стойка» и «раскос», расположенных под углом $45^0$ и $90^0$ между слоями трикотажа, и соединяющих петельные слои, оказывает значительное влияние на физико-механические свойства полотна и его сопротивляемость растягивающим и сдавливающим нагрузкам, а так же растяжению до разрыва.
7. По результатам проведённых испытаний разработанных конструкций, отобраны преплетения для выработки образцов из высокомодульной нити и проведения дальнейших экспериментальных исследований.

# 3. Обзор современных высокомодульных нитей

В главе 2 разработаны и экспериментально проверены пространственные конструкции двойного кулирного трикотажа с межслойными протяжками-распорками, сконструированные на основе строительной треугольной фермы [30]. Согласно поэтапному подходу к решению поставленных в работе задач по разработке конструкций трикотажа с межслойными протяжками-распорками, и для дальнейшей реализации исследований, необходимо рассмотреть свойства высокомодульных технических нитей. Затем необходимо определить вид нитей, наиболее подходящих для выработки образцов трикотажа разработанных структур с заданными физико-механичесими свойствами, и устойчивых к деформационным нагрузкам.

Предполагаются разные пути использования новой пространственной конструкции, имеющей протяжки-распорки, соединяющие слои трикотажа под углом $45^0$ и $90^0$. Можно рассматривать её применение в технической области, например, в качестве армирующего наполнителя композиционного материала. В этом случае необходимо учитывать, что физико-механические свойства композитов определяются индивидуальными физико-механическими свойствами армирующего материала и матрицы, а так же прочностью связи этих компонентов на границе двух сред [24, 25]. Основную механическую нагрузку в КМ несёт наполнитель, и в текстильно армированных композитах именно свойства текстильных нитей определяют прочность, жесткость и физико-механические свойства будущего материала [12, 13, 20].

В последнее время во всём мире активно разрабатываются полимерные высокопрочные и высокомодульные композиционные материалы [1]. Известно,

что прочность и физико-механические показатели трикотажа определяются структурой переплетения, свойства которого зависят от формирующих его нитей [8, 9]. Все основные геометрические параметры трикотажа – длина нити в петле *l*, линейная плотность нити *T*, высота петельного ряда *B* и петельный шаг *A*, – находятся в прямой зависимости от параметров волокон и сырья [27]. Поэтому, для дальнейшей реализации конструкции трикотажа на основе схемы строительной плоской фермы, выбраны высокомодульные нити на основе линейных полимеров, которые относятся к группе сверхпрочных химических нитей [8, 56, 58-61].

Отличительной особенностью высокомодульных нитей является высокоориентированная структура, которая определяет возможность достижения высоких механических свойств получаемого трикотажного материала [62, 63, 105, 108].

Пространственный трикотажный каркас, имеющий анизотропные свойства, позволяет улучшить характеристики КМ, увеличить сопротивление сдвигу и поперечному отрыву, повысить долговечность материала [12]. А трикотажный каркас, выработанный из высокомодульных нитей поможет значительно упрочить конструкцию композита, и повысить устойчивость к внешним нагрузкам.

## 3.1. Основные физико-механические свойства высокомодульных нитей

Химические волокна со специальными свойствами: высокопрочные, высокомодульные (малорастяжимые), высокоэластичные, термо- и огнестойкие,

светостойкие и др., являются техническими волокнами нового поколения [60, 77, 91]. Из высокомодульных волокон изготавливают армированные полимерные композиционные материалы, высоконагруженные текстильные изделия, средства профессиональной и баллистической защиты и спасения, высокоскоростные роторы. Несмотря на относительно высокую стоимость высокомодульных волокон, их использование оправдано уникальностью физико-механических свойств, их применяют в таких областях техники, где требуется сочетание высоких функциональных характеристик и минимальной массы – в производстве летательных аппаратов и других транспортных средств, конструкционных материалов, спортивного снаряжения и пр. [2].

Высокомодульные волокна и нити применяют для изготовления материалов, которые используются в экстремальных условиях – при высоких механических нагрузках и больших температурах, специальной труднопрорезаемой одежде и перчатках [60, 75]. В работах [6, 58, 60, 61]подробно представлены виды и свойства химических волокон и нитей технического назначения.

Новой важной сферой применения высокомодульных и сверхвысокомодульных нитей является замена асбеста, который используется в разных сферах промышленного производства - в строительстве, в текстильной промышленности (спецодежда и перчатки), химической промышленности и др., и является токсичным и опасным для здоровья людей материалом [8, 19, 20, 56, 59, 60, 75].

Удельная прочность высокомодульных и высокопрочных волокон при растяжении ≈ 4,5 Гпа, а модуль упругости ≈ 70 – 160 Гпа [6, 62]. Основные характеристики различных химических волокон приведены в таблице 3.1 [19, 106].

Таблица 3.1 – Физико-механические свойства высокомодульных волокон [6]

| Тип волокон или нитей | Плотность, г/см$^3$ | Прочность, сН/текс | Удлинение, % | Модуль деформации, ГПа | Кислород-ный индекс КИ, % | Температура эксплуатации (предельная), С$^0$ | Влажность при нормальных условиях, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Метаарамидные (фенилон, номекс, конекс) | 1,38 | 40 – 55 | 15 – 30 | 8 – 20 | 28 – 30 | 180 – 200; до 300 | 4 – 5 |
| Параарамидные (кевлар, тварон, технора) | 1,44 | 50 – 240 | 1,5 – 4,5 | 60 – 160 | 25 – 30 | 160 – 180; до 300 | 6 – 10 |
| Из гетероциклических полиамидов (СВМ, армос, русар) | 1,41 | 160 – 300 | 2 – 4,5 | 125 – 160 | 38 – 45 | 180 – 200; до 300 | 8 – 10 |
| Полиамидоимидные (кермель) | 1,35 | 35 – 60 | 10 – 25 | 5 – 9 | 30 – 32 | 180 – 200; 250 – 300 | 3 – 3,5 |
| Полибензимидазольные (PBI) | 1,40 – 1,41 | 30 – 40 | 10 – 20 | 8 – 12 | 35 – 48 | 160 – 180; до 300 | 10 – 15 |
| Полиимидные волокно/нить (аримид, пион, каптон, Р-84) | 1,41 – 1,45 | 40 – 45 / 50 – 80 | 15 – 20 / 6 – 12 | 11 – 22 | 40 – 75 | 300 – 350; до 500 | 3 – 6 |
| Полиимидная нить (твим) | 1,41 – 1,45 | 120 – 150 | 2 – 4 | 100 – 120 | 60 – 70 | 250 – 300; до 400 | 4 – 5 |
| Полибензазольные (zylon, PBZ) | 1,41 – 1,45 | 300 – 370 | 2,5 – 3,5 | 180 – 280 | 65 – 68 | 200 – 220; до 400 | 12 – 15 |
| Параметаарамидное (арлана) | 1,41 – 1,45 | 30 – 60 | 7 – 15 | – | 34 – 37 | 200 – 250; – | |
| Полулестничные нити (ВВВ, лола) | 1,4 – 1,5 | 35 – 45 | 3 – 6 | 30 – 45 | 45 – 65 | до 400 – 450 | 3 – 6 |
| Дегидрированные полиакрилонитрильные | 1,37 – 1,4 | 20 – 25 | 12 – 22 | 20 – 25 | 40 – 50 | до 300 – 350 | – |

Нормальное содержание кислорода в окружающем воздухе составляет 21%, и материалы, имеющие кислородный индекс КИ > 21, являются не

поддерживающими устойчивого горения. Материалы с КИ 26 – 28 замедляют горение на воздухе, а с КИ > 30 имеют высокие огнезащитные свойства. Показатели КИ всех высокомодульных волокон очень высокие. Как видно из приведенных в таблице 3.1 данных, полиимидные волокна и нити «Аримид» и «Пион» отличаются значениями тепло- и термостойкости, а также кислородного индекса, значительно превосходя по этим показателям все остальные волокна [62]. Огнестойкие и теплостойкие технические нити используют для изготовления негорючих огнезащитных материалов.

## 3.2 Обзор физико-механических показателей основных, наиболее часто применяемых высокомодульных нитей

К высокомодульным волокнам относят волокна на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), поливинилспиртовые (ПВС), полипарафениленбензобисоксазольные (ПБО), арамидные, углеродные, стеклянные, базальтовые волокна.

В таблице 3.2 приведена сравнительная характеристика некоторых высокомодульных волокон.

Основные параметры и химичесие свойства высокомодульных нитей, представленных в таблице, подробно описаны в литературе [13, 19, 58, 75].

Чтобы сопоставить физико-механические свойства высокомодульных нитей и основных видов натуральных и химических волокон и нитей, приведена сводная таблица 3.3.

Таблица 3.2 – Основные свойства высокомодульных волокон [58]

| Вид волокна | Показатели свойств | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Плотность, г/см$^3$ | Прочность, ГПа | Модуль упругости, ГПа | Предельная температура эксплуатации, °С |
| Углеродное | 1,6 – 2,0 | 2,5 – 5,0 | 200 – 700 | 450 |
| Стеклянное | 2,2 – 2,8 | 1,5 – 5,0 | 50 – 90 | 550 |
| Базальтовое | 2,6 – 3,0 | 3,4 – 4,0 | 80 – 85 | 700 |
| СВМПЭ волокно | 0,97 – 0,98 | 1,5 – 4,0 | 100 – 160 | 130 |
| Поливинилспиртовое ПВС | 1,3 – 1,4 | 1,3 – 2,0 | – | 180 |
| Полипарафениленбензобисоксазольное ПБО | 1,5 – 1,6 | 5,6 – 5,8 | 280 – 300 | 400 |
| Параарамидное (кевлар, тварон, технора, СВМ, армос, русар) | 1,4 – 1,5 | 2,7 – 5,5 | 90 – 195 | 450 |

Таблица 3.3. Основные свойства натуральных и высокомодульных волокон [75]

| Волокна, нити | Плотность деформации $\gamma$, г/см$^3$ | Модуль деформации, ГПа | Прочность, МПа | Удлинение при разрыве $\varepsilon_P$, % | Температура начала деструкции, $C^0$ | Влажность, при кондиционных условиях, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Древесные (хвойные) | 1,5 – 1,52 | 6 – 11 | 600 – 800 | 10 – 20 | 130 – 140 | 9 – 12 |
| Хлопок | 1,52 – 1,55 | 6 – 11 | 400 – 600 | 8 – 9 | 130 – 140 | 8 – 10 |
| Лён, пенька | 1,51 – 1,53 | 30 – 60 | 400 – 700 | 2 – 3 | 130 – 140 | 9 – 12 |
| Химические нити (полиакриловые) | 1.17 – 1,3 | 3 – 6 | 300 – 500 | 15 – 30 | 150 – 180 | 1 – 6 |
| Сверхпрочные и высокомодульные нити (параарамидные) | 1,44 – 1,45 | 70 – 120 | 3000 – 5000 | 2,5 – 4 | 250 – 300 | 3 – 5 |

Прочность натуральных и химических волокон и нитей находится в пределах 0,3 – 0,8 ГПа, при плотности (натуральных) волокон – 1,2 – 1,5 г/см$^3$, а прочность высокомодульных нитей составляет 3,0 – 5,0 Гпа, при аналогичной плотности волокна – 1,45 г/см$^3$ (табл. 3.3).

Волокна растительного происхождения выполняют функцию армирующего компонента тканей растений, и прочность целлюлозных волокон (древесных, хлопковых и лубяных) направлена на устойчивость к воздействию окружающей среды и к воздействию внешних физических факторов. Прочности целлюлозные волокон достаточно для того, чтобы обеспечивать прочность тканей растений [75].

Высокомодульные волокна производят для применения в техническом текстиле и для широкого ассортимента волокнистых полимерных композитов, армированных волокнами, нитями, жгутами и другими текстильными структурами. Полное описание свойств перечисленных волокон опубликовано в работе [75], где они рассмотрены подробно.

Анализ современного состояния производства различных видов химических волокон, путей и тенденций их развития проведён в работе [58].

Страны производители высокомодульных волокон и нитей, и физико-механические свойства основных нитей [39, 59]:

- «Номекс» и «Кевлар», PBI и «PBZ» (США);
- «Конекс» и «Технора», «Zylon» (Япония);
- «Тварон» (Нидерланды);
- СВМ, «Армос», «Русар», «Арлана», «Аримид», «Пион» и «Твим» (Россия);
- «Р-84» (Австрия);
- «Кермель» (Франция)
- СВМПЭ волокна (Голландия), (США), (Япония).

*Физико-механические свойства основных видов высокомодульных волокон и нитей*

*Углеродное волокно* обладает высокими показателями прочности – свыше 4,0 ГПа и модулем упругости около 240 ГПа при плотности 1,75 г/см$^3$ [6, 67, 68, 73, 75, 78, 80]. Углеродное волокно обладает также высокой биологической и химической стойкостью, низкой плотностью, хорошими электро- и теплоизолирующими свойствами, относится к классу трудногорючих. Углеродные волокна и углеткани активно используются в создании текстильных композитов.

К недостаткам углеродных волокон относятся:

- наличие пористости и дефектов на поверхности, приводящих к потере прочности при текстильной переработке волокна, что отражается на качестве готового изделия;
- хрупкость волокна при изгибе, еще больше затрудняющая его текстильную переработку.

*Стекловолокно* и ткани на их основе термостойки в диапазоне температур от -200°С до +550°, не горючи, не подвержены коррозии, хемостойки.

Стекловолокно используется в качестве электро-, звуко-, теплоизоляционных материалов, а так же армирующего наполнителя стеклопластиков [82].

Недостатками стекловолокна являются:

- опасное для здоровья производство с токсичным компонентом окиси бора $B_2O_3$,
- показатель плотности стекловолокна в колеблется от 2,2 до 2,8 г/см$^3$, по сравнению с плотностью СВМПЭ (0,92-0,98 г/см$^3$) и арамидным (1,4-1,5 г/см$^3$) волокном, что увеличивает вес изделия;
- невысокие прочностные свойства, хрупкость волокна.

*Базальтовое* волокно обладает высокими механическими свойствами, стойкостью к агрессивным средам и вибрации, шумопоглощающими свойствами, термостойкость – длительная эксплуатация до 700 °С, кратковременная до 900 °С, минимальная температура – минус 260 °С [81].

По прочностнмх характеристикам, модулю упругости и плотности базальтовое волокно уступает таким высокомодульнмх волокнам, как углеродное, СВМПЭ, арамидное.

*Полиэтиленовое (СВМПЭ)* волокно в 10 раз прочнее стали, на 40% прочнее и в 1,5 раза легче волокна Кевлар. СВМПЭ волокно обладает плотностью 0,98 г/см$^3$, эластичностью, морозостойкостью и практически нулевым коэффициентом трения [61, 62].

Недостатком СВМПЭ волокна при использовании в качестве матрицы композитов, является малый коэффициент трения, из-за его абсолютной инертности, которую можно устранить путём модификации.

*Поливинилспиртовые (ПВС)* волокна обладают высокой прочностью – 2,0 ГПа (но это в два раза меньше прочности некоторых марок базальтовых и арамидных волокон); высокий модуль упругости в сравнении с нитями технического назначения. Плотность ПВС волокна сравнима с арамидными – 1,4 г/см$^3$, устойчивы к щелочам.

К недостаткам ПВС волокна относится высокая степень энергоемкости производства, повышающая его стоимость.

*Полипарафениленбензобисоксазольные (ПБО)* волокна, основные преимущества которых – высокая прочность (5,6-5,8 ГПа) и модуль упругости (180 ГПа) при растяжении, а так же термическая стойкость (предельная температура эксплуатации 400 °С). К недостаткам ПБО волокон относится очень высокая стоимость, обусловленная сложностью и технологической неэкологичностью. Поэтому производятся волокна в ограниченном количестве (400 тонн в год) единственной фирмой – Toyobo.Co.Ltd (Япония) [62, 70].

*Арамидные* волокна устойчивы к воздействию пламени, высоких температур, органических растворителей, нефтепродуктов, менее хрупки по сравнению с углеродными и стеклянными волокнами. Волокна практически не проявляют ползучести под нагрузкой [92, 106]. Во всем интервале нагрузок вплоть до разрушения зависимость напряжений от деформаций является линейной [6].

К достоинствам арамидных волокон относится высокая разрывная прочность – до 5,5 ГПа и модуль упругости – 195 ГПа, стойкость к высоким температурам и хемостойкость, в то же время волокно обладает малой плотностью 1,41 г/см$^3$.

Арамидное волокно имеет сравнительно невысокую стоимость по сравнению с другими высокомодульными волокнами, что является преимуществом, и отсюда большое количество производителей данного волокна в России и в мире [62].

Арамидные ткани с поверхностной плотностью до 400 г/м$^2$ являются баллистически стойкими, их применяют в качестве армирующего наполнителя модифицированных органопластиков для изготовления средств индивидуальной защиты (бронежилетов, касок и др.). Композиционные материалы, армированные такими тканями проявляют очень высокую стойкость баллистическому воздействию [2, 69, 75-78, 83].

К недостаткам арамидных волокон относится сильное влагопоглощение и потеря прочности при намокании, и требуется защита волокна от влаги. Большим недостатком считается потеря прочности при изгибе и повышении степени кручения, что подтверждается результатами испытаний волокон на усталость и отражено в работе [2, 69-72].

*Аримид и пион*, волокна из ароматических полиимидов, устойчивы к воздействию кислот средней концентрации, обладают хорошими теплоизоляционными свойствами.

Аримид не плавится, не горит и не тлеет, в пламени горелки не воспламеняется [74, 75]. Он устойчив к действию всех известных органических растворителей, а на холоде – к действию кислот и щелочей до 45 – 60 %-ной концентрации. В 1 %-ном растворе NaOH аримид растворяется после кипячения в течение 24 часов. После 1000 часов воздействия температуры 300$^{o}$ С аримид сохраняет половину прочности, а после 100 часов – более 60%. Поэтому волокна из ароматических полиимидов могут использоваться в производстве тканей для защитной одежды пожарных, космонавтов, сварщиков и представителей других профессий, работа которых связана с опасными средами [74, 75].

## 3.3 Выбор вида высокомодульной нити для выработки образцов трикотажа

Высокопрочные высокомодульные волокна различной природы различаются по технологии изготовления и свойствам, и каждый тип волокна имеет свои достоинства и недостатки. Однако, все высокомодульные волокна обладают высокими показателями модуля упругости, прочности и термостойкости при небольшой плотности. Поэтому текстильные материалы, производимые из высокомодульных волокон и нитей, обладают высокими физико-механическими показателями и широко используются в качестве армирующих наполнителей прочных, легких и термически устойчивых композиционных материалов и других изделий [22, 26, 67, 70].

Для изменения или усиления заданных физико-механических показателей трикотажа, и повышения устойчивости к внешним факторам среды и

деформационным нагрузкам, можно использовать сразу несколько видов высокомодульных нитей в одном переплетении.

Сейчас появляются новые нити технического назначения, но есть сложность их переработки на текстильном оборудовании. При выборе исходного сырья следует учесть, что существенными факторами являются их доступность и цена, влияющие на стоимость готовых изделий, а так же физико-механические показатели нитей. Поэтому, для проведения дальнейшего исследования свойств конструкции на основе схемы строительной плоской фермы, образцы трикотажа будут выработаны из высокомодульных нитей Русар.

При текстильной переработке высокомодульных арамидных нитей возникают определённые трудности. Из [2, 69-72] известно, что основным недостатком нитей Русар считается потеря прочности при изгибе и повышении степени кручения.

Проблемы, возникающие при переработке арамидных нитей различной линейной плотности на ткацком оборудовании проанализированы и представлены в работе С. С. Юхина [2]. Исследование вязальной способности некоторых видов арамидных нитей, а так же проблемы и особенности их переработки на трикотажной машине были проведены работе [39].

Таким образом, дальнейшей технологической задачей исследования является изучение вязальной способности высокомодульной нити Русар линейной плотности 58,8 текс и возможностей их переработки на стандартном плосковязальном оборудовании.

## Выводы по третьей главе

1. По результатам анализа научных источников установлено, что высокомодульные нити:
   - относятся к высокопрочным техническим нитям;
   - имеют высокий модуль упругости при малой плотности;
   - при растяжении имеют низкие показатели удлинения;
   - имеют высокие показатели механических и термических свойств;
   - проявляют высокую тепло- и термостойкость, а некоторые и исключительную хемостойкость.
2. Выявлено, что недостатком некоторых высокомодульных волокон является потеря прочности при изгибе.
3. Определён вид высокомодульных нитей для реализации конструкции переплетения с протяжками-распорками. При выработке образцов переплетений будет использоваться нить Русар линейной плотности 58,8 текс.
4. По результатам анализа научных публикаций, отражающих проблемы текстильной переработки арамидных нитей, определена необходимость исследования вязальной способности высокомодульной нити Русар на вязальном оборудовании.

# 4. Исследование физико-механических свойств конструкций трикотажа, выработанных из высокомодульной нити Русар линейной плотности 58,8 текс

Исследование различных подходов к формированию армирующей пространственной структуры даёт нам возможность расширить спектр использования композитов.

Физико-механические свойства композита можно представить как функциональную зависимость, в которой аргументами будут показатели армирующего материала, жесткости матрицы и прочности связи на границе двух компонентов:

$$\widehat{M}_{\text{к}} = f\left(\hat{\sigma}_{\text{а}}, \hat{\sigma}_{\text{с}}, \hat{R}_{\text{м}}\right),$$

где $\hat{\sigma}_{\text{а}}$ – прочность армирующего материала, $\hat{R}_{\text{м}}$ – жесткость матрицы, $\hat{\sigma}_{\text{с}}$ – прочность связи на границе компонентов [13]. Отсюда следует определяющая роль полимерной матрицы – главной составляющей композитов, которая задаёт степень и направление армирования. Физико-химическое взаимодействие компонентов композиционного материала на границе раздела сред зависит от свойств текстильных нитей трикотажного армирующего полотна, поэтому важно понимать механику взаимодействия материалов нити и матрицы [20].

Возможность вывязывать детали из кулирного трикотажа заданной формы без подкроя и дополнительных швейных или других подготовительных операций даёт определённые преимущества для использования его в качестве объёмной армирующей преформы [12, 15]. Для этой цели необходим трикотаж, имеющий высокое сопротивление поперечному сжатию, а так же максимальную степень наполнения объёма композита [1, 3]. Поскольку очень важна разнонаправленная пространственная ориентация армирующего материала в матрице, анизотропию

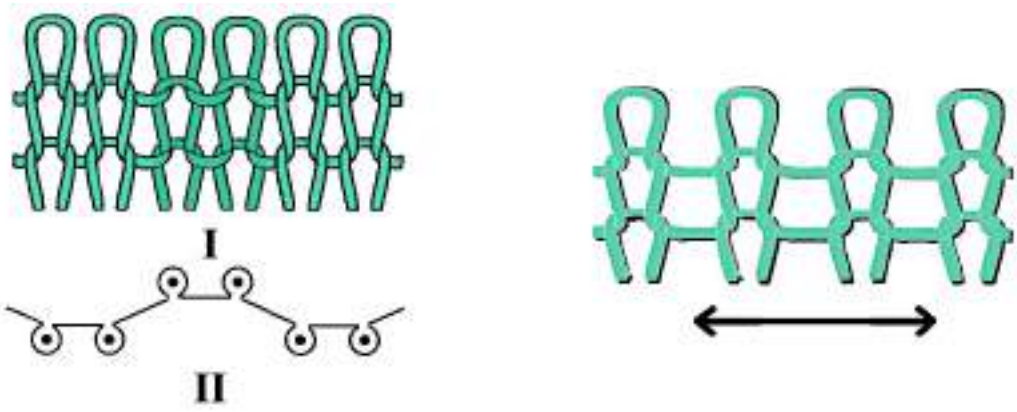
которого можно варьировать в соответствии с определёнными технологическими задачами [90]. Пространственный каркас, имеющий анизотропные свойства, позволяет улучшить характеристики КМ, увеличить сопротивление сдвигу и поперечному отрыву, повысить долговечность материала [12, 87].

Одинарный кулирный трикотаж не может отвечать требованиям о максимальном заполнении объёма КМ и обеспечить прочность КМ ввиду своей структуры, что в исследовании [39] было подтверждено экспериментально. Поперечное сжатие или растягивающие нагрузки ещё больше уплощают однослойный трикотаж [4, 74]. Одинарное переплетение гладь не обеспечивает конструкционную прочность КМ, поэтому, для её обеспечения, потребуется составлять многослойный матричный пакет из нескольких слоёв трикотажа, как при использовании тканых наполнителей. Из работ [12, 85] известно, что при воздействии на КМ нагрузок общего характера происходит деформация сдвига по границам раздела и внутри слоёв. Слоистые системы, образованные из большого количества слоёв ткани, плетёных или нетканых текстильных материалов, наиболее подвержены расслоению и сдвиговым деформациям, особенно в плоских изделиях. Следовательно, предпочтительно использовать менее многослойный пакет, но обеспечивающий необходимую толщину композита. Для этого нужен более объёмный текстильный наполнитель [1, 12, 18, 20].

В структурах двойных кулирных переплетений протяжки между петельными слоями трикотажа, расположенные под некоторым углом к плоскости внешних слоёв, при приложении внешних нагрузок раздвигаются (рисунок 4.1), что приводит к превращению двойной структуры в квазиодинарную [84]. И такие двойные трикотажные структуры в качестве армирущего элемента аналогичны одинарным переплетениям. На рисунке 4.1 представлена схема растяжения двойного кулирного трикотажа переплетения ластик 2х2, демонстрирующая раздвижку петель двойной структуры.

При формовании композитов объёмных форм важно, чтобы текстильный армирующий слой получил минимальные и равномерные деформации во всех направлениях, сохраняя целостность и стабильность структуры [20]. Для

получения трикотажа, способного обеспечить стойкое сопротивление поперечному сжатию, максимальное объёмное заполнение, поперечную разрывную прочность и другие характеристики армирующего материала, были разработаны структуры многослойного распорчатого армирующего трикотажа.




а) б)

Рис. 4.1 – Геометрические модели кулирного трикотажа переплетения ластик 2х2: а) I – структура в свободном состоянии, II – структурная схема; б) структура при растяжении в направлении петельных рядов.

Разработанные конструкции переплетений имеют дополнительные протяжки между слоями, препятствующие растяжению и, главное, уплощению трикотажного полотна до квазиодинарной структуры. Данное положение было экспериментально проверено на образцах при испытаниях конструкции распорчатой структуры трикотажа, что приведено в главе 2 данной работы. Подобные схемы характерны для трикотажа перекрёстных переплетений, в котором, в результате выполнения сдвигов игольниц, петельные столбики соседних петельных слоёв располагаются друг против друга, а отдельные протяжки, соединяющие эти петельные столбики, направлены перпендикулярно к петельным слоям трикотажа. Технологические схемы этих структур трикотажа так же приведены в главе 2.

## 4.1 Технологический процесс выработки образцов трикотажа

### *4.1.1 Выбор вязального оборудования*

В целях исследования физико-механических свойств разработанных конструкций, были выработаны образцы трикотажа из высокомодульной нити Русар 58,8 текс.

Для выработки образцов армирующего трикотажа была выбрана полуавтоматическая двухфонтурная плосковязальная машина Singer System 5 класса, с электроприводом EMS-4, технологические параметры которой приведены в таблице 4.1.

На рисунке 4.2 представлена фотография вязальной машины Singer System.

Рис. 4.2 – Двухфонтурная вязальная машина Singer System.

Таблица 4.1 – Технические характеристики двухфонтурной плосковязальной машины Singer Sistem

| Тип машины | Единица измерения | Плосковязальная машина Singer Sistem |
|---|---|---|
| Класс | – | 5 |
| Ширина игольницы | мм | 900 |
| Число игл | шт | 180 х 2 |
| Количество петлеобразующих систем | шт | 1 |
| Линейная скорость каретки | м/с | 0,9 |
| Количество фиксированных положений регулятора плотности | шт | 12 |
| Мощность электродвигателя EMS-2 | Вт | 2200 |

Вязальная система машины позволяет регулировать плотность вязания, путём изменения высоты подъема кулирного клина за счёт выбора глубины кулирования – от 1 до 12 (где 1 = 5 мм, 12 = 16 мм; шаг 1мм) [39, 88].

### *4.1.2. Процесс выработки образцов трикотажа на двухфонтурной плосковязальной машине*

Теоретически разработанные пространственные конструкции переплетений с межслойными протяжками на основе строительной треугольной фермы, представленные в главе 2, затем выработаны из высокомодульной нити Русар линейной плотности 58,8 текс. Предполагаемые пути дальнейшего использования конструкции могут быть различны, но если рассматривать её применение в качестве армирующей преформы, то необходимо учесть, что основную механическую нагрузку в КМ испытывает армирующий наполнитель [13], [89], и, потому, необходимо исследовать физико-механические свойства данного компонента, выполненного из высокомодульной нити.

В главе 3 данной работы, по проведённому анализу научных публикаций, отражающих проблемы текстильной переработки высокомодульных нитей, выявлено что важным недостатком арамидных нитей является потеря прочности при изгибе и повышении степени кручения [2, 69-72]. И определена технологическая задача исследования вязальной способности высокомодульной нити Русар на ручном вязальном оборудовании.

Для определения зависимости между структурой, основными параметрами трикотажа, а так же физико-механическими свойствами высокомодульной нити Русар 58,8 текс, были выработаны образцы следующих кулирных переплетений: одинарное переплетение гладь; двойные переплетения – трубчатая гладь, ластик 1х1, фанг, полуфанг [84, 88]; комбинированные переплетения №1, №2 на базе фанга и комбинированное переплетение №3 на базе трубчатой глади [30, 35, 36]. Конструкция комбинированного переплетения №3, выполненной на основе схемы строительной треугольной фермы [28, 29, 93], подробно приведена в главе 2.

Заправочные параметры были выбраны в соответствии с технологическими возможностями исходного сырья и вязального оборудования. Все образцы из нити Русар связаны при использовании одинаковых значений шкалы нитенатяжителя, и глубины кулирования, различной на определённых этапах процесса выработки. Значения глубины кулирования приведены в таблице 4.2

При выработке образцов из нити Русар 58,8 текс на вязальной машине Singer System, в процессе вязания возникли следующие технологические сложности:

1) При прохождении через петлеобразующие органы вязальной машины, нить расщиплялась на филаменты, что приводило к образованию пилинга, и застревала в каретке. Процесс петлеобразования останавливался.
2) Нить проскальзывала через диски нитенатяжителя, вследствие чего фиксированное натяжение нити прекращалось, нитедержатель возвращался в исходное положение, а нить свободно провисала. В результате этого, при провязывании петельного ряда, не удерживаемая нитенатяжителем нить, прокладывалась на иглы без необходимого для фиксации на иглах натяжения и соскальзывала с игл. При провязывании

следующего петельного ряда реверсивным движенем каретки, неправильно проложенная на иглы ненатянутая нить, попадала в каретку и процесс вязания останавливался.

На рисунке 4.3 представлена фотография, сделанная во время процесса вязания образца из нити Русар 58,8 текс, которая демонстрирует сложности, описанные выше, в пунктах 1) и 2).

Таблийа 4.2 – Значения глубины кулирования для разных этапов процесса выработки трикотажа

| Вид переплетения | Этап процесса выработки | | |
|---|---|---|---|
| | Заработка | Петли переплетения | Наброски футерной нити |
| | Значение глубины кулирования | | |
| Гладь | 1 | 4 | – |
| Ластик 1х1 | 1 | 4 | – |
| Фанг | 1 | 4 | – |
| Полуфанг | 1 | 4 | – |
| Комбинированное переплетение №1 | 1 | 4 | 4 |
| Комбинированное переплетение №3 | 1 | 4 | 1 |

Для устранения возникших затруднений и обеспечения вязальной способности нити и беспрепятственной выработки образцов, были проведены следующие мероприятия. Перед прохождением через петлеобразующие органы вязальной машины, нить Русар была обработана парафином.

Ёмкость с парафином располагалась между бобиной и натяжными дисками, и нить, в процессе вязания, сматываясь с бобины, протягивалась через ёмкость и равномерно поверхностно обрабатывалась. Аппретирование нити способствовало

ликвидации распушения на филаменты при дальнейшем прохождении через петлеобразующие органы вязальной машины.

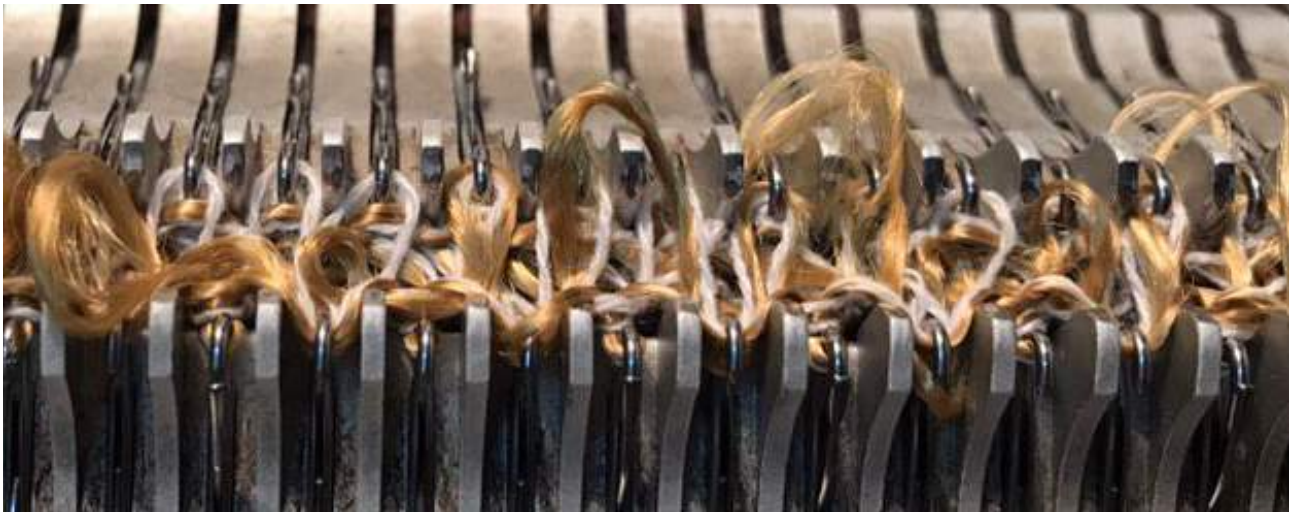


Рисунок 4.3 – Нить Русар, распушённая на филаменты при прокладывании на иглы вязальной машины.

Устранение эффекта расслоения нити на филаменты было реализовано путём изменения нескольких параметров вязания, которые исключили видимое повреждение при петлеобразовании, и заметно улучшили вязальную способность нити:

1) подбор оптимальной глубины кулирования нити;

2) парафинизация нити и использование резиновой прокладки.

После предпринятых перечисленных действий, дальнейшая переработка нити Русар 58,8 текс на плосковязальной машине проходила без затруднений.

На рисунке 4.4 показана обработанная парафином, проложенная на иглы гладкая, не повреждённая механизмом нить, которая при дальнейшем прохождении через петлеобразующие органы вязальной машины не деформировалась и не расщеплялась на филаменты.

Фотографии, представленные на рисунке 4.5, демонстрируют, увеличенную в 400 раз под микроскопом, нить Русар 58,8 текс в трикотажном переплетении.

Рисунок 4.4 – Вязание на машине нитью Русар 58,8 текс после парафинизации.

а)

б)

Рисунок 4.5 – а) Филаменты нити Русар 58,8 текс в образце трикотажа, связанном после парафинизации; б) фрагмент образца трикотажа; при х400 увеличении под микроскопом.

Рисунок отражает фактическое состояние и степень неповреждённости филаментов нити после её прохождения через петелеобразующие органы вязальной машины. На фрагменте *б* рисунка 4.5 заметны несколько отдельных выбивающихся из состава нити филаментов, но можно видеть, что, общая целостность нити сохраняется.

Для решения задачи подачи нити через нитенатяжитель без обратного проскальзывания и провисания, в ёмкость с парафином были дополнительно установлены тормозящие фиксаторы в виде резиновых прокладок.

Данный пакет действий позволил нейтрализовать проблемы переработки арамидных нитей Русар 58,8 текс на вязальной машине и обеспечил стабильный положительный результат при дальнейшей выработке образцов трикотажа.

На рисунке 4.6 представлена фотография образца трикотажа двойного кулирного переплетения ластик 1х1, находящегося на иглах двухфонтурной плосковязальной машины Singer System в процессе вязания.

Рисунок 4.6 – Выработка кулирного трикотажного полотна переплетения ластик 1х1 из нити Русар 58,8 текс на двухфонтурной вязальной машине Singer System.

## 4.2. Исследованиение физико-механических свойств трикотажа

В большом энциклопедическом словаре композиты определены как материалы, образованные объёмным сочетанием химически разнородных компонентов с чёткой границей раздела между ними, которые по прочности, жёсткости и другим свойствам превосходят обычные конструкционные материалы [94]. Кулирный трикотаж, в качестве объёмной армирующей преформы, является системообразующим элементом композита, воспринимающим основную часть внешних нагрузок, и должен обеспечивать высокое сопротивление поперечному сжатию и разрыву, а так же максимальную степень наполнения объёма композита [40, 95].

Прочность материалов и способность сопротивляться деформациям, при воздействии разнонаправленных внешних сил, определяются их физико-механическими характеристиками. Основными испытаниями прочности и качественного состава текстильных материалов являются полуцикловые нагрузки при одноосном растяжении. Растяжение пробы до разрыва считается показателем предельных возможностей трикотажного переплетения. Разрывные характеристики трикотажа зависят от влияния на прочность вида переплетения, волокнистого состава, а так же структуры и линейной плотности нитей [8, 55-57, 86].

### *4.2.1. Форма и размер образцов трикотажа для разрывных испытаний*

Форма единичных проб и способ закрепления образцов текстильных полотен в тисках разрывной машины существенно влияют на показатели механических свойств, получаемые в процессе проведения испытаний [8, 57, 96].

При растяжении полоски происходит её сужение по ширине, особенно в средней части, потому что петли растягиваемой системы (продольной) при растяжении подтягивают к себе петли поперечной системы. Продольные крайние петли пробы в зажимах не могут перемещаться, образуются переходные зоны, в которых крайние петли растягиваются намного сильнее относительно остальных петель образца. В зонах, примыкающих к зажимам, проба испытывает продольные и существенные поперечные усилия. При продолжении приложения нагрузки в зоне зажима происходит разрыв нитей переплетения [6, 50, 98].

Проба в форме двойной лопаточки имеет криволинейный контур, поэтому напряжение зажатой части пробы при растяжении ослабевает, общее напряжение выравнивается и уменьшается вероятность разрыва в зажиме. При испытании материалов с подвижной структурой целесообразно использовать пробу которая сужаясь посередине, не деформируется около зажимов. [50, 96].

Учитывая изложенное, форма образцов трикотажа из нити Русар 58,8 текс была выполнена в виде двусторонней лопаточки.

На рисунке 4.7 представлена фотография образца трикотажа из нити Русар, выполненного, согласно исследованию [96], в форме двухсторонней лопатки.

Рисунок 4.9 – Элементарная проба двойного кулирного переплетения трубчатая гладь из нити Русар 58,8 текс.

Отвязанные образцы, снятые с машины, отпаривались, отлёживались в течение 12 часов, затем испытывались по стандартной методике [45-49]. Линейные размеры элементарных проб трикотажа приведены в таблицах 4.2 – 4.5.

Средние значения параметров трикотажа и разрывной нагрузки получены по результатам испытания семи образцов трикотажа каждого вида переплетения.

Выбор оборудования для испытаний, выработка образцов кулирного трикотажа и проведение испытаний проходили по стандартной методике [54].

Испытания элементарных проб трикотажа на растяжение до разрыва проводились на универсальной испытательной машине (разрывной машине) УТС – 110М. Технические характеристики испытательной установки приведены в главе 2.

На рисунке 4.10 представлены фотографии процесса испытаний на разрывной машине УТС – 110М, где показана машина, оснащённая дисплеем с результатами испытаний, и образец трикотажа из нитей Русар, растянутый в зажимах машины.

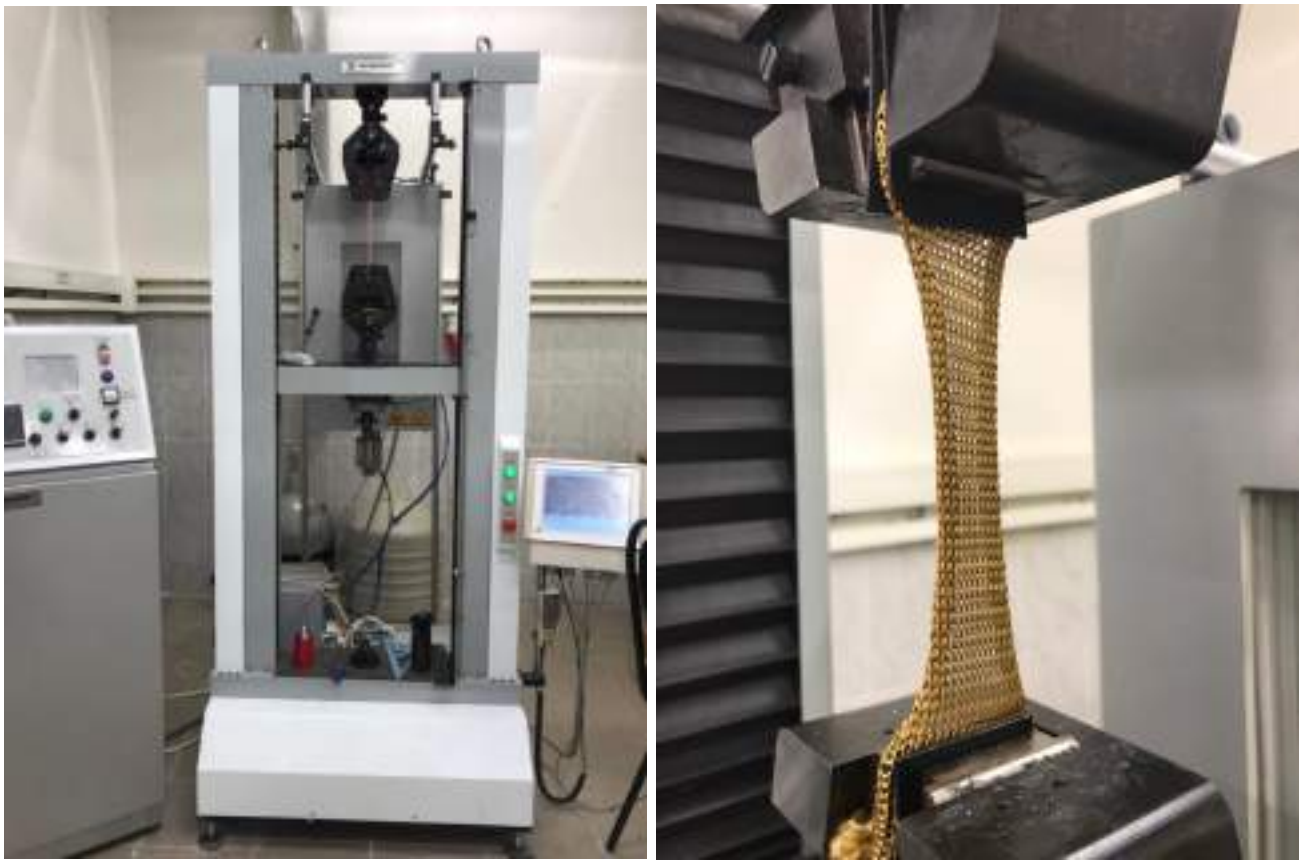


Рисунок 4.10 – Испытание образца трикотажа на разрывной машине УТС – 110М.

Для надежного закрепления элементарной пробы в зажимах разрывной машины, и препятствия выскальзыванию образца, а так же нейтрализации трения нитей петель о зажимные лапки, использовались тонкие резиновые прокладки.

Растяжение образцов трикотажа проводилось в направлении петельных столбиков.

Скорость движения нижнего зажима разрывной машины – 60 мм/мин.

На рисунке 4.11 показана фотография образцов трикотажа из нити Русар 58,8 текс.

Рисунок 4.11 – Образцы трикотажа из высокомодульной нити Русар линейной плотности 58,8 текс.

### *4.2.2. Параметры образцов трикотажа*

Измерение поверхностной плотности трикотажа $\boldsymbol{\rho_S}$, плотности вязания (подсчет числа петель на 10 см по вертикали и по горизонтали) произведено после снятия образцов с машины, в свободном состоянии [49].

Для определения поверхностной плотности $\rho_S$ (г/м$^2$) взвешены три квадрата каждого переплетения трикотажа [86, 100].

В таблицах 4.3 – 4.6 представлены физические показатели выработанных образцов – линейные размеры (длина, толщина) и масса.

Таблица 4.3 – Длина L образцов трикотажа из нити Русар 58,8 текс.

| № пробы | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Перепл. №3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 22 | 24,5 | 24 | 19,5 | 25,5 |
| 2 | 20,7 | 23,5 | 23,5 | 19,7 | 26,3 |
| 3 | 22,2 | 24 | 24 | 19,5 | 25,3 |
| 4 | 21,8 | 23,8 | 24 | 19,7 | 24,5 |
| 5 | 21,8 | 24 | 23,6 | 19,9 | 25,5 |
| 6 | 22,1 | 24 | 24,5 | 19,6 | 25 |
| 7 | 22 | 23,6 | 24 | 19,6 | 21,8 |
| Среднее | 21,8 | 23,91 | 23,94 | 19,64 | 24,84 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 0,51 | 0,33 | 0,33 | 0,14 | 1,45 |
| Коэф. вар. *V*, % | 2,34 | 1,38 | 1,38 | 0,71 | 5,84 |

Данные по поверхностной плотности $\boldsymbol{\rho_S}$ выработанных образцов приведены в таблице 4.6. Показатели плотности вязания по горизонтали $П_Г$ и по вертикали $П_В$ отражены в таблицах 4.7, 4.8.

Значения параметров $\gamma$ и $\delta$ для арамидных волокон и нитей: плотность вещества нити (полимера) $\gamma = 1{,}45 - 1{,}46$ г/см$^3$; объёмная масса вещества $\delta \sim 0{,}58$ г/см$^3$ [2, 74].

Таблица 4.4 – Ширина b образцов трикотажа из нити Русар 58,8 текс.

| № пробы | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Перепл. №3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4,5 | 5,5 | 3,5 | 6,7 | 3,6 |
| 2 | 4,8 | 5,3 | 3 | 6 | 3,8 |
| 3 | 5 | 5 | 3,3 | 6,3 | 3,7 |
| 4 | 4,6 | 5,2 | 3,7 | 6,5 | 3,8 |
| 5 | 4,5 | 5,5 | 3,5 | 6,6 | 3,8 |
| 6 | 4,8 | 5,3 | 3,6 | 6,7 | 3,7 |
| 7 | 5 | 5 | 3,5 | 6,7 | 4 |
| Среднее | 4,74 | 5,26 | 3,44 | 6,5 | 3,77 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 0,21 | 0,21 | 0,23 | 0,26 | 0,13 |
| Коэф. вар. *V*, % | 4,43 | 3,99 | 6,69 | 4 | 3,45 |

Таблица 4.5 – Толщина h, мм трикотажа из нити Русар 58,8 текс

| № пробы | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Перепл. №3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,4 | 0,8 | 2,5 | 2 | 4 |
| 2 | 0,5 | 0,9 | 2,6 | 1,9 | 4,5 |
| 3 | 0,4 | 0,9 | 2,5 | 2,1 | 4,5 |
| 4 | 0,4 | 0,8 | 2,5 | 1,9 | 4,3 |
| 5 | 0,5 | 0,9 | 2,4 | 2 | 4,2 |
| 6 | 0,4 | 0,9 | 2,6 | 1,9 | 4,2 |
| 7 | 0,5 | 0,9 | 2,4 | 2 | 4,2 |
| Среднее | 0,44 | 0,87 | 2,5 | 1,97 | 4,27 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 0,05 | 0,05 | 0,08 | 0,08 | 0,18 |
| Коэф. вар. *V*, % | 11,36 | 5,75 | 3,2 | 4,06 | 4,22 |

Фактическую поверхностную плотность трикотажных полотен $\rho_S$ , выполненных одним переплетением по всей длине, определяют по формуле:

$$\rho_S = \frac{\sum m}{\sum S},$$

$m -$ масса образца, г; $S -$ площадь образца, м$^2$.

Таблица 4.6 – Масса *m* образцов трикотажа из нитей Русар 58,8 текс.

| № пробы | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Перепл. №3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,04 | 2,6 | 2,31 | 2,09 | 4,05 |
| 2 | 1,04 | 2,63 | 2,38 | 2,14 | 4,04 |
| 3 | 1,05 | 2,68 | 2,35 | 2,09 | 4 |
| 4 | 1,06 | 2,6 | 2,38 | 2,1 | 4,05 |
| 5 | 1,05 | 2,6 | 2,4 | 2,1 | 4 |
| 6 | 1,03 | 2,5 | 2,6 | 2,09 | 4 |
| 7 | 1,07 | 2,7 | 2,31 | 2,08 | 3,88 |
| Среднее | 1,05 | 2,62 | 2,39 | 2,1 | 4 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 0,01 | 0,07 | 0,1 | 0,02 | 0,06 |
| Коэф. вар. *V*, % | 0,95 | 2,67 | 4,18 | 0,95 | 1,5 |

Совокупность исследуемых образцов может считаться однородной, если значение коэффициента вариации V не превышает 33%:

- При V < 10% вариация признака слабая;
- При 10% < V < 25% – вариация средняя;
- При V > 25% – вариация сильная [52, 53, 99].

По результатам измерений, представленным в таблицах 4.3 – 4.6, можно сравнить показатели линейных размеров и веса образцов кулирного трикотажа, выработанных из нити Русар 58,8 текс. Коэффициент вариации по параметрам *L*, *b*, *h* и *m* образцов не превышает 10%, и полученные средние значения можно считать однородными.

Представленные в таблицах данные показывают, что образцы трикотажа, выработанные из нити Русар одинаковой линейной плотности, и имеющие сходные линейные размеры (длину и ширину), показали большую вариативность массы и толщины по разным видам переплетений. Так, средний вес образца двойного комбинированного переплетения №3 в 3,9 раза превышает вес образца одинарной кулирной глади, и в 1,6 раз больше исходного двойного переплетения трубчатая гладь. Следует заметить так же, что образец переплетения №3 имеет значительно большие значения толщины и объёмной плотности, чем образцы других выработанных переплетений.

Коэффициент вариации показателей выработанных образцов трикотажа из таблиц 4.3 – 4.6 не превышает 10% по каждой группе переплетений, значит полученные средние значения можно считать однородными. По этому показателю можно судить о том, что в каждой группе переплетений, состоящей из семи образцов, параметры длины, ширины, толщины и массы трикотажа достаточно равномерны [52, 53].

Таблица 4.7 – Плотность трикотажа по горизонтали $П_Г$, пет/дм

| № образца | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик | Фанг | Переплетение №3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 44 | 52 | 32 | 28 | 32 |
| 2 | 44 | 52 | 36 | 30 | 36 |
| 3 | 50 | 56 | 34 | 29,6 | 32 |
| 4 | 43,6 | 54,4 | 33,2 | 27,6 | 34 |
| 5 | 44,8 | 52,8 | 36,4 | 29,2 | 36 |
| 6 | 45,2 | 56,4 | 35,2 | 28 | 34 |
| 7 | 44 | 55,2 | 36 | 28 | 32 |
| Среднее | 45,09 | 54,11 | 34,69 | 28,63 | 33,71 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 2,58 | 1,43 | 1,34 | 0,87 | 1,67 |
| Коэф. вар. $V$, % | 5,72 | 2,64 | 3,86 | 3,04 | 4,95 |

Таблица 4.8 – Плотность трикотажа по вертикали $П_В$, пет/дм

| № образца | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик | Фанг | Переплетение №3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 30 | 32 | 40 | 42 | 36 |
| 2 | 32 | 36 | 40 | 42 | 33,2 |
| 3 | 32 | 38 | 44 | 41,6 | 36 |
| 4 | 30 | 32 | 44 | 44 | 36 |
| 5 | 29,6 | 34 | 50 | 43,2 | 32 |
| 6 | 27,6 | 36 | 43,6 | 41,2 | 36 |
| 7 | 29,2 | 34 | 46 | 44 | 40 |
| Среднее | 30,06 | 34,57 | 43,94 | 42,57 | 35,6 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 1,58 | 2,28 | 2,67 | 1,33 | 2,83 |
| Коэф. вар. $V$, % | 5,26 | 6,6 | 6,08 | 3,12 | 7,95 |

Таблица 4.9 – Поверхностная плотность трикотажа $\boldsymbol{\rho_S}$, г/м$^2$

| № образца | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Переплете-ние №3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 105,05 | 192,95 | 275 | 159,97 | 441,18 |
| 2 | 104,67 | 211,16 | 337,59 | 181,05 | 404,24 |
| 3 | 94,59 | 223,33 | 296,72 | 170,13 | 427,3 |
| 4 | 105,7 | 210,08 | 268,02 | 164 | 435,02 |
| 5 | 107,03 | 196,97 | 290,56 | 159,89 | 412,8 |
| 6 | 97,1 | 196,54 | 294,78 | 159,15 | 432,43 |
| 7 | 97,27 | 228,81 | 275 | 158,39 | 444,95 |
| Среднее | 101,63 | 208,55 | 291,1 | 164,65 | 428,27 |
| Ср. кв. откл. $\sigma$ | 5,1 | 13,9 | 23,3 | 8,3 | 14,86 |
| Коэф. вар. $V$, % | 5,25 | 7,07 | 7,9 | 5,22 | 3,44 |

Коэффициент вариации по показателям линейной плотности образцов, представленным в таблицах 4.7 – 4.9, не превышает 10% в каждой группе переплетений, таким образом полученные средние значения можно считать однородными, значит в каждой группе переплетений, состоящей из семи образцов, структура трикотажа по линейной плотности достаточно равномерна.

По результатам измерений физических показателей (таблицы 4.3 – 4.9) все выработанные образцы из нити Русар 58,8 текс, можно использовать в испытаниях для сравнения разрывных характеристик.

Следует отметить, что конструкция комбинированного переплетения №3 спроектирована на основе схемы строительной треуголной фермы [30], и имеет в структуре межслойные протяжки, которые создают дополнительный объём, увеличивают плотность, толщину и жёсткость трикотажа по сравнению с другими переплетениями, представленными в таблицах.

Предполагается, что протяжки-распорки переплетения №3, помещённые в среду связующего, получат возможность работать в составе композита как упругие стержни в схеме строительной фермы [21, 22, 28, 29]. Такой распорчатый трикотаж можно использовать для однослойного армирования композита, а не многослойного, как в случае с армирующими тканями и трикотажем менее плотной структуры и меньшего объёмного заполнения [20].

### *4.2.3. Объёмное заполнение трикотажа*

Сопротивление трикотажного полотна внешним нагрузкам зависит от условий деформирования, а также от структуры полотна [8, 56]. Пространственное строение трикотажа, сформированное волокнами и нитями, имеет значительный воздушный объём. Наибольшей деформации подвержены структуры, в которых преобладает воздушная объёмная часть. Степень объёмного

заполнения трикотажа определяет его физико-механические свойства – жёсткость, проницаемость, драпируемость, прочность, износостойкость, теплопроводность. При увеличении объёмной плотности и заполнения, увеличиваются физико-механические показатели переплетения – поверхностная плотность, прочность, жёсткость и вес трикотажа (таблицы 4.6 – 4.9), и уменьшаются проницаемость и теплопроводность [8, 51, 56, 57].

Объёмное заполнение трикотажа имеет большое значение при полуцикловых испытаниях, определяющих предельные значения прочности материала. Количество петель переплетения, сопротивляющихся разрушению, влияет на работу разрыва, характеризующую количество энергии разрушения, и соответствующую площади разрыва, обозначенную на графике испытания. Формулы расчёта объёмного заполнения трикотажа приведены в главе 2.

Расчётные значения показателей объёмного заполнения трикотажа представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Результаты расчёта объёмного заполнения трикотажа

| Переплетение/ № образца | | Толщина h, мм | Поверхностная плотность $\rho_S$, г/м$^2$ | Объёмное заполнение трикотажа $E_V$, % | Заполнение массы $E_M$, % | Объёмная пористость трикотажа $R_V$, % | Общая пористость трикотажа $R_M$, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Гладь | 1 | 0,4 | 105,05 | 22,08 | 18 | 77,92 | 82 |
| | 2 | 0,5 | 104,67 | 27,71 | 14,3 | 72,29 | 85,7 |
| | 3 | 0,4 | 94,59 | 24,53 | 16,2 | 75,47 | 83,8 |
| | 4 | 0,4 | 105,7 | 21,95 | 18,1 | 78,05 | 81,9 |
| | 5 | 0,5 | 107,03 | 27,1 | 14,7 | 72,9 | 85,3 |
| | 6 | 0,4 | 97,1 | 23,89 | 16,6 | 76,11 | 83,4 |
| | 7 | 0,5 | 97,27 | 29,81 | 13,3 | 70,19 | 86,7 |
| Среднее | | 0,44 | 101,62 | 25,3 | 15,89 | 74,7 | 84,11 |
| Ср. кв. откл. | | 0,05 | 0,05 | 2,99 | 1,85 | 2,99 | 1,85 |
| Коэф. вар., % | | 11,36 | 11,36 | 11,82 | 11,64 | 4 | 2,2 |
| Трубчатая гладь | 1 | 0,8 | 192,95 | 24,05 | 16,5 | 75,95 | 83,5 |
| | 2 | 0,9 | 211,16 | 24,72 | 16,1 | 75,28 | 83,9 |
| | 3 | 0,9 | 223,33 | 23,37 | 17 | 76,63 | 83 |
| | 4 | 0,8 | 210,08 | 22,09 | 18 | 77,91 | 82 |
| | 5 | 0,9 | 196,97 | 26,5 | 15 | 73,5 | 85 |
| | 6 | 0,9 | 196,54 | 26,56 | 15 | 73,44 | 85 |
| | 7 | 0,9 | 228,81 | 22,81 | 17,4 | 77,19 | 82,6 |

Продолжение таблицы 4.10

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Среднее | | 0,87 | 208,6 | 24,3 | 16,43 | 75,7 | 83,57 |
| Ср. кв. откл. | | 0,05 | 0,05 | 1,74 | 1,15 | 1,74 | 1,15 |
| Коэф. вар., % | | 5,75 | 5,75 | 7,16 | 7 | 2,3 | 1,38 |
| Ластик 1х1 | 1 | 2,5 | 275 | 52,73 | 7,5 | 47,27 | 92,5 |
| | 2 | 2,6 | 337,59 | 44,67 | 8,9 | 55,33 | 91,1 |
| | 3 | 2,5 | 296,72 | 48,87 | 8,1 | 51,13 | 91,9 |
| | 4 | 2,5 | 268,02 | 54,1 | 7,3 | 45,9 | 92,7 |
| | 5 | 2,4 | 290,56 | 47,91 | 8,3 | 52,09 | 91,7 |
| | 6 | 2,6 | 294,78 | 51,16 | 7,8 | 48,84 | 92,2 |
| | 7 | 2,4 | 275 | 50,62 | 7,8 | 49,38 | 92,2 |
| Среднее | | 2,5 | 291,1 | 50,01 | 7,96 | 49,99 | 92,04 |
| Ср. кв. откл. | | 0,08 | 23,3 | 3,16 | 0,53 | 3,16 | 0,53 |
| Коэф. вар., % | | 3,2 | 8 | 6,32 | 6,66 | 6,32 | 0,58 |
| Фанг | 1 | 2 | 159,97 | 72,51 | 5,5 | 27,49 | 94,5 |
| | 2 | 1,9 | 181,05 | 60,87 | 6,5 | 39,13 | 93,5 |
| | 3 | 2,1 | 170,13 | 71,6 | 5,5 | 28,4 | 94,5 |
| | 4 | 1,9 | 164 | 67,19 | 5,9 | 32,81 | 94,1 |
| | 5 | 2 | 159,89 | 72,55 | 5,5 | 27,45 | 94,5 |
| | 6 | 1,9 | 159,15 | 69,25 | 5,7 | 30,75 | 94,3 |
| | 7 | 2 | 158,39 | 73,23 | 5,4 | 26,77 | 94,6 |
| Среднее | | 1,97 | 164,65 | 69,6 | 5,71 | 30,4 | 94,29 |
| Ср. кв. откл. | | 0,08 | 8,3 | 4,41 | 0,38 | 4,41 | 0,38 |
| Коэф. вар., % | | 4,06 | 5,04 | 6,34 | 6,65 | 14,51 | 0,4 |
| Комбинир.№3 | 1 | 4 | 441,18 | 52,58 | 7,6 | 47,42 | 92,4 |
| | 2 | 4,5 | 404,24 | 64,57 | 6,2 | 35,43 | 93,8 |
| | 3 | 4,5 | 427,3 | 61,08 | 6,5 | 38,92 | 93,5 |
| | 4 | 4,3 | 435,02 | 57,33 | 6,9 | 42,67 | 93,1 |
| | 5 | 4,2 | 412,8 | 59,01 | 6,7 | 40,99 | 93,3 |
| | 6 | 4,2 | 432,43 | 56,33 | 7,1 | 43,67 | 92,9 |
| | 7 | 4,2 | 444,95 | 54,75 | 7,3 | 45,25 | 92,7 |
| Среднее | | 4,27 | 428,27 | 57,95 | 6,9 | 42,05 | 93,1 |
| Ср. кв. откл. | | 0,18 | 14,86 | 4,02 | 0,48 | 4,02 | 0,48 |
| Коэф. вар., % | | 4,22 | 3,47 | 6,94 | 6,96 | 9,56 | 0,52 |
| | | | | | | | |

Для определения степени плотности петельного застила находим значения линейного и поверхностного заполнения трикотажа волокнистым материалом, а так же заполненность трикотажа пряжей, выраженную коэффициентом объёмности $K_V$, который определяют как отношение объёма трикотажа к объёму, который занимает масса вещества, составляющая нити:

$$K_V = \frac{V_T}{V_{min}} = \frac{100}{E_M}.$$

Расчётные значения коэффициента объёмности для выработанных образцов переплетений приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Значение коэффициента объёмности переплетений

| № образца | Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Комбинир. №3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5,6 | 6,1 | 13,3 | 18,2 | 13,2 |
| 2 | 7 | 6,2 | 11,2 | 15,4 | 16,1 |
| 3 | 6,2 | 5,9 | 12,3 | 18,2 | 15,4 |
| 4 | 5,5 | 5,6 | 13,7 | 16,9 | 14,5 |
| 5 | 6,8 | 6,7 | 12 | 18,2 | 14,9 |
| 6 | 6 | 6,7 | 12,8 | 17,5 | 14,1 |
| 7 | 7,5 | 5,7 | 12,8 | 18,5 | 13,7 |
| Среднее | 6,37 | 6,13 | 12,59 | 17,56 | 14,56 |
| Ср. кв. откл. | 0,75 | 0,44 | 0,84 | 1,1 | 1 |
| Коэф. вар., % | 11,77 | 7,18 | 6,67 | 6,26 | 6,87 |

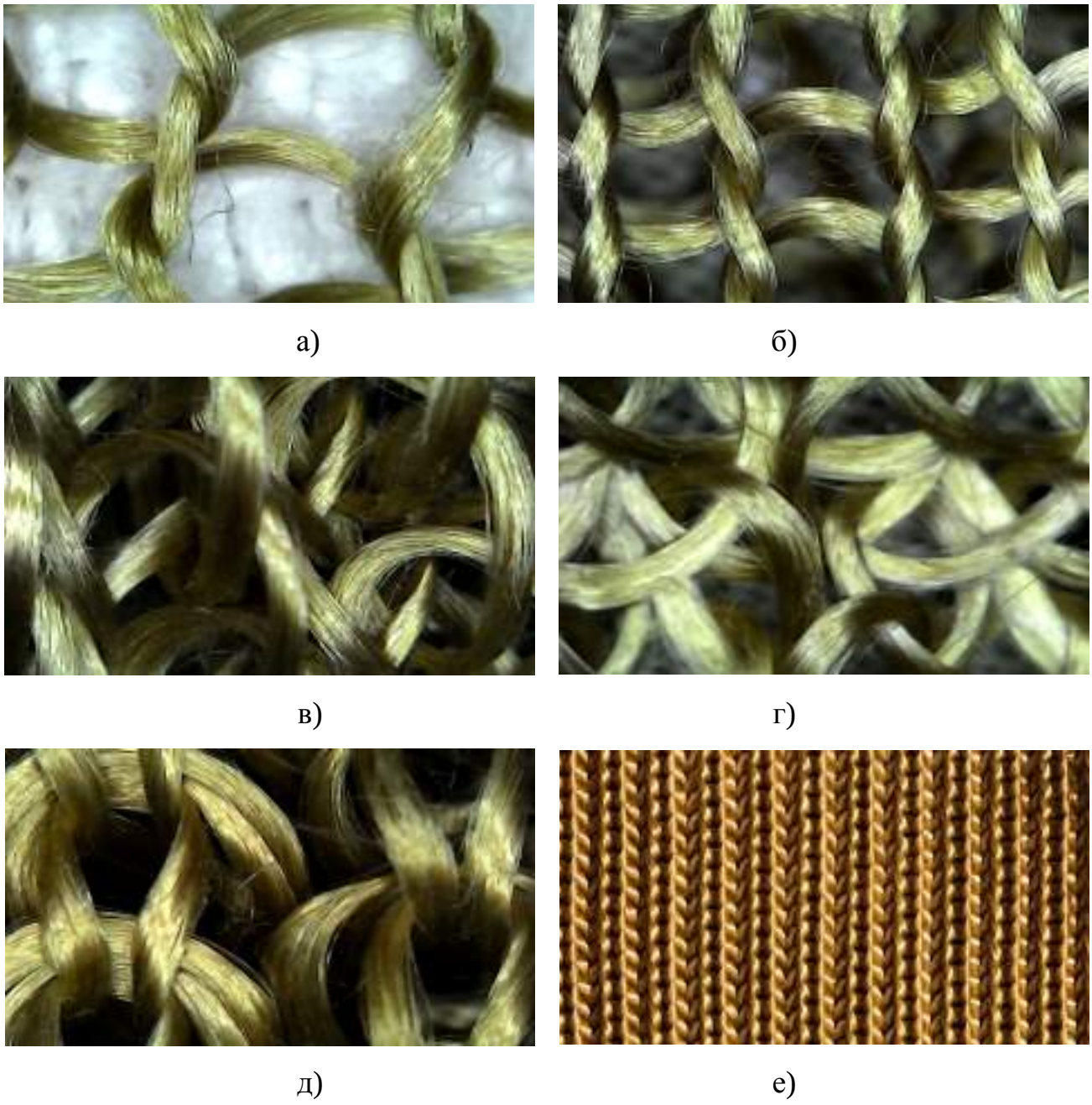
При расчёте коэффициента объёмности переплетений, выявлено, что индивидуальные отклонения от средних показателей находятся в пределах V < 10%, что считается слабой вариацией признака, и, если значение коэффициента вариации V не превышает 33%, то такая совокупность считается однородной [52, 53, 99]. Такие показатели указывают на равномерную объёмную заполненность трикотажа формирующими нитями.

На рисунке 4.12 представлены фотографии петельной структуры образцов, при увеличении под микроскопом х400, которые демонстрируют различную плотность петельного застила и пористости. Все образцы были связаны при одинаковом значении шкалы плотности вязания, но, в зависимости от переплетения, имеют разную поверхностную плотность.

Наиболее сетчатую структуру с крупными ячеями петель имеет одинарное переплетение кулирная гладь (рис. 4.12, *а*). Структура двойного плетения трубчатая гладь более плотная (рис. 4.12, *б*), чем структура одинарной глади. А

самая плотная структура – это комбинированное переплетение №3 на базе трубчатой глади, с протяжками футерной нити.

На фотографиях рисунка 4.12, *д* и *е* представлены петельная структура и фрагмент образца трикотажа переплетения №3.



а) б) в) г) д) е)

Рисунок 4.12 – Поверхность образцов трикотажа трикотажа из нити Русар 58,8 текс при увеличение х 400: а) кулирная гладь; б) трубчатая гладь; в) ластик 1х1; г) фанг; д) и е) комбинированное переплетение №3 на базе трубчатой глади.

### *4.2.4. Проведение испытаний на растяжение до разрыва выработанных образцов трикотажа*

Показатели механических свойств трикотажа получают при растяжении материала до разрыва, чтобы определить степень сопротивления материала постоянно действующим внешним нагрузкам.

В главе 2 работы проведены разрывные испытания конструкций трикотажа, которые дали представление о принципиальном характере восприятия нагрузки. Было установлено влияние структуры трикотажа на прочность полотна. Теперь важно понять влияние высокомодульной нити на разрывные характеристики конструкции, т.е. как поведут себя конструкции переплетений, выработанные из высокомодульной нити Русар, при приложении разрушающих разрывных напряжений.

Надежное закрепление элементарной пробы в зажимах и препятствие выскальзыванию образца в процессе растяжения обеспечено тонкими пластиковыми прокладками. Испытания образцов проводились в направлении петельных столбиков. Скорость движения нижнего зажима разрывной машины – 60 мм/мин. Начальное усилие 5Н.

На рисунке 4.13 и 4.14 представлены фотографии, где показан процесс проведения испытания образца трикотажа на разрывной машине УТС – 110М.

При начальном нагружении (рис. 4.13) происходит постепенное удлинение образца за счёт растягивающихся петель переплетения, сопротивляющихся разрыву. Изменяется геометрическое строение петель. На рисунке видны деформированные удлинившиеся петли переплетения и сужение центральной части элементарной пробы. По мере увеличения нагрузки растяжение образца несколько замедляется, петли стабилизируются в новом положении, а затем, размер петель увеличивается, в нитях растёт напряжение и начинаются разрывы отдельных наиболее слабых или повреждённых филаментов нитей. Далее следует постепенный разрыв петель и затем полное разрушение петельной структуры образца (рис. 4.14).

Рисунок 4.13 – Процесс испытания образца трикотажа на разрывной машине

УТС – 110М. Удлинение образца и вертикально вытянутые петли переплетения.

Рисунок 4.14 – Процесс испытания образца трикотажа на разрывной машине

УТС – 110М. Конечная фаза испытания – разрушение (разрыв) образца.

Формулы расчёта разрывных характеристик приведены в главе 2.

Работа, которую производит система при её деформации, рассчитывается по формуле:

$$dA = f dL,$$

где $f$ – внешняя сила; $dl$ – деформация.

На рисунках 4.15 – 4.19 представлены графики разрывных испытаний образцов трикотажа из нити Русар 58,8 текс, где показана зависимость удлинения от растягивающей нагрузки, действующей на образец в течение всего испытания.

Материалы с одинаковым разрывным удлинением, но различно деформирующиеся на конечных стадиях растяжения, совершенно по-разному поведут себя при длительном восприятии нагрузки [97, 98]. Это особенно важно, если учесть, что современные композиты, армированные высокомодульными текстильными материалами, предназначены справляться с интенсивными внешними нагрузками. Поэтому особый интерес для прочности представляет величина деформации трикотажа на конечных этапах его нагружения.

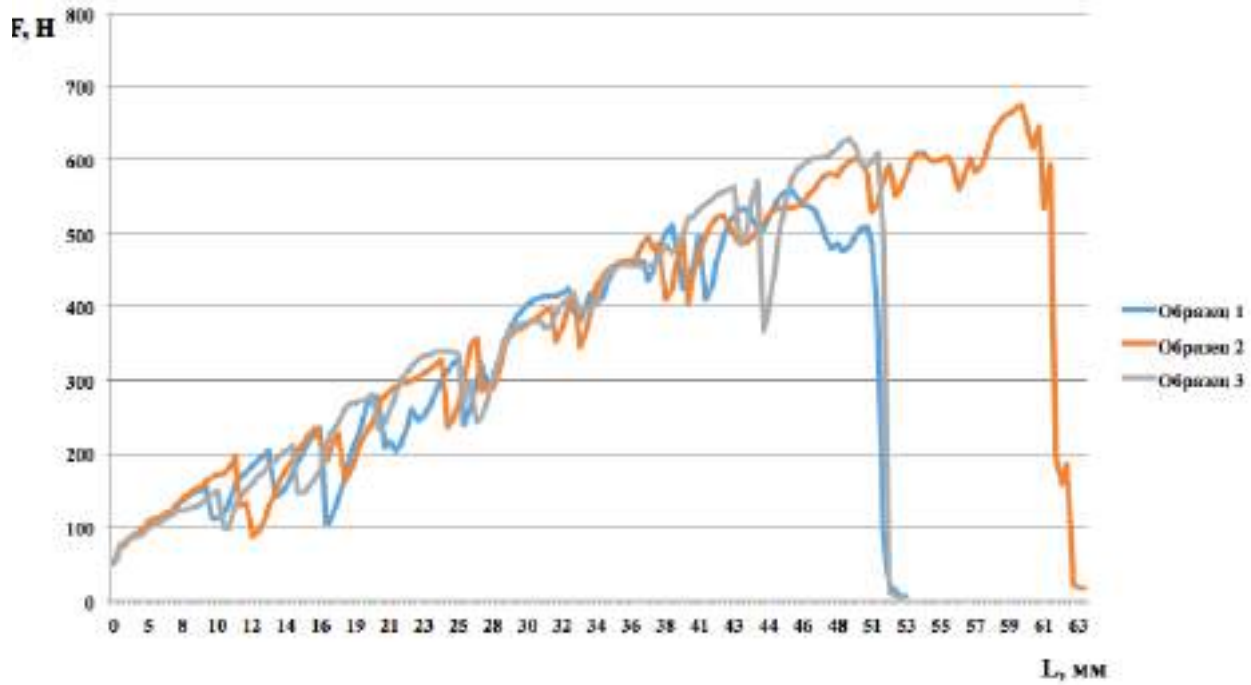



Рисунок 4.15 – Диаграмма растяжения образцов переплетения кулирная гладь.

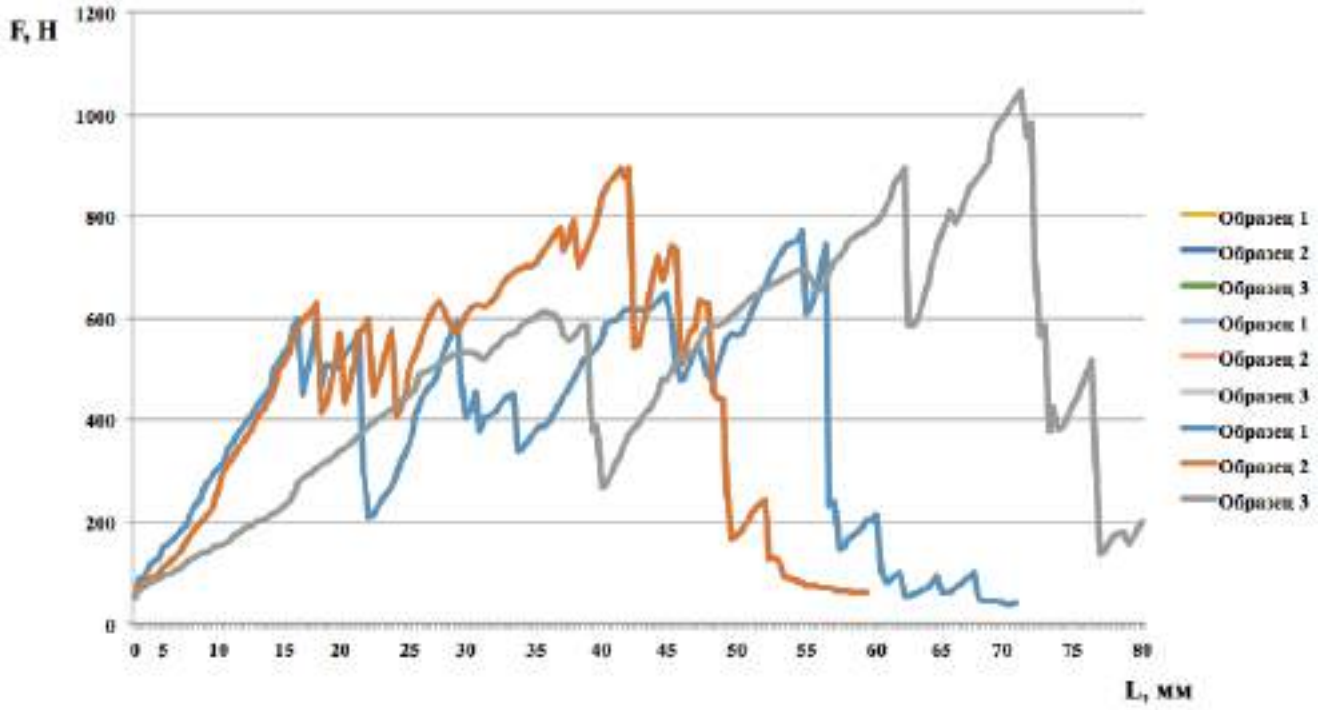



Рисунок 4.16 – Диаграмма растяжения переплетения трубчатая гладь.

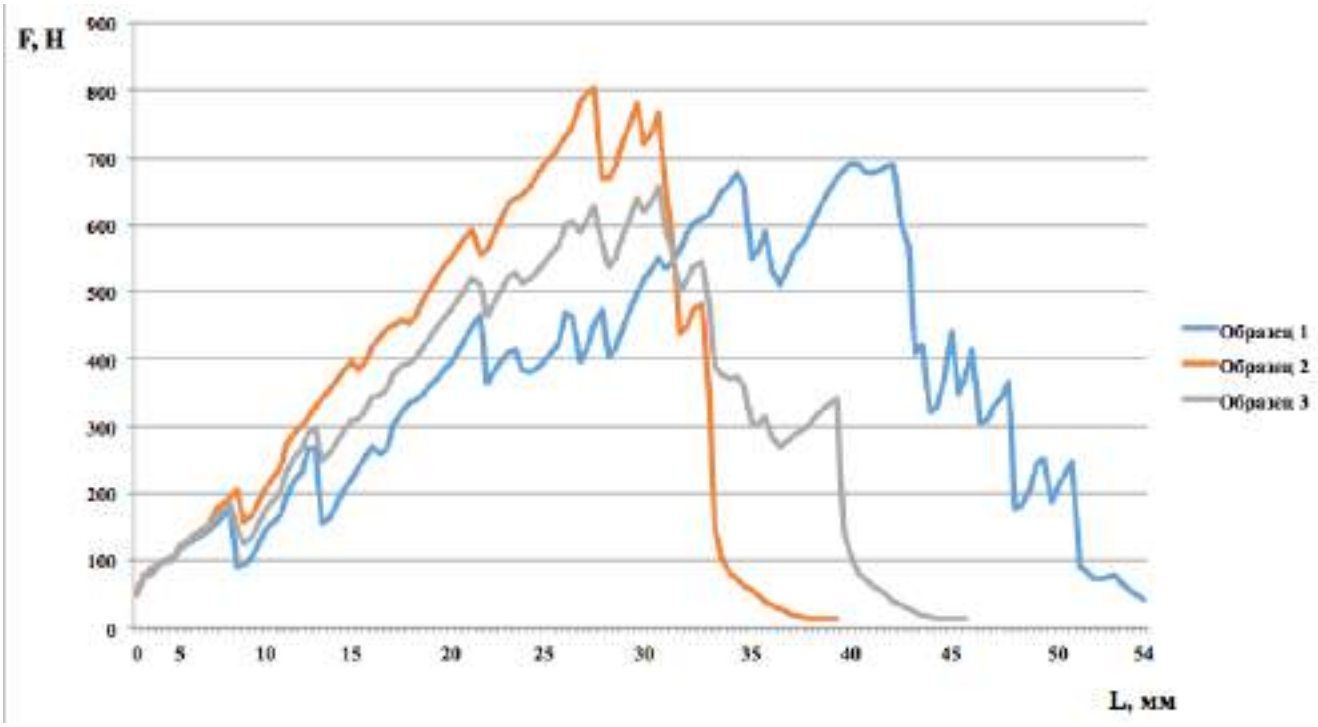



Рисунок 4.17 – Диаграмма растяжения переплетения ластик 1х1.

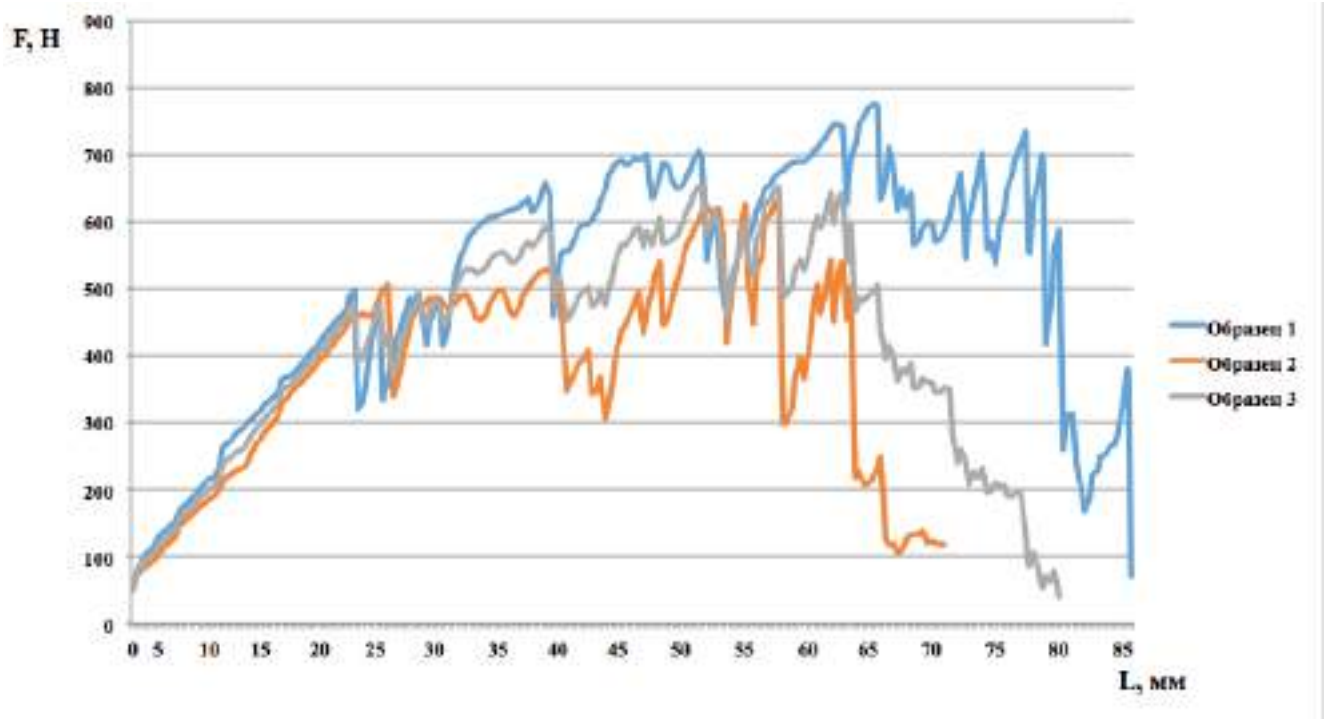



Рисунок 4.18 – Диаграмма растяжения переплетения фанг.

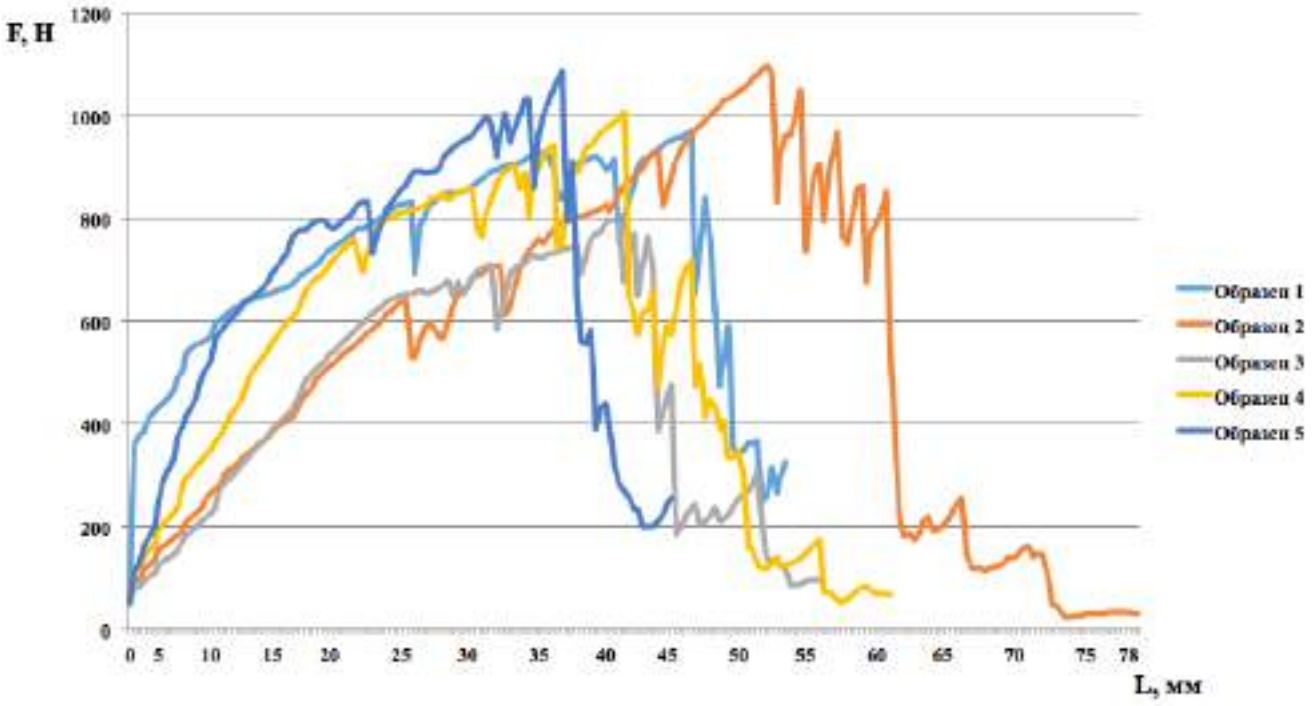



Рисунок 4.19 – Диаграмма растяжения переплетения переплетение №3.

Диаграммы работы разрыва для всех образцов трикотажа из высокомодульной нити Русар 58,8 текс представлены в приложении Б, где работа обозначена как закрашенная область на диаграммах растяжения.

Таблица 4.12 содержит данные по результатам испытаний образцов трикотажа из высокомодульной нити Русар 58,8 текс на растяжение до разрыва.

Таблица 4.12 – Физико-механические показатели при растяжения до разрыва

| Переплетение / № образца | | Разрывная нагрузка $P_р$, Н | Абсолютное разрывное удлинение $l_р$, мм | Относительное разрывное удлинение $\varepsilon_р$, % | Абсолютная работа разрыва $R_Р$, Дж | Удельная работа разрыва $R_у$, Дж/г | Расчётная разрывная нагрузка $P_{рсч}$, Н | Удельная разрывная нагрузка $P_{уд}$, Н |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Гладь** | **1** | 559,0 | 46,0 | 23,0 | 7200 | 85,7 | 32,9 | 26,07 |
| | **2** | 678,1 | 60,0 | 30,0 | 11392 | 135,6 | 39,9 | 31,63 |
| | **3** | 629,1 | 49,0 | 24,5 | 8631 | 102,8 | 37,0 | 29,34 |
| | **4** | 582,0 | 52,0 | 26,0 | 8474 | 100,9 | 34,2 | 27,14 |
| | **5** | 635,0 | 58,0 | 29,0 | 10312 | 122,8 | 37,4 | 29,62 |
| Среднее | | 616,6 | 53,0 | 26,5 | 9202 | 109,5 | 36,3 | 28,76 |
| Ср. кв. откл. | | 46,9 | 5,9 | 3,0 | 1650 | 19,7 | 2,8 | 2,19 |
| Коэф. вар., % | | 7,6 | 11,2 | 11,2 | 18 | 17,9 | 7,6 | 7,61 |
| **Трубчатая гладь** | **1** | 647,0 | 44,6 | 22,3 | 8080 | 43,9 | 32,4 | 16,32 |
| | **2** | 894,0 | 42,0 | 21,0 | 10513 | 57,1 | 44,7 | 22,55 |
| | **3** | 1044,0 | 72,0 | 36,0 | 21047 | 114,4 | 52,2 | 26,33 |
| | **4** | 835,0 | 45,0 | 22,5 | 10521 | 57,2 | 41,8 | 21,06 |
| | **5** | 728,0 | 41,0 | 20,5 | 8357 | 45,4 | 36,4 | 18,36 |
| Среднее | | 829,6 | 48,9 | 24,5 | 11703,7 | 63,6 | 41,5 | 20,92 |
| Ср. кв. откл. | | 153,1 | 13,0 | 6,5 | 5348,9 | 29,1 | 7,7 | 3,86 |
| Коэф. вар., % | | 18,5 | 26,6 | 26,6 | 45,7 | 45,7 | 18,5 | 18,45 |
| **Ластик 1х1** | **1** | 688,0 | 43,0 | 21,5 | 8284 | 47,1 | 40,5 | 8,13 |
| | **2** | 803,0 | 27,0 | 13,5 | 6071 | 34,5 | 47,2 | 9,49 |
| | **3** | 657,0 | 30,0 | 15,0 | 5519 | 31,4 | 38,6 | 7,76 |
| | **4** | 735,0 | 38,0 | 19,0 | 7820 | 44,4 | 43,2 | 8,69 |
| | **5** | 695,0 | 41,0 | 20,5 | 7979 | 45,3 | 40,9 | 8,21 |
| Среднее | | 715,6 | 35,8 | 17,9 | 7134,4 | 40,5 | 42,1 | 8,46 |
| Ср. кв. откл. | | 56,2 | 7,0 | 3,5 | 1249,5 | 7,1 | 3,3 | 0,66 |

Продолжение таблицы 4.12

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Коэф. вар., % | | 7,9 | 19,5 | 19,5 | 17,5 | 17,5 | 7,9 | 7,80 |
| **Фанг** | **1** | 766,0 | 65,0 | 32,5 | 13941 | 77,5 | 76,6 | 30,24 |
| | **2** | 634,0 | 57,0 | 28,5 | 10119 | 56,2 | 63,4 | 25,03 |
| | **3** | 653,0 | 57,0 | 28,5 | 10422 | 57,9 | 65,3 | 25,78 |
| | **4** | 716,0 | 60,0 | 30,0 | 12029 | 66,8 | 71,6 | 28,27 |
| | **5** | 698,0 | 61,0 | 30,5 | 11922 | 66,2 | 69,8 | 27,56 |
| Среднее | | 693,4 | 60,0 | 30,0 | 11686,5 | 64,9 | 69,3 | 27,37 |
| Ср. кв. откл. | | 52,4 | 3,3 | 1,7 | 1525,9 | 8,5 | 5,2 | 2,07 |
| Коэф. вар., % | | 7,6 | 5,5 | 5,5 | 13,1 | 13,1 | 7,6 | 7,56 |
| **Комбинир.№3** | **1** | 970,0 | 46,1 | 23,1 | 12521 | 40,1 | 69,3 | 8,54 |
| | **2** | 1103,6 | 52,1 | 26,1 | 16099 | 51,6 | 78,8 | 9,71 |
| | **3** | 800,9 | 40,8 | 20,4 | 9149 | 29,3 | 57,2 | 7,05 |
| | **4** | 1018,7 | 41,9 | 21,0 | 11951 | 38,3 | 72,8 | 8,97 |
| | **5** | 1083,7 | 37,0 | 18,5 | 11227 | 36,0 | 77,4 | 9,54 |
| Среднее | | 995,4 | 43,6 | 21,8 | 12189,6 | 39,1 | 71,1 | 8,76 |
| Ср. кв. откл. | | 121,0 | 5,8 | 2,9 | 2530,9 | 8,1 | 8,6 | 1,06 |
| Коэф. вар., % | | 12,2 | 13,2 | 13,2 | 20,8 | 20,8 | 12,2 | 12,10 |

Поскольку работа разрыва характеризует количество энергии, которое необходимо затратить на разрушение материала, то при одинаковой разрывной нагрузке, трикотаж, имеющий более высокое значение разрывного удлинения, обладает лучшими механическими свойствами [56]. Большее удлинение требует большей работы разрыва для разрушения образца.

Анализ таблицы 4.12 позволяет сделать вывод, что максимальные значения разрывной нагрузки и абсолютной работы разрыва у переплетения №3 на базе трубчатой глади – 995,4 Н и 12190 Дж соответственно при значении разрывного удлинения – 44 мм. Максимальные значения разрывной нагрузки и абсолютной работы разрыва у исходного переплетения трубчатая гладь – 830 Н и 11704 Дж соответственно, при разрывном удлинении – 49 мм.

На рисунках 4.20 – 4.21 представлены графики изменения разрывного удлинения трикотажа при одноосном растяжении, уравнения линейной

зависимости изменения длины трикотажа от прилагаемой нагрузки, и показаны линии тренда.

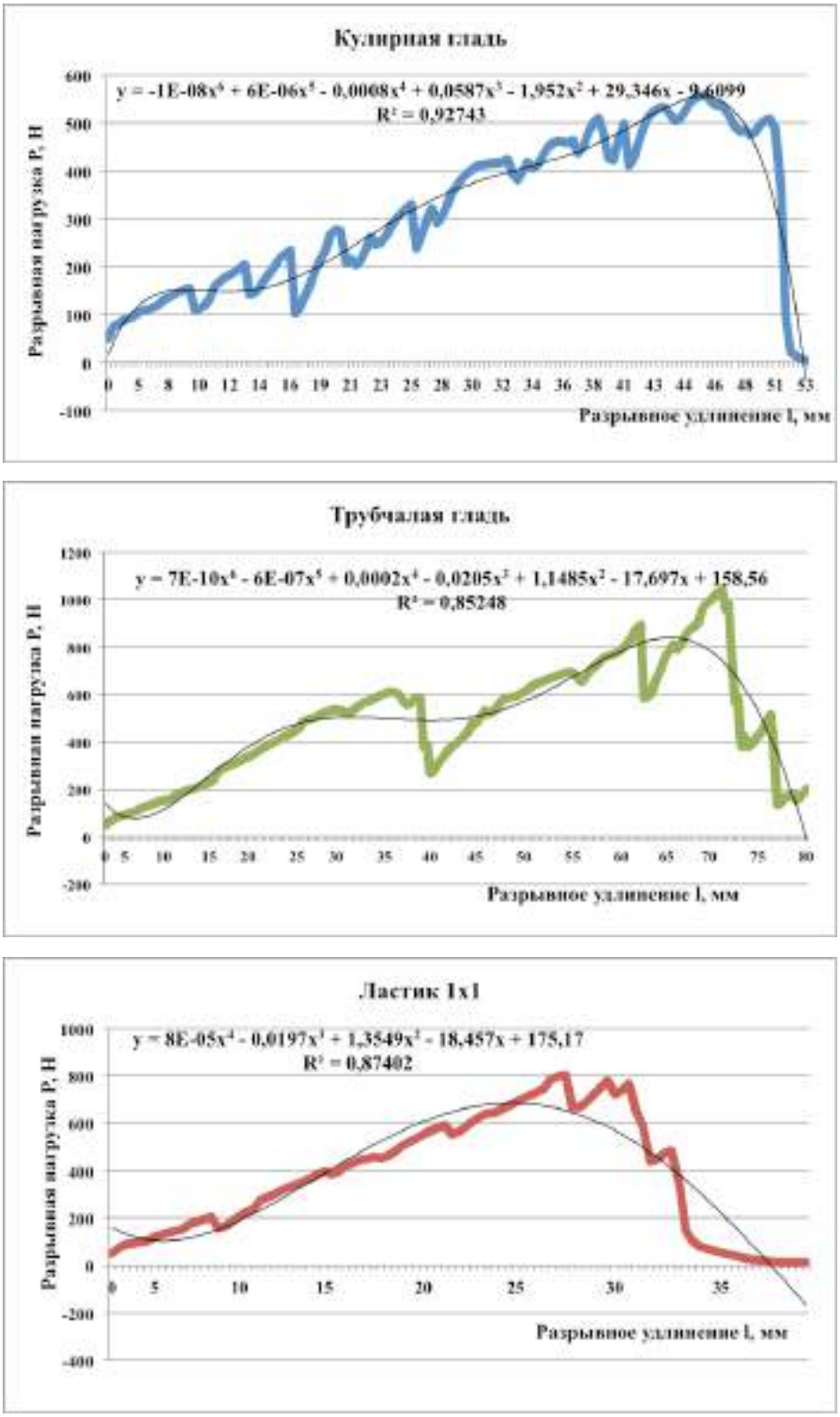



Рисунок 4.20 – Графики изменения параметров трикотажа при растяжении, линейные уравнения и величина достоверности аппроксимации.

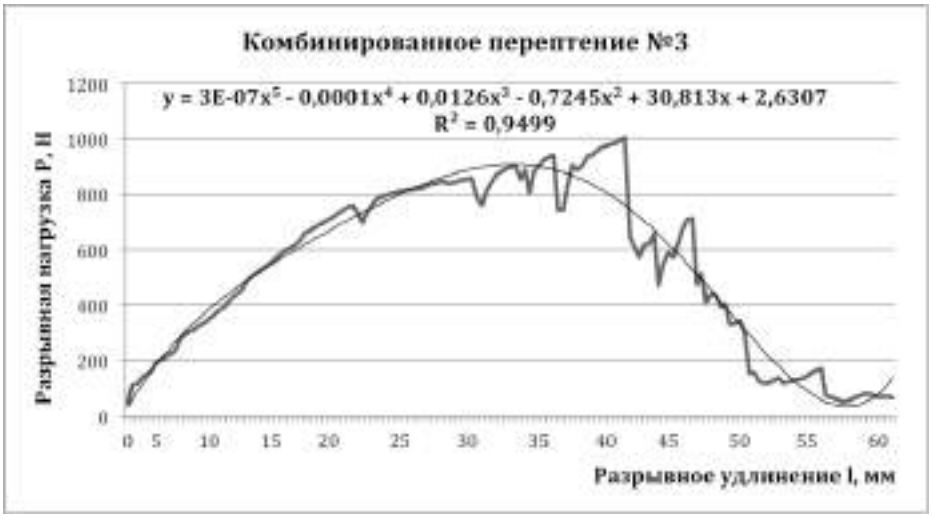



Рисунок 4.21 – Графики изменения параметров трикотажа при растяжении, линейные уравнения и величина достоверности аппроксимации.

Если сравнить результаты испытаний образцов трикотажа из нити Русар 58,8 текс и образцов конструкций (см. главу 2), то нужно отметить, что показатели разрывной нагрузки всех переплетений, связанных из нити Русар значительно улучшились по сравнению с соответствующими показателями конструкций. Для удобства сравнительного анализа этих результатов приводятся сводные таблицы 4.13 и 4.14, содержащие только средние значения результатов разрывных испытаний конструкций переплетений и образцов из нити Русар.

Следует добавить, что показатели переплетения №3 из нити Русар значительно улучшились не только в сравнении с результатами испытаний всех остальных переплетений, но и с исходным переплетением трубчатая гладь.

Таблица 4.13 – Средние значения разрывных испытаний образцов конструкций

| Переплетение | Разрывная нагрузка $P_р$, Н | Абсолютное разрывное удлинение $l_р$, мм | Относительное разрывное удлинение $\varepsilon_р$, % | Удельная работа разрыва $R_у$, Дж/г | Абсолютная работа разрыва $R_Р$, Дж | Поверхностная плотность трикотажа $\boldsymbol{\rho_S}$, г/м$^2$ | Объёмное заполнение трикотажа $E_V$, % | Коэффициент объёмности $K_V$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Гладь | 256,2 | 93,4 | 35,9 | 24,7 | 6706,2 | 245,6 | 32 | 1,3 |
| Трубчатая гладь | 593,2 | 78,8 | 39,4 | 26,3 | 13063,5 | 510,0 | 15,6 | 5,5 |
| Ластик 1х1 | 532,4 | 76,6 | 38,3 | 31,5 | 11470,9 | 417,8 | 19 | 3,7 |
| Фанг | 369,9 | 93,0 | 46,5 | 23,5 | 10261,7 | 428,0 | 14,6 | 4,9 |
| Комбинир. №3 | 435,6 | 103,4 | 51,7 | 12,6 | 12662,5 | 1001,4 | 22,4 | 7,5 |

Таблица 4.14 – Средние значения разрывных испытаний образцов из нити Русар

| Переплетение | Разрывная нагрузка Pр, Н | Абсолютное разрывное удлинение lр, мм | Относительное разрывное удлинение εр, % | Удельная работа разрыва Ry, Дж/г | Абсолютная работа разрыва $R_Р$, Дж | Поверхностная плотность трикотажа $\boldsymbol{\rho_S}$, г/м$^2$ | Объёмное заполнение трикотажа $E_V$, % | Коэффициент объёмности $K_V$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Гладь | 616,6 | 53,0 | 26,5 | 109,5 | 9202 | 101,63 | 25,3 | 6,4 |
| Трубчатая гладь | 829,6 | 48,9 | 24,5 | 63,6 | 11703,7 | 208,55 | 24,3 | 6,1 |
| Ластик 1х1 | 715,6 | 35,8 | 17,9 | 40,5 | 7134,4 | 291,1 | 50,1 | 12,6 |
| Фанг | 693,4 | 60,0 | 30,0 | 64,9 | 11686,5 | 164,65 | 69,6 | 17,6 |
| Комбинир. №3 | 995,4 | 43,6 | 21,8 | 39,1 | 12189,6 | 428,27 | 57,95 | 14,6 |

Для проверки результатов соотнесём сначала показатели работы разрыва конструкций переплетений (см. главу 2): переплетение №3 – 12662,5 Дж, трубчатая гладь – 13063,5 Дж. Теперь сравним работу разрыва образцов из нити Русар: переплетение №3 – 12189,6 Дж, трубчатая гладь – 11703,7 Дж. Мы видим, что теперь показатель работы разрыва переплетения №3 из нити Русар значительно изменился в сторону увеличения по сравнению с исходным

переплетением трубчатая гладь. Этот факт говорит о том, что конструкция переплетения значительно упрочнилась за счёт свойств высокомодульной нити.

Анализ результатов механических испытаний образцов трикотажа на разрыв показал, что за счёт большого количества точек контакта в переплетении №3, в процессе растяжения происходит больше работы силы трения, чем в остальных переплетениях и образец разрушается при относительном удлинении – 21,8%, меньшем, чем значение относительного удлинения исходного переплетения трубчатая гладь – 24,5%.

На рисунке 4.22 показаны точки контакта нитей петель комбинированного переплетения №3 при растяжении.

Необходимо отметить, что при использовании переплетения №3 в качестве армирующего компонента КМ, после помещения в среду наполнителя, характер поведения данного переплетения должен измениться за счёт изолирующей полимерной прослойки между точками трения [12, 13, 15, 18, 37]. Когда протяжки-распорки смогут в полной мере реализовать потенциал упругих стержней [21] в составе КМ, и, в среде связующего, трёхмерная структура комбинированного переплетения №3 получит возможность проявить прочностные свойства, характерные для конструкции строительной треугольной фермы [29, 37, 57].

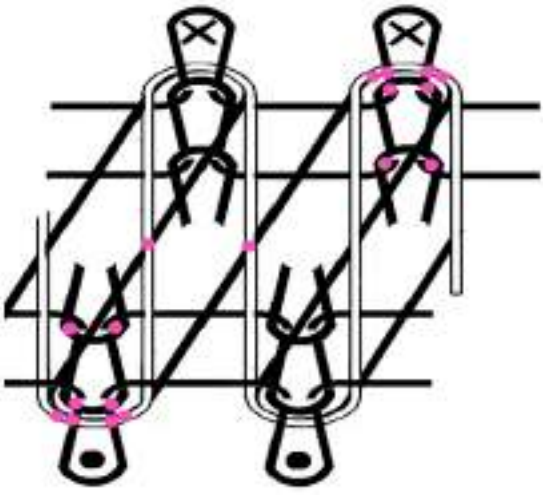


Рисунок 4.22 – Точки контакта нитей петель комбинированного переплетения №3 при растяжении.

## 4.3. Использование методов теории подобия и анализа размерностей для прогнозирования разрывной нагрузки кулирных трикотажных полотен из арамидной нити

Для эффективного использования технического трикотажа требуется поиск надёжных способов проектирования трикотажного полотна с заданными свойствами на стадии разработки переплетений. Реализовать такие способы проектирования, а также уменьшить время на изучение параметров новых трикотажных переплетений возможно с помощью теории подобия и анализа размерностей [1], [2], [3]. Метод физического и математического моделирования широко используется в современных научных исследованиях [136].

Теория подобия позволяет установить наличие физического подобия или разработать способы его достижения. Подобие может быть физическое, химическое, физико-химическое и др. Физическое подобие достигается при одинаковой физической природе явлений, когда механическим процессам ставятся в подобие механические процессы. Соотношение между моделью и оригиналом может быть выражено сложной функциональной зависимостью группы параметров сопоставляемых объектов, называемых критериями подобия. Для получения критериев подобия применяется первая теорема подобия Ньютона-Бертрана и выполняется ряд преобразований исходных уравнений по правилу Фурье, когда все члены уравнения имеют одинаковую размерность [3]. Современная формулировка первой теоремы подобия учитывает возможность существования различных видов подобия и показывает, что явления, подобные в том или ином смысле, имеют определённые сочетания параметров – критерии подобия, численно одинаковые для подобных явлений.

Размерность выражает качественную сущность физической величины, измеренной с помощью данной системы единиц измерения [4]. Считается, что для решения задач в области механики достаточно трёх основных единиц измерения в

системе СИ: длины $L$, времени $T$ и массы $M$, поэтому функция размерности для какой-либо величины $\varphi_0$:

$$[\varphi_0] = L^{\alpha} \cdot T^{\beta} \cdot M^{\gamma}, \quad (1)$$

где аргументы $L$, $T$, $M$ – это положительные числа, над которыми возможны арифметические действия. В расчётных формулах все величины выражаются через эти первичные единицы [3]. Поэтому размерность любой физической величины $Q$ – это возведение в какие-либо степени трёх первичных размерностей:

$$[Q] = [M]^{\alpha}[L]^{\beta}[T]^{\gamma}, \quad (2)$$

где $\alpha, \beta, \gamma$ – неизвестные показатели степени, которые надо определить.

По второй теореме подобия уравнение процесса можно представить в виде функциональной зависимости между параметрами системы и процесса [3]:

$$y = f\left(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots x_{n-1}\right). \quad (3)$$

Важным качественным показателем технического трикотажа является прочность при действии разрывной нагрузки [5], [6]. Растяжение пробы до разрыва является показателем предельных возможностей трикотажного переплетения. Разрывные характеристики трикотажа зависят от влияния на прочность вида переплетения, волокнистого состава, а так же структуры и линейной плотности нитей, т.е. определяются большим количеством показателей, но не все показатели имеют непосредственную связь друг с другом [6].

При постановке задачи важно включить в исследование наиболее существенные параметры процесса и можно опустить несущественные [7]. Для определения зависимости разрывной нагрузки трикотажных полотен от параметров структуры, установим функциональную зависимость в виде уравнения:

$$P_{\text{тр}} = f(P_{\text{н}}, \Pi_{\text{г}}, \Pi_{\text{в}}, T_{\text{н}}, \rho_{\text{н}}, b, \rho_S), \quad (4)$$

где $P_{\text{тр}}$ – разрывная нагрузка трикотажного полотна, Н;

$P_{\text{н}}$ – разрывная нагрузка нити, Н;

$\Pi_{\text{г}}$ – плотность по горизонтали, число столбиков/10 см;

$\Pi_{\text{в}}$ – плотность по вертикали число рядов/10 см;

$T_н$ – линейная плотность нити, текс;

$\rho_s$ – поверхностная плотность трикотажа, г/см$^2$;

$\rho_н$ – плотность вещества нити, г/см$^3$;

$b$ – толщина образца трикотажа, мм.

Размерности представленных величин в системе СИ следующие:

$$[P_{тр}] = \frac{г \cdot м}{с^2};\ [P_н] = \frac{г \cdot м}{с^2};\ [П_г] = \frac{1}{дм};\ [П_в] = \frac{1}{дм};\ [T_н] = \frac{г}{км};\ [\rho_н] = \frac{г}{см^3};\ [\rho_s] = \frac{г}{см^2}.$$

Для нахождения критериев подобия и перехода к безразмерным единицам, все величины выражены через первичные параметры: $L$ – длину, м, $M$ – массу, г и $T$ – время, с, для которых определитель отличен от нуля.

В качестве основных параметров, определяющих размерность разрывной нагрузки, произвольно приняты $P_н$, $T_н$ и $b$.

В таблице 4.15 приведены обозначения используемых расчётных характеристик и матрица размерностей.

Таблица 4.15 – Размерности и обозначения рассматриваемых величин

| Обозначение переменной | Выбранная характеристика | Обозначение характеристик по теории размерностей $[M]^\alpha[L]^\beta[T]^\gamma$ | Матрица размерностей | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | $[M]$ | $[L]$ | $[T]$ |
| $P_{тр}$ | Разрывная нагрузка трикотажного полотна, Н | $[M]^1[L]^1[T]^{-2}$ | 1 | 1 | -2 |
| $P_н$ | Разрывная нагрузка нити, Н | $[M]^1[L]^1[T]^{-2}$ | 1 | 1 | -2 |
| $П_г$ | Плотность по горизонтали, петля/дм | $[M]^0[L]^{-1}[T]^0$ | 0 | -1 | 0 |
| $П_в$ | Плотность по вертикали, петля/дм | $[M]^0[L]^{-1}[T]^0$ | 0 | -1 | 0 |
| $T_н$ | Линейная плотность нити, текс | $[M]^1[L]^{-1}[T]^0$ | 1 | -1 | 0 |
| $b$ | Толщина образца трикотажа, мм | $[M]^0[L]^1[T]^0$ | 0 | 1 | 0 |
| $\rho_н$ | Плотность вещества нитей, г/см$^3$ | $[M]^1[L]^{-3}[T]^0$ | 1 | 3 | 0 |
| $\rho_s$ | Поверхностная плотность трикотажа, г/см$^2$ | $[M]^1[L]^{-2}[T]^0$ | 1 | 2 | 0 |

Для проверки возможного решения данной системы вычисляется определитель, составленный по основным параметрам $P_н$, $T_н$ и $b$, который должен быть не равен нулю:

$$\Delta = \begin{bmatrix} \alpha_{P_H} & \beta_{P_H} & \gamma_{P_H} \\ \alpha_{T_H} & \beta_{T_H} & \gamma_{T_H} \\ \alpha_b & \beta_b & \gamma_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = -2 \neq 0 \quad (5)$$

Поскольку $\Delta \neq 0$, то параметры $P_н$, $T_н$ и $b$ можно и спользовать в качестве основных размерностей. Применяя метод нулевых размерностей [2], зависимость (4) можно выразить через безразмерные показатели и представить в виде:

$$\frac{P_{тр}}{P_н T_н b} = \eta, \quad (6)$$

$$\text{где } \eta = f(\eta_1, \eta_2) \quad (7)$$

Согласно $n$ – теореме, число критериев подобия должно быть равно разности между числом участвующих в процессе параметров $n$ и основных параметров $r$ [3]. Отсюда разрывная нагрузка трикотажного полотна зависит от пяти безразмерных комплексов, поскольку число размерных параметров $n = 8$, а количество единиц с независимой размерностью $k = 3$: кг, м, с [8]:

$$\frac{P_{тр}}{P_н^{\alpha P_{тр}} T_н^{\beta P_{тр}} b^{\gamma P_{тр}}} = f\left( \frac{\Pi_г}{P_н^{\alpha \Pi_г} T_н^{\beta \Pi_г} b^{\gamma V_{зж}}} \times \frac{\Pi_в}{P_н^{\alpha \Pi_в} T_н^{\beta \Pi_в} b^{\gamma \Pi_в}} \times \frac{\rho_н}{P_н^{\alpha \rho_н} T_н^{\gamma \rho_н} b^{\gamma \rho_н}} \times \frac{\rho_s}{P_н^{\alpha \rho_s} T_н^{\gamma \rho_s} b^{\gamma \rho_s}} \right). \quad (8)$$

Значения $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ определяются из условия, что входящие в уравнение (8) комплексы – это безразмерные величины.

Рассмотрим первый комплекс:

$$\frac{P_{тр}}{P_н^{\alpha P_{тр}} T_н^{\beta P_{тр}} b^{\gamma P_{тр}}} = \frac{M^1 \cdot L^1 \cdot T^{-2}}{M^{\alpha P_{тр}} \cdot L^{\alpha P_{тр}} \cdot T^{-2\alpha P_{тр}} \cdot M^{\beta P_{тр}} \cdot L^{-\beta P_{тр}} \cdot L^{\gamma P_{тр}}}, \quad (9)$$

$$\frac{P_{тр}}{P_н^{\alpha P_{тр}} T_н^{\beta P_{тр}} b^{\gamma P_{тр}}} = M^{1-\alpha P_{тр}-\beta P_{тр}} \cdot L^{1-\alpha P_{тр}+\beta P_{тр}-\gamma P_{тр}} \cdot T^{-2+2\alpha P_{тр}}, \quad (10)$$

Из уравнения (10) получается система уравнений:

$$\begin{cases} M: & 1-\alpha P_{\text{тр}}-\beta P_{\text{тр}}=0 \\ L: & 1-\alpha P_{\text{тр}}+\beta P_{\text{тр}}-\gamma P_{\text{тр}}=0 \\ T: & -2+2\alpha P_{\text{тр}}=0 \end{cases} \quad (11)$$

Решив систему уравнений, получаем значения $\alpha$, $\beta$, $\gamma$: $\alpha=1$; $\beta=0$; $\gamma=0$. Произведя подстановку полученных значений в уравнение (9), получим первый критерий подобия:

$$\frac{P_{\text{тр}}}{P_{\text{н}}{}^{\alpha P_{\text{тр}}} T_{\text{н}}{}^{\beta P_{\text{тр}}} b^{\gamma P_{\text{тр}}}}=\frac{P_{\text{тр}}}{P_{\text{н}}{}^{1} T_{\text{н}}{}^{0} b^{0}}=\frac{P_{\text{тр}}}{P_{\text{н}}}. \quad (12)$$

Рассмотрим второй критерий подобия:

$$\frac{\Pi_{\text{г}}}{P_{\text{н}}{}^{\alpha\Pi_{\text{г}}} T_{\text{н}}{}^{\beta\Pi_{\text{г}}} b^{\gamma\Pi_{\text{г}}}}=\frac{M^0\cdot L^1\cdot T^0}{M^{\alpha\Pi_{\text{г}}}\cdot L^{\alpha\Pi_{\text{г}}}\cdot T^{-2\alpha\Pi_{\text{г}}}\cdot M^{\beta\Pi_{\text{г}}}\cdot L^{-\beta\Pi_{\text{г}}}\cdot L^{\gamma\Pi_{\text{г}}}}, \quad (13)$$

$$\frac{\Pi_{\text{г}}}{P_{\text{н}}{}^{\alpha\Pi_{\text{г}}} T_{\text{н}}{}^{\beta\Pi_{\text{г}}} b^{\gamma\Pi_{\text{г}}}}=M^{0-\alpha\Pi_{\text{г}}-\beta\Pi_{\text{г}}}\cdot L^{1-\alpha\Pi_{\text{г}}+\beta\Pi_{\text{г}}-\gamma\Pi_{\text{г}}}\cdot T^{0+2\alpha\Pi_{\text{г}}}. \quad (14)$$

В результате решения системы уравнений, получаем значения $\alpha, \beta, \gamma$: $\alpha=0$; $\beta=0$; $\gamma=1$. Произведя подстановку значений $\alpha, \beta, \gamma$ в уравнение (12), получим:

$$\frac{\Pi_{\text{г}}}{P_{\text{н}}{}^{\alpha\Pi_{\text{г}}} T_{\text{н}}{}^{\beta\Pi_{\text{г}}} b^{\gamma\Pi_{\text{г}}}}=\frac{\Pi_{\text{г}}}{P_{\text{н}}{}^{0} T_{\text{н}}{}^{0} b^{1}}=\frac{\Pi_{\text{г}}}{b}. \quad (15)$$

Третий критерий $\Pi_{\text{В}}$ аналогичен второму критерию $\Pi_{\text{г}}$:

$$\Pi_{\text{г}}=\Pi_{\text{в}}=\frac{\Pi_{\text{в}}}{b}. \quad (16)$$

Рассмотрим четвёртый критерий подобия:

$$\frac{\rho_{\text{н}}}{P_{\text{н}}{}^{\alpha\rho_{\text{н}}} T_{\text{н}}{}^{\gamma\rho_{\text{н}}} b^{\gamma\rho_{\text{н}}}}=\frac{M^1\cdot L^{-3}\cdot T^0}{M^{\alpha\rho_{\text{н}}}\cdot L^{\alpha\rho_{\text{н}}}\cdot T^{-2\alpha\rho_{\text{н}}}\cdot M^{\beta\rho_{\text{н}}}\cdot L^{-\beta\rho_{\text{н}}}\cdot L^{\gamma\rho_{\text{н}}}}, \quad (17)$$

$$\frac{\rho_{\text{н}}}{P_{\text{н}}{}^{\alpha\rho_{\text{н}}} T_{\text{н}}{}^{\gamma\rho_{\text{н}}} b^{\gamma\rho_{\text{н}}}}=M^{1-\alpha\rho_{\text{н}}-\beta\rho_{\text{н}}}\cdot L^{-3-\alpha\rho_{\text{н}}+\beta\rho_{\text{н}}-\gamma\rho_{\text{н}}}\cdot T^{0+2\alpha\rho_{\text{н}}}. \quad (18)$$

В результате решения системы уравнений, получаем значения $\alpha, \beta, \gamma$: $\alpha=0$; $\beta=1$; $\gamma=-2$. Произведя подстановку полученных значений в уравнение (18), получим:

$$\frac{\rho_{\text{н}}}{P_{\text{н}}{}^{\alpha\rho_{\text{н}}} T_{\text{н}}{}^{\gamma\rho_{\text{н}}} b^{\gamma\rho_{\text{н}}}}=\frac{\rho_{\text{н}}}{P_{\text{н}}{}^{0} T_{\text{н}}{}^{1} b^{-2}}=\frac{\rho_{\text{н}} b^2}{T_{\text{н}}}. \quad (19)$$

Рассмотрим пятый критерий подобия:

$$\frac{\rho_s}{P_н^{\alpha\rho_s} T_н^{\beta\rho_s} b^{\gamma\rho_s}} = \frac{M^1 \cdot L^{-2} \cdot T^0}{M^{\alpha\rho_s} \cdot L^{\alpha\rho_s} \cdot T^{-2\alpha\rho_s} \cdot M^{\beta\rho_s} \cdot L^{-\beta\rho_s} \cdot L^{\gamma\rho_s}}, \quad (20)$$

$$\frac{\rho_s}{P_н^{\alpha\rho_s} T_н^{\beta\rho_s} b^{\gamma\rho_s}} = M^{1-\alpha\rho_s-\beta\rho_s} \cdot L^{-2-\alpha\rho_s+\beta\rho_s-\gamma\rho_s} \cdot T^{0+2\alpha\rho_s}. \quad (21)$$

В результате решения системы уравнений, получаем значения $\alpha, \beta, \gamma$: $\alpha\rho_s = 0$, $\beta\rho_s = 1, \gamma\rho_s = -1$. После подстановки полученных значений в уравнение (20), получим:

$$\frac{\rho_s}{P_н^{\alpha\rho_s} T_н^{\beta\rho_s} b^{\gamma\rho_s}} = \frac{\rho_s}{P_н^{0} T_н^{1} b^{-1}} = \frac{\rho_s b}{T_н}. \quad (22)$$

В результате математических расчётов получены все критерии подобия:

$$\frac{P_{тр}}{P_н} = f\left(\frac{П_г}{b}, \frac{П_в}{b}, \frac{\rho_н b^2}{T_н}, \frac{\rho_s b}{T_н}\right),$$

$$\frac{P_{тр}}{P_н} = \eta = f\left(\frac{П_г \rho_н b^2}{П_в T_н}, \frac{\rho_s b}{T_н}\right), \quad (23)$$

$$\eta_1 = f_1\left(\frac{П_г \rho_н b^2}{П_в T_н}\right);\ \eta_2 = f_2\left(\frac{\rho_s b}{T_н}\right), \quad (24)$$

где $\eta_1$ и $\eta_2$ – безразмерные показатели, характеризующие структуру трикотажа и объёмную массу трикотажного полотна.

Для каждого из найденных безразмерных параметров $\eta_1$ и $\eta_2$ выполнен расчет на основании экспериментальных данных, полученных в результате выработки ряда образцов кулирной глади из арамидной нити Русар 58,8 текс. Значения параметров, одинаковые для всех образцов: $P_н$ – разрывная нагрузка нити, Н; $P_н = 140{,}5$ Н; $T_н$ – линейная плотность нити, текс; $T_н$= 58,8 текс; $\rho_н$ – плотность вещества нити, г/см$^3$; $\rho_н = 1{,}43$ г/см$^3$.

Экспериментальные и расчетные данные представлены в таблице 4.16 [136].

Численными методами получены аппроксимирующие функциональные зависимости (рисунок 4.23) для безразмерных показателей $\eta_1$ и $\eta_2$ . Результирующие формулы представлены в виде:

$$P_{тр} = 20{,}83 ln\left(\frac{П_г \rho_н b^2}{П_в T_н}\right) + 591{,}32. \quad (25)$$

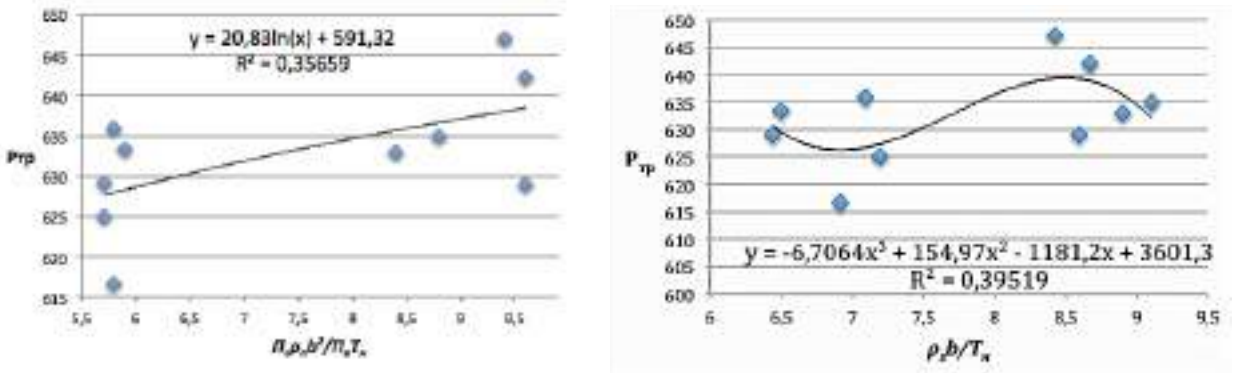
Формула справедлива при: $5{,}7 \leq \left(\frac{П_г \rho_н b^2}{П_в T_н}\right) \leq 9{,}6$.

$$P_{тр} = -6{,}7064\left(\frac{\rho_s b}{T_н}\right)^3 + 154{,}97\left(\frac{\rho_s b}{T_н}\right)^2 - 1181{,}2\left(\frac{\rho_s b}{T_н}\right) + 3601{,}3. \quad (26)$$

Формула справедлива при: $6{,}44 \leq \left(\frac{\rho_s b}{T_н}\right) \leq 9{,}1$.

Таблица 4.16 – Расчёт разрывной нагрузки трикотажа

| № образца | $П_г$ | $П_в$ | b, мм | $\rho_s$, г/см$^3$ | $P_{тр}$, Н эксперим. | $\frac{П_г \rho_н b^2}{П_в T_н}$ | $P_{тр}$, Н расчётн | Отклонение, % | $\frac{\rho_s b}{T_н}$ | $P_{тр}$, Н расчёт | Отклонение, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 45,1 | 30,1 | 0,4 | 101,6 | 616,6 | 5,8 | 607 | 1,6 | 6,91 | 607 | 1,6 |
| 2 | 44 | 32 | 0,5 | 104,7 | 633 | 8,4 | 611 | 3,5 | 8,9 | 611 | 3,5 |
| 3 | 47 | 32 | 0,4 | 94,6 | 629,1 | 5,7 | 607 | 3,5 | 6,44 | 607 | 3,5 |
| 4 | 43,6 | 30 | 0,4 | 105,7 | 625 | 5,7 | 607 | 2,9 | 7,19 | 607 | 2,9 |
| 5 | 43 | 29,6 | 0,5 | 107 | 635 | 8,8 | 611 | 3,8 | 9,1 | 611 | 3,8 |
| 6 | 44,4 | 29,7 | 0,4 | 104,2 | 636 | 5,8 | 607 | 4,6 | 7,09 | 607 | 4,6 |
| 7 | 45,6 | 30 | 0,4 | 95,5 | 633,4 | 5,9 | 607 | 4,2 | 6,5 | 607 | 4,2 |
| 8 | 47,8 | 30,3 | 0,5 | 102 | 642,2 | 9,6 | 612 | 4,7 | 8,67 | 612 | 4,7 |
| 9 | 46 | 31,4 | 0,5 | 101 | 629 | 9,6 | 612 | 2,7 | 8,59 | 612 | 2,7 |
| 10 | 44,1 | 31,6 | 0,5 | 99 | 647,1 | 9,4 | 612 | 5,4 | 8,42 | 612 | 5,4 |




а) б)

Рисунок 4.23 – Зависимость разрывной нагрузки:

а) $P_{тр} = f_1\left(\frac{П_г \rho_н b^2}{П_в T_н}\right)$, б) $P_{тр} = f_2\left(\frac{\rho_s b}{T_н}\right)$.

Отклонение расчётных значений от экспериментальных данных не превышает 5,4 %.

Методами теории подобия получены функциональные зависимости (25) и (26) разрывной нагрузки от основных параметров строения кулирного трикотажа.

## 4.4. Закручиваемость трикотажа. Распускаемость трикотажа при разрезании образцов

Распускаемость и закручиваемость трикотажа относятся к его отрицательным свойствам. Степень закручиваемости краёв зависит от вида переплетения, плотности вязания и наиболее характерна для одинарных кулирных полотен, выработанных на однофантурных машинах с одной игольницей.

Сильная закручиваемость по краю и распускаемость полотна при обрыве петли или по срезу наиболее присуща одинарному кулирному переплетению гладь. Двойные переплетения в различной степени подвержены распускаемости, но в значительно меньшей, чем гладь, и совсем не подвержены закручиваемости по краям [8-10].

Свойства распускаемости и закручиваемости образцов трикотажа из нити Русар определялась экспериментально в процессе выкраивания проб размером 5х5 см для определения массы.

Среди образцов кулирного трикотажа, выработанных из нитей Русар 58,8 текс, закручиваемость краёв и наибольшая распускаемость характерна для одинарного переплетения гладь, что показано на рисунке 4.24.

Хотя переплетение гладь показало неплохие результаты при испытании на разрыв, но по причине сильной закручиваемости по краям его затруднительно

использовать в качестве основы КМ, т.к. для стабилизации структуры потребуется дополнительная обработка поверхности или фиксация краёв, что довольно проблематично для наиболее популярного инфузионного вакуумного пакета изготовления КМ, а так же и других способов формования, поскольку обработка поверхностно активными веществами может негативно повлиять на адгезионное взаимодействие матрицы и наполнителя на границе сред [25].

а) б)

Рисунок 4. 24 – Распускаемость трикотажа переплетения кулирная гладь:
а) лицевая сторона; б) изнаночная сторона.

Негативным показателем к использованию кулирной глади как армирующего компонента является и количество слоёв трикотажа, которые потребуется увеличить до нескольких. В работе [39] показаны эксперименты с использованием одного слоя кулирной глади в качестве армирующего материала при изготовлении бутафорского шлема из КМ, доказавшие невозможность обеспечения прочности композита при армировании одним слоем глади.

Двойные переплетения, показанные на рисунке 4.25 *а-е*, трубчатая гладь, ластик 1х1, фанг, полуфанг, комбинированное переплетение №3, в равновесном состоянии и выкраивании не закручивались по краям [84].

Распускаемость полотна при обрыве петли влияет на процесс растяжения до разрыва. Когда петли переплетения обрываются при восприятии нагрузки, то сильно распускающиеся структуры разрушаются быстрее, и дальнейший разрыв происходит не по структуре переплетения, а по распущенным нитям.

По рисункам 4.24 и 4.25 можно оценить степень произвольной распускаемости образцов трикотажа по верхнему срезу.

Двойное переплетение трубчатая гладь (рисунок 4.25 *а*), выработанное на двух фонтурах, проявило меньшую распускаемость, чем кулирная гладь, и не проявило закручиваемость, что определяется структурой замкнутого контура, стабилизирующего напряжение в петлях.

Двойное переплетение ластик 1х1 (рисунок 4.25, *б*) проявило распускаемость по краю среза, сходную с трубчатой гладью, и совсем не закрутилось [9, 84].

Двойные переплетения фанг и полуфанг (рисунок 4.25, *в*, *г*) распустились по срезу сразу после выкраивания, но не закрутились по краям.

Комбинированное переплетение №3 проявило инертность к выкраиванию, и все нити петель остались на месте, несколько изменилось направление палочек надрезанных петель, а так же распушились филаменты нити (рисунок 4.25, *д*, *е*). Можно отметить, что комбинированное переплетение №3 сохранило целостность структуры после процесса выкраивания.

а)

б)

в)

г)

д)

е)

Рисунок 4. 25 – Распускаемость трикотажа из нити Русар 58,8 текс:
а) трубчатая гладь; б) ластик 1х1; в) фанг; г) полуфанг; д) переплетение №3, торцевой срез; е) переплетение №3, нижний  и боковой срезы.

## 4.5. Формообразование трикотажа из высокомодульной нити Русар

Одной из основных задач, решаемых в процессе проектирования и изготовления трикотажных изделий объёмной формы, является создание из трикотажного полотна, отличающегося подвижной структурой, устойчивой объемной формы и закрепления конфигурации.

Способность трикотажа образовывать пространственную форму без образования складок, морщин и перекосов и устойчиво сохранять ее, называется формовочной способностью. Существует ряд способов получения деталей объемной формы из трикотажа, и все они подробно описаны в работах [9, 11, 84]. При выработке технического трикотажа, так же возможно использовать различные комбинации всех способов получения объемной формы. Выбор способа зависит от характера и степени кривизны поверхности и деформационных свойств полотна.

Применение нескольких видов нитей разной линейной плотности в одной детали даёт возможность варьировать геометрические параметры трикотажа, например, можно изменить толщину полотна, чтобы получить сужение или расширение участка. Способ убавки или прибавки петель даёт возможность сформировать выпуклые или вогнутые области детали. Все перечисленные операции влияют на параметры трикотажа, а так же на его механические свойства, поэтому возможные комбинации выработки детали необходимо учитывать при начальном конструировании и расчёте переплетений.

Зафиксировать форму можно в процессе изменения структуры волокон путём влажно-тепловой обработки, при которой под действием повышенной влажности и тепла ослабляются и разрушаются межмолекулярные связи, структура перестраивается в соответствии с деформацией волокна и затем стабилизируется. Процесс такой перестройки в большой степени зависит от

химического состава, надмолекулярной структуры нитей и вида межмолекулярных связей [11, 57].

Обеспечить устойчивую жесткость полотна при формовании позволяют аппретирующие вещества различной химической природы, которые обволакивают нити, закрепляя пространственное положение структуры трикотажа путем склеивания, скрепления нитей и волокон в новом положении [11]. При этом, состав аппретирующего вещества должен способствовать взаимодействию компонентов волокно-матрица, и не препятствовать проницаемости связующего в структуру нити. В противном случае может снизиться взаимодействие компонентов на границе сред, что негативно отразится на совместной работе КМ при восприятии механических нагрузок и может привести к расслоению связующего и матрицы.

В ходе эксперимента установлено, что при изгибе образцов трикотажа традиционных переплетений гладь, трубчатая гладь, ластик 1х1, фанг, полуфанг, комбинированных переплетений №1 и №2 на базе фанга, выработанных из нити Русар 58,8 текс, можно получить оболочку только развертывающихся поверхностей (цилиндр, конус). Трикотаж данных переплетений не обладает достаточной жесткостью при изгибе для принятия устойчивой формы: при приложении растягивающей нагрузки во время формования в структуре трикотажа изменяется конфигурация петель, нити перетягиваются из одних участков петель в другие, распрямляются и изгибаются. После снятии нагрузки идёт обратный релаксационный процесс: установившееся в полотне равновесное состояние вновь нарушается и нити петель стремятся занять по возможности прежнее расположение в структуре трикотажа [10, 11, 50, 56, 57].

В работе [39] приведено подробное описание процесса выработки изделия пространственной формы, а именно военной каски, из плоских трикотажных полотен переплетений гладь и ластик, формование которых выполнялось без применения методов получения деталей объемной формы приведённых в [10, 57, 101]. Учитывая полученный в работе [39] опыт понятно, что для формообразования пространственных объектов из плоских образцов кулирных

переплетений гладь, трубчатая гладь, ластик 1х1, а так же фанг, полуфанг, комбинированных переплетений №1 и №2 из нити Русар 58,8 текс потребуется фиксация структуры с помощью аппретов или дополнительной фиксации формы. Нанесение аппретирующих составов на поверхность трикотажа можно осуществить на стадии выработки полотна или на готовое полотно непосредственно перед формованием детали, либо путём добавки аппрета в состав связующего [11]. Применение аппретирующих веществ позволит использовать выработанные традиционные кулирные переплетения и комбинированные №1 и №2 для изготовления армирующего трикотажа пространственных форм, но потребует дополнительных технологических операций при формовании деталей и закрепления трикотажа на поверхности, например в виде подготовленного препрега [23, 27].

Трикотажное полотно представляет сильнорастяжимую структуру [84, 97, 98]. Причина подобного явления в беспрепятственном смещении точек контакта между петлями, по сравнению с другими текстильными материалами, например с тканями. При компановке объёмных форм трикотажем, полотно неизбежно растягивается, чтобы принять форму обтягиваемого объёкта. Каждая трикотажная структура имеет различную степень растяжимости, которая зависит от вида сырья, вида переплетения, наличия протяжек и глубины кулирования. При растяжении, когда структура выходит из равновесного состояния, и петли изменяют свою нормальную геометрию, в полотне создаются разнонаправленные напряжения. В зависимости от степени растяжения, напряжения будут различны. Как повлияют напряжения в армирующем трикотаже на композит, это вопрос открытый, требующий дополнительного изучения. Понятно одно, что, чем меньше деформируются элементы структуры при растяжении, тем меньше напряжений возникает. Отсюда следует, что выбор структуры для армирования композита должен пасть на структуру, обладающую некоторым объёмом и механической подвижностью в пределах этого объёма, а так же возможностью поворота одной петли относительно другой петли, некий угол поворота в пределах допустимого напряжения структуры. Идеализированно, такая структура

может напоминать шарнрный конструктор, когда при повороте изменяется угол направления составных частей конструкции, но не нарушается сама конструкция и не возникают внутренние напряжения. А затем, в процессе релаксации, конструкция не меняет своего положения в пространстве.

В результате проведённых экспериментов с выработанными из нити Русар образцами переплетений было установлено, что традиционные кулирные переплетения и комбинированное переплетение №2 на базе фанга не принимают заданную пространственную форму. А комбинированное переплетение №1 на базе фанга принимает, но не сохраняет длительно заданную пространственную форму. Подобным опциям среди исследованных одинарных и двойных структур отвечает только комбинированное переплетение №3 с межслойными протяжками-распорками, конструкция которого построена по схеме треугольной строительной фермы.

В ходе экспериментов по определению степени формовочной способности и жесткости при изгибе, достаточной для сохранения репетованной формы без действия внешней силы, образец переплетения №3 выкладывался на различные пространственные поверхности. Образец формовался без особых усилий и оставался в заданной форме. Результаты работы по формованию трикотажа на различных поверхностях можно увидеть на рисунках 4.26 – 4.28, где показано, как переплетение свободно сохраняет, без релаксационных изменений петельной структуры, заданную форму после снятия формующего воздействия.

Фотографии, представленные на рисунке 4.28, показывают эксперимент, в ходе которого образцу трикотажа переплетения №3 была задана цилиндрическая форма, и, после снятия с формы, образец трикотажа не изменил заданной пространственной конфигурации. Аппретирующие вещества не применялись к образцам трикотажа перед формованием.

Эксперимент по формообразованию выработанных образцов трикотажного переплетения №3 проводился без закрепляющих форму составов и химических веществ в течение 48 часов при $t = 21^0$ С, без снятия дефомации. Затем контур объекта был механически расформирован (разглажен руками) и образец принял

первоначальную плоскую форму без видимых дефектов и поверхностных повреждений структуры трикотажа.

Формообразование переплетения №3 может быть определено его физико-механическими свойствами и способностью к различным видам деформации – изгибу, растяжению и сжатию, только за счёт геометрических структурных особенностей, а так же физико-механическими свойствами высокомодульной нити Русар. Характер компоновочного поведения структуры допустимо условно назвать «эффектом памяти».

Можно предположить, что работа переплетения происходит за счёт перестроения элементов петельной структуры относительно точек контакта, в условиях ограниченного перемещения структурных элементов петли, деформация которых согласована с сопротивлением внешним нагрузкам протяжками-распорками. В переплетении №3 присутствует 18 таких точек контакта (или трения) между нитями петель на раппорт (рисунок 4.22), что больше, чем во всех остальных рассматриваемых в данной работе переплетениях. На каждую такую точку приходится по две или три контактирующих протяжки и петли внешних слоёв, где и возникает сила трения.

В то время, как на каждую контактную точку раппорта традициоых перепетений приходится одна-две протяжки и одна-две петли. Схемы точек контакта переплетений гладь, ластик 1х1, трубчатая гладь, фанг и полуфанг показаны на рисунке 4.29.

При сложном пространственном формообразовании растяжение трикотажа происходит в различных направлениях, поэтому и структурные элементы петель тоже деформируются в разных направлениях: меняются углы наклона элементов петель, изменяется размер и конфигурация петель, но нити протяжек-распорок, соединяющих слои трикотажа, работают в переплетении как упругие стержни, которые перемещаются, только относительно начальной точки *О* контакта, как стержни строительной фермы закреплённые на шарнирах, ограничивая деформацию петель внешнего и внутреннего петельного слоёв.

а)

б)

в)

Рисунок 4. 26 – Формообразование переплетения №3. Вариант 1.

а)

б)

в)

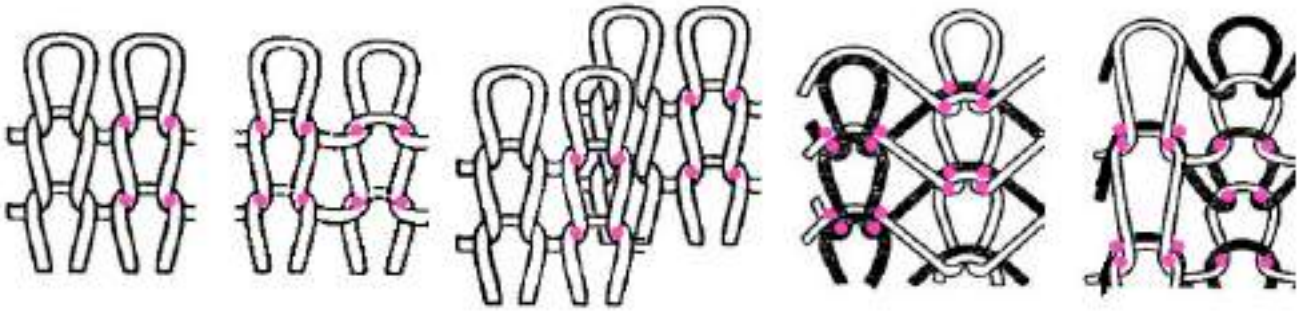
Рисунок 4. 27 – Формообразование переплетения №3. Вариант 2.

а)

б)

в)

Рисунок 4. 28 – Формообразование переплетения №3. Вариант 3.



а) б) в) г) д)

Рисунок 4.29 – Деформационные точки контакта в раппортах кулирных переплетений: а) гладь, б) ластик 1х1, в)трубчатая гладь, г) фанг, д) полуфанг.

В таблице 4.17 приведены характеристики раппортов переплетений и количество точек трения между нитями петль в раппорте каждого переплетения.

Таблица 4.17 – Распределение точек трения между петлями раппортов

| Вид переплетения | | Раппорт по ширине $R_b$ | Раппорт по высоте $R_H$ | Количество точек контакта |
|---|---|---|---|---|
| Гладь (одинарное) | | 1 | 1 | 4 |
| Двойные | Ластик 1х1 | 2 | 1 | 8 |
| | Трубчатая гладь | 1 | 1 | 8 |
| | Фанг | 2 | 1 | 16 |
| | Полуфанг | 2 | 2 | 14 |
| | Переплетение №3 | 2 | 2 | 18 |

Существует точка зрения, базирующаяся на исследовании свойств трикотажа в свободном состоянии, о высокой растяжимости вязаной структуры за счёт свободного смещения точек контакта между петлями [39]. Относительно комбинированного переплетения №3, можно предположить, что за счёт значительного количества точек контакта и силы трения $F_{Tp}$, которая возникает в этих точках при растяжении, равнодействующая разнонаправленных сил $R$ в

структуре трикотажа становится равна нулю, в результате система переплетения приходит в стабильное равновесие, когда сила трения $F_{Тр}$ становится равной силе упругости $F_{упр}$:

$$F_{Тр} = F_{упр},$$

где сила трения $F_{Тр}$ в точках контакта зависит от степени жёсткости нитей.

В результате достигнутого стабильного равновесия системы, трикотажное переплетение №3, имеющее 18 точек контакта на раппорт, образует и сохраняет неизменной устойчивую пространственную форму без дополнительного закрепления. Таким образом, к достоинствам комбинированного переплетения №3 на базе трубчатой глади с межслойными протяжками-распорками, выработанного из высокомодульной нити Русар, можно отнести не свойственный трикотажным переплетениям постоянный во времени «эффект памяти».

Существует прямая физико-механическая зависимость между прочностью композиционных материалов и количеством точек контакта в трикотажном переплетении наполнителе, которая была выявлена в работе [39]. Автор работы [39] использовал только кулирные переплетения гладь и ластик, а проведённые им опыты доказывают, что композиционный материал, армированный трикотажем этих переплетений прочнее КМ без армирования. И, хотя количество точек контакта между петлями переплетений гладь и ластик 1х1 сравнительно мало – 4 и 8 соответственно, однако использование данных переплетений в качестве матрицы дало значительное упрочнение композиционного материала.

Учитывая все ранее отмеченные факторы, закономерно предположить, что трикотаж комбинированного переплетения №3, имеющий 18 точек контакта и межслойные протяжки-распорки, выполненный из высокомодульной нити Русар 58,8 текс, помещённый в среду связующего, сможет реализовать синергию лучших физико-механических свойств высокомодульных нитей и прочности трёхмерной конструкции упругой петельной структуры в составе композиционного материала при восприятии внешних нагрузок различного характера.

## Выводы по четвёртой главе

1. Установлено, что при прохождении нити Русар через петлеобразующие органы вязальной машины возникает ворсистость распушённой на филаменты нити, препятствующей движению каретки. Данная технологическая сложность устраняется путём парафинизации, которая обеспечивает полную вязальную способность нити при петлеобразовании.
2. Экспериментально установлено, что наличие в структуре двойного трикотажа соединительных элементов «распорок», расположенных под углом $45^0$ и $90^0$ между слоями трикотажа, и соединяющих петельные слои, оказывает значительное влияние на физико-механические свойства полотна и его сопротивляемость нагрузкам.
3. Экспериментально установлено, что соединительные «распорки», работающие в структуре трикотажа как «упругие стержни», повышают устойчивость трикотажного материала растягивающим нагрузкам.
4. Реализована задача по разработке трикотажа из высокомодульных нитей с новыми физико – механическими свойствами.
5. Получена распорчатая структура трикотажа из высокомодульной нити Русар с устойчивой формофочной способностью и постоянным во времени «эффектом памяти» трикотажного материала без пространственной фиксации.
6. Установлено, что выработка из высокомодульной нити разработанных переплетений позволяет получать качественные трикотажные материалы с заданными эксплуатационными свойствами и повышенными физико-механическими показателями.
7. Установлено, что выработку разработанных переплетений из высокомодульной нити Русар можно производить на полуавтоматическом и ручном трикотажном оборудовании.

# Заключение

1. Разработаны новые распорчатые структуры двойного кулирного трикотажа на основе схемы строительной плоской фермы для обеспечения заданных физико-механических свойств поверхностей пространственных форм.
2. Разработаны технологии вязания полученных конструкций трикотажа на ручном плосковязальном оборудовании.
3. С целью исследования физико-механических свойств разработанных структур трикотажа при действии внешних нагрузок, изготовлены распорчатые конструкции с элементами неизменяемой строительной плоской фермы «стойка» и «раскос», реализованные в петельной структуре в форме межслойных протяжек-распорок, расположенных под углами $45^0$ и $90^0$ к петельным слоям.
4. Выявлена зависимость прочности конструкции трикотажа от наличия в петельной структуре протяжек-распорок между двумя слоями трикотажа.
5. Разработаны технологии вязания спроектированных конструкций трикотажа из высокомодульных нитей Русар линейной плотности 58,8 текс на ручном плосковязальном оборудовании.
6. Проведены исследования физико-механических свойств трикотажных полотен из высокомодульных нитей Русар и определена зависимость прочности конструкций трикотажа от использования высокомодульной нити.
7. Экспериментально установлена целесообразность использования высокомодульных нитей для выработки конструкций распорчатого 3-D трикотажа технического назначения.
8. Экспериментально установлена целесообразность использования разработанных конструкций распорчатого трёхмерного трикотажа из высокомодульных нитей с элементами неизменяемой строительной плоской

фермы в виде протяжек-распорок типа «стойка» и «раскос» для получения изделий пространственных форм.

9. Экспериментально получены стабилизированные пространственные формы конструкций из распорчатого трикотажа с межслойными протяжками-распорками, выработанного из высокомодульных нитей.

# Перспективы использования конструкции комбинированного переплетения с протяжками-распорками и дальнейшей разработки темы

Создана пространственная конструкция двойного кулирного комбинированного переплетения на базе трубчатой глади. Данная конструкция имеет межслойные протяжки-распорки, соединяющие слои трикотажа под некоторым углом, что повышает его физико-механические свойства, и увеличивает возможности технического трикотажа отвечать требованиям высокопрочных конструкционных текстильных материалов.

Разработанные конструкции распорчатого переплетения №2 и №3 можно использовать в обивочных износостойких материалах, в медицинской отрасли, в спортивном текстиле, в амортизирующих прокладочных материалах, композиционных материалах и в строительстве.

В настоящее время в современных силовых конструкциях чаще других материалов применяются волокнистые композиционные материалы, имеющие уникальное сочетание лёгкости, гибкости, высокой прочности и вязкости разрушения [12, 20, 22], . Исследование различных подходов к формированию армирующей пространственной структуры даёт нам возможность значительно расширить спектр использования композиционных материалов.

Трехмерный трикотаж переплетения №3 имеет два внешних слоя и внутреннюю систему межслойных протяжек. Каждую из этих систем можно вязать разными техническими нитями, изменяя параметры трикотажа, его назначение и функциональные особенности. Внутреннюю систему, состоящую из двух видов протяжек, так же можно выполнить разными нитями, расширяя тем самым возможности конструкции.

Так, например, можно изменять степень проницаемости слоёв, используя свойства сверхпрочных и высокомодульных нитей с разными физико-

механическими характеристиками, и создавать гидрофильный или гидрофобный материал, а так же хемостойкий.

Применяя разные сочетания видов нитей в структурных слоях конструкции, можно создавать трикотаж с заданными физико-механическими свойствами, например, создавать упругий Е-трикотаж с токопроводящими элементами, которые могут располагаться во внутреннем межслойном протяжечном пространстве.

Возможно использование распорчатого трикотажа комбинированного переплетения №3 в медицине, в качестве фиксирующей повязки, создавая компрессию любой степени и местную компрессию в частности. А также, в качестве раневых повязок, и при этом, местного ограничителя давления на область раны за счёт регуляции плотности вязания (уплотнённой структуры по контуру поражённой области, и разреженной структуры непосредственно над повреждёнными тканями). Возможно использование в зоне раны другого вида нитей, к примеру натуральных, пропитанных ранозаживляющим веществом или кетгута, нитей не требующих последующего удаления.

Распорчатый трикотаж комбинированного переплетения №3, имеющий пространственную структуру, и показавший упругие свойства распорок при испытаниях, может быть использован в качестве утеплительного материала для зимней одежды. Так же, и в качестве основного материала одежды (утепляющего, защищающего, изолирующего), в зависимости от состава сырья. На верхний слой трикотажа (или на оба слоя, по назначению) может быть нанесено покрытие – водоотталкивающее, воздухопроницаемое, мембранное, огнеупорное и другие.

Применение при выработке распорчатого трикотажа переплетения №3 традиционного сырья, натуральных и экологичных, гиппоалергенных видов нитей даёт возможность его использования в производстве поддерживающего белья, верхних прокладочных слоёв матрасов и обивки, где требуется воздухопроницаемая амортизирующая поверхность.

Ещё одним примером использования распорчатого комбинированного переплетения №3 в качестве армирующего строительного каркаса могут быть

цельно-вязанные арочные конструкции с последующим закреплением их каким-либо наполнителем.

При использовании данного переплетения в качестве матрицы композиционного материала, наполненного связующим, фиксированная конструкция трикотажного каркаса позволит принявшему форму затвердевшему наполнителю не испытывать значительных внутренних напряжений от релаксационных процессов текстильного материала, неизбежно протекающих после снятия нагрузки в матрицах ручного принудительного формования ткани [12, 22].

На рисунке 4.29 представлена арка из комбинированного переплетения №3 и формируемая вручную деталь из тканого материала.

а) б)

Рисунок 4.29 – Степень формовочной способности армирующего материала:
а) пространственная форма арки из трикотажного полотна переплетения №3;
б) ручное формование детали из углеткани.

В силу структурных особенностей и формовочной способности выработанного переплетения, имеющего «эффект памяти» (см. главу 4), трикотаж сохраняет заданную форму без изменения линейных размеров за счёт точек контакта петель и сил трения, такому трикотажу не требуются временное закрепление и пространственная фиксация. Следует добавить, что цельновязаная трикотажная деталь не требует ручной формовки на макете.

В технических изделиях из композиционных материалов, несущих высокие механические нагрузки, ограничено применение традиционных трикотажных структур из-за сравнительно невысоких величин объемного заполнения композита одним слоем наполнителя – около 35%, в зависимости от толщины переплетения. Такой показатель примерно вдвое ниже предельного объемного заполнения армирующими ткаными материалами, уложенными в несколько слоёв. Многослойный пакет представляет основную опасность сдвиговых деформаций и расслоения композита [12, 22]. Поэтому актуальный путь для создания новых композиционных материалов представляют объёмные трикотажные каркасы пространственной структуры, имеющие толщину 20 – 50 мм [1].

Сравнить толщину образцов трикотажа традиционных переплетений и переплетения №3 выполненных из нити Русар 58,8 текс можно в таблице 4.17, где приведены средние значения, представленные по пяти образцам.

Таблица 4.17 – Толщина h, мм трикотажа из нити Русар 58,8 текс

| Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Перепл. №3 |
|---|---|---|---|---|
| 0,44 | 0,87 | 2,5 | 1,97 | 4,27 |

Данные таблицы 4.17 показывают, что трикотажное переплетение №3 из нити Руса 58,8 текс имеет толщину 4,27 мм и может обеспечить армирование одним слоем. Толщину трикотажного наполнителя можно увеличить за счёт плотности вязания, и, если взять нити большей линейной плотности; так, при использовании нити Русар 168 текс, толщина трикотажа увеличивается до 9 мм.

Известно, что высокая пористость трикотажа обеспечивает интенсивную пропитку матрицы связующим [12, 22]. Общая пористость переплетения №3 из нити Русар 58,8 текс – 87%.

К преимуществам разработанной комбинированной трикотажной структуры №3 можно отнести высокое объемное наполнение трикотажа – 57,95 %, насыщенный уплотнённый петельный застил внешних слоёв с поверхностной плотностью 428,3 г/м$^2$, а так же прогнозируемую упорядоченную ориентацию

петель и протяжек. Сравнить средние значения поверхностной плотности переплетений из нити Русар 58,8 текс можно в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Поверхностная плотность трикотажа $P_S$, г/м$^2$

| Гладь | Трубчатая гладь | Ластик 1х1 | Фанг | Перепл. №3 |
|---|---|---|---|---|
| 101,62 | 208,6 | 291,1 | 164,65 | 428,27 |

Из данных таблицы вседует, что переплетение №3 имеет самую плотную структуру в группе выработанных переплетений. Такая уплотнённость петельного застила получена за счёт увеличенного количества протяжек, дуги которых расположены на каждой петле внешнего петельного слоя. Графическая схема комбинированной структуры №3 приведена в главе 2.

В качестве расширении сфер применения технического трикотажа, интересно исследование возможности использования комбинированного переплетения №3 в качестве основы для средств баллисической защиты (бронежилетов, бронешлемов, щитов и др.) наряду с ткаными наполнителями. Для этого необходимо проводить дальнейшие исследования физико-механических характеристик трикотажа из нитей Русар, имеющего структуру повышенной плотности и прочности при баллистических испытаниях, и сравнить результаты с известными результатами подобных испытаний, проведённых с тканями из аналогичного сырья [2, 69].

Из работы Юхина С.С. [2] известно, что при производстве средств баллистической защиты из пара- и мета-арамидных тканей образуется большое количество отходов, так называемых межлекальных выпадов, являющихся источником ценного и дорогостоящего сырья. По сравнению с тканями трикотаж имеет важное преимущество для сохранения ценных сырьевых ресурсов – возможность вывязывать детали без подкроя и дополнительных операций, путём изменения параметров трикотажа, использования вязальных операций и возможностей современной программируемой вязальной техники.

Производство текстильных изделий технического назначения является одним из наиболее востребованных направлений развития современной текстильной

промышленности [2]. К данной категории текстиля относится трикотаж из высокопрочной арамидной нити Русар 58,8 текс. Дальнейшее развитие данного направления позволит реализовать потенциал разработанных трикотажных переплетений, в том числе, и в качестве армирующего трикотажа для изготовления средств индивидуальной защиты.

В последние годы разработка композиционных материалов на основе растительных волокон – «green composite» – является интересным, перспективным направлением [3]. В этой связи целесообразно предложить использовать в качестве сырья для разработанных конструкций натуральные грубые волокна растительного происхождения – лён и коноплю. Поскольку растительное сырьё относится к наиболее дешёвым воспроизводимым ресурсам с отлаженным циклом переработки, то его использование могло бы значительно снизить себестоимость производства композиционных материалов.

Очень важно, что для переработки льняной пряжи на вязальном оборудовании не требуется нанесения и удаления аппретирующих веществ, что значительно упрощает процесс вязания. Упрощается так же процесс производства композиционного материала, поскольку из цепочки исключаются две технологические операции.

Армирующий каркас, полученный из грубых льняных нитей, будет лучше взаимодействовать с матричным наполнителем, и следовательно, улучшится адгезия на границе двух сред в композите.

# Словарь терминов

**аддитивность:** (от лат. additivus — «прибавляемый») Свойство величин, состоящее в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям.

**адгезия:** (с лат. adhaesio – притяжение, сцепление, прилипание) Явление соединения приведенных в контакт поверхностей.

**анизотропность:** (ἄνισος — неравный и τρόπος — направление) Различие свойств среды (напр., физических: упругости, электропроводности, скорости звука или света и др.) в различных направлениях внутри этой среды; в противоположность изотропии. Степень анизотропии может различаться в отношении разных свойств среды: в отношении одних свойств среда может быть изотропна, а в отношении других анизотропна.

**армирующий наполнитель, наполнитель, преформа:** (*арматура*, *армирующий элемент*) Компонент композиционного материала, разъединённый в объёме композиции, улучшающий физико-механические характеристики изделий.

высокомодульные волокна: (Сверхпрочные волокна), химические волокна, модуль упругости которых превышает 50 – 70 ГПа, прочность превышает 100 – 150 сН/текс. В. в. получают на основе гибкоцепных полимеров (сверхвысокомолекулярного полиэтилена, поливинилового спирта), жесткоцепных ароматич. полимеров и сополимеров параструктуры (ароматич. полиэфиров, полиамидов, полиамидобензимидазолов, полиимидов), углеродных полимеров.

**градиент:** Это вектор, своим направлением указывающий направление наибольшего возрастания некоторой величины.

дискретность: (от лат. discretus – разделённый, прерывистый) Прерывность, свойство, противопоставляемое непрерывности.

**диспергирование:** (от лат. dispergo – рассеиваю, рассыпаю) Тонкое измельчение твёрдых тел и жидкостей в окружающей среде, приводящее к образованию дисперсных систем; порошков, суспензий, эмульсий. Диспергирование жидкостей в газах (воздухе) обычно называется распылением, а в жидкостях – эмульгированием.

**изотропи́я, изотро́пность:** (из др.-греч. ἴσος «равный, одинаковый, подобный» + τρόπος «направление») Одинаковость физических свойств во всех направлениях, инвариантность, симметрия по отношению к выбору направления (в противоположность анизотропии).

**квази:** (от лат. quasi — как будто, будто бы) Первая часть сложных слов, образующая имена существительные или прилагательные. Вносит значения: мнимый, ложный, ненастоящий. Например, сущ. – *квазигеро́й, квазиискýсство, квазинаýка,* прил. – *квазиодинарный, квазинаучный, квазиалмазный).*

**кетгут:** Саморассасывающийся хирургический шовный материал, который изготовляют из очищенной соединительной ткани, полученной либо из серозного слоя кишечника крупного рогатого скота, либо из подслизистой оболочки кишечника овец.

**комбинато́рика:** (комбинаторный анализ) Раздел математики, изучающий дискретные объекты, множества (сочетания, перестановки, размещения и перечисления элементов) и отношения на них (например, частичного порядка).

**композиционные материалы (композиты, КМ):** Композиционные материалы состоят из двух и более компонентов – дискретных элементов и связующей матрицы. Соединённые вместе разнородные элементы композита работают как один принципиально новый материал. Индивидуальные свойства всех отдельно взятых компонентов КМ количественно и качественно отличаются от свойств получаемого композита. Дискретные элементы могут быть армирующими, или использоваться в качестве пассивного наполнителя для снижения себестоимости композита [40]. В большом энциклопедическом словаре композиты определены как материалы, образованные объёмным сочетанием химически разнородных компонентов с чёткой границей раздела между ними, которые по прочности, жёсткости и другим свойствам превосходят обычные конструкционные материалы [22].

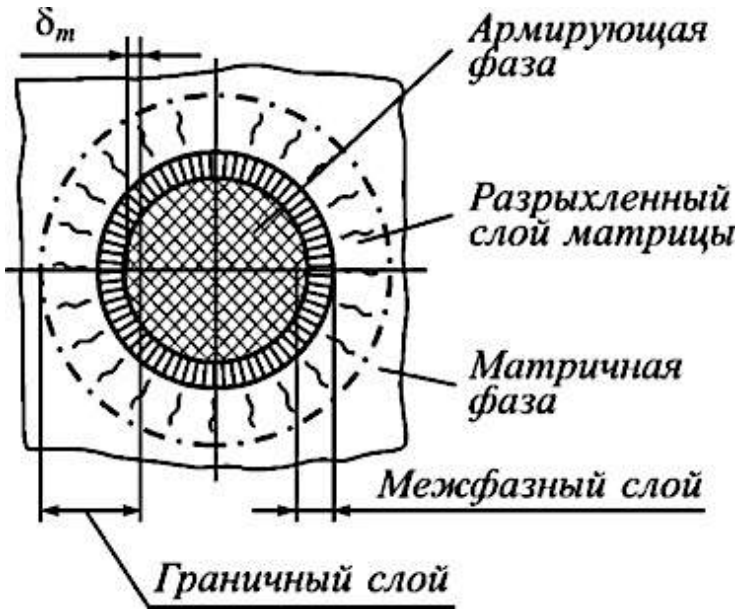



Рисунок А.1 – Модель межфазного слоя в армированном полимере.

**корреляция:** (от позднелат. correlatio — соотношение) Термин, применяемый в различных областях науки и техники для обозначения взаимозависимости, взаимного соответствия, соотношения понятий, предприятий, предметов, функций.

**наполнитель:** См. армирующий наполнитель.

**планиме́трия:** (от латин. *planum* – «плоскость», др.-греч. mετρεω – «измеряю») Раздел евклидовой геометрии, изучающий двумерные (одноплоскостные) фигуры, то есть фигуры, которые можно расположить в пределах одной плоскости: треугольники, окружности, параллелограммы и т.д. Первое систематическое изложение планиметрии было дано Евклидом в труде «Начала».

**поверхность второго порядка:** геометрическое место точек трёхмерного пространства, прямоугольные координаты которых удовлетворяют уравнению вида [135]:

$$\boldsymbol{a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{13}xz + 2a_{23}yz +}$$
$$\boldsymbol{+b_1x + b_2y + b_2z + c = 0}$$

**полуцикловые испытания:** Полуцикловые разрывные характеристики используются главным образом для оценки предельных механических возможностей текстильных изделий. По показателям механических свойств, получаемым при растяжении материала до разрыва, судят о степени сопротивления материала постоянно

действующим внешним силам; показатели разрывной нагрузки и разрывного удлинения являются важными признаками качественности материала. К ним относятся однократное одноосное растяжение, растяжение до разрыва, двухосное и многоосное растяжение, продавливание шариком.

**препрег:** Предварительно пропитанный связующим армирующий непрерывный материал.

**преформа:** См. армирующий наполнитель.

**прикладно́й:** Такой, который имеет чисто практическое значение, применение, который может найти приложение на практике.

**присадка:** Препарат, который добавляется к химическим веществам в небольших количествах для улучшения их эксплуатационных свойств (антипирены, противоизносные, диспергирующие и т.д.).

**репето́ванный:** Страдательное причастие прошедшего времени от глагола репетова́ть, репетую, репетуешь, (франц. répéter) (мор.) – повторить (повторять) (подаваемые кем-нибудь сигналы) в знак того, что они правильно поняты. Репетовать сигналы.

связующее (матрица комозита): (см. матрица) Один из компонентов композиционного материала, обладающий непрерывностью по всему объему изделия и обеспечивающий его монолитность (матрица).

**синерги́я** (др.-греч. Συνεργία – соучастие, содействие): комбинированное воздействие факторов, характеризующееся тем, что их объединённое действие существенно превосходит эффект каждого отдельно взятого компонента и их простой суммы.

**форма:** Оснастка для придания формы, используемая при производстве изделий из композитов.

**хемостойкость:** Устойчивость к разрушающему действию различных химически активных веществ, таких как сильные кислоты, щелочи, растворители и т.д.

**экстраполяция:** Метод научного исследования, заключающийся в распространении выводов, полученных из наблюдения над одной частью явления, на другую его часть или на всё явление в целом, а также в выявлении тенденций и пропорций для перспективных расчётов.

**NFC контроллер:** (near field communication) «коммуникация ближнего поля» или «ближняя бесконтактная связь», компактный контроллер передачи данных. NFC – это беспроводная короткодистанционная технология, которая работает на расстоянии не более 10 сантиметров. Сравним с Bluetooth – технологии связи малого радиуса действия, которые были недавно интегрированы в мобильные телефоны. Существенное преимущество NFC над Bluetooth – более короткое время установки соединения.

# Список литературы


1. Строганов Б. Б. Основы теории и практики вязания многослойного и квазимногослойного трикотажа. – М.: РЗИТЛП, 2003. – 418 с.
2. Юхин С. С. Особенности переработки арамидных нитей и пряжи в ткачестве: монография / С. С. Юхин, С. Д. Николаев, И. В. Рыбаулина, П.Е. Сафронов. – М.: ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2015. – 174 с.
3. Башкова Г.В. Проектирование свойств и разработка технологии производства льносодержащих армирующих трикотажных структур для волокнистых композитных материалов: автореферат диссертации д.т.н.: 05.19.02. Башкова Галина Всеволодовна. – Иваново, 2011. – 53 с.
4. Коржева И.А., Верняева И.Л., Нелюбова Р.Б. Исследование влияния деформации сжатия на толщину армирующих трикотажных полотен // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – М., 2009. – № 4 (319). – 18 с.
5. Пивкина С.И. Разработка технологии трикотажных полотен и изделий из титановых нитей для эндопротезов: диссертация канд. техн. наук: 05.19.02 / Пивкина Светлана Ивановна – М., 2016. – 226 с.
6. Перепёлкин К. Е. Химические волокна: развитие производства, методы получения, свойства, перспективы / Е.К. Перепёлкин. – СПб: Издание СПГУТД, 2008. – 354 с.
7. План мероприятий («дорожная карта») по развитию подотрасли по производству искусственных и синтетических волокон и нитей на период до 2022 года [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.mos.ru/tender/documents/view/232450220/
8. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение: учебник для вузов. 2-е изд. / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьёв, А. И. Кобляков. – М.: Легпромиздат, 1989. – 352 с.

9. Шалов И. И. Технология трикотажа: Учеб. пособие для вузов / И. И. Шалов, Л. А. Далидович. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 376 с.
10. Шалов И. И. Технология трикотажного производства: Основы теории вязания: учеб. пособие для вузов / И. И. Шалов, Л. А. Далидович, Л.А. Кудрявин. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1984. – 296 с.
11. Серпуховитина Т. Ю. Разработка способа создания устойчивых объемных форм одежды из трикотажных полотен: диссертация канд. техн. наук: 05.19.04. Серпуховитина Татьяна Юрьевна. – М., 2003. – 227 с.
12. Чу Т.-В. Тканые конструкционные композиты: Пер. С англ. / Под ред. Т. – В. Чу, Ф. Ко; Пер. с англ. Н. П. Жмудя, В. Л. Кулакова под ред. Ю. М. Тарнопольского; Под общ. ред. В. Д. Протасова. – М.: Мир, 1991. – 430 с.
13. Бондалетова Л. И. Полимерные композиционные материалы. Часть 1: Учебное пособие / Л. И. Бондалетова, В. Г. Бондалетов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. – 111 с.
14. Яблокова М.Ю. Полимерные композиционные материалы: методы получения. Методическое руководство / М.Ю. Яблокова. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011. – 16 с.
15. Кербер М.Л. и др. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технологии: учеб. пособие. – 3-е испр. изд. под ред. Берлина А.А. / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г.С. Головкин – СПб: ЦОП «Профессионал», 2011. – 560 с.
16. Белозеров Б.П. Свойства, технология переработки и применение пластических масс и композиционных материалов: учеб. пособие / Б.П. Белозеров, В.В. Гузеев, К.Е. Перепёлкин. – Томск: Изд. НТЛ, 2004. – 224 с.
17. Матрёнин С. В. Композиционные материалы и покрытия на полимерной основе: Учебное пособие / С. В. Матрёнин, Б. Б. Овечкин – Томск, 2008. – 197 с.

18. Волков И.В. Основные подходы к расчёту и конструированию РТИ и преформ: учебное пособие / И.В. Волклв, С.В. Чагаев, Н.З. Мингалеев – Казань: Изд-во КГТУ, 2009. – 140 с.
19. Перепёлкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты: монография / К.Е. Перепёлкин. – СПб.: Научные основы и технологи, 2009. – 382 с.
20. Труевцев А. В. Армирование композитов кулирным трикотажем из параарамидной нити / А. В. Труевцев, Е.С. Цобкалло, К.А. Молоносов // Курьер. Лёгкая промышленность. – 2013. – № 5. – С. 11.
21. Башков А. П. Анализ механических свойств двухслойных трикотажных полотен с соединительными элементами из индивидуальных нитей / А. П. Башков, Г. В. Башкова, Д. А. Алёшина, О. С. Румянцева // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 1. – С. 111.
22. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов / В.В. Васильев. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
23. Трофимов Н.Н. Основы создания полимерных композитов / Н.Н. Трофимов, М.З. Казанович. – М.: Наука, 1999. – 539 с.
24. Справочник по композиционным материалам в двух книгах. Книга вторая; редактор Дп. Бут, – М.: Изд-во «Машиностроение», 1988. – 560 с.
25. Васильев В.В. Композиционные материалы: Справочник под общ. Ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
26. Шаповалов В.М. Введение в механику течения волокнонаполненных композитов / В.М. Шаповалов, С.В. Лапшина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 176 с.
27. Шеромова И.А. Текстильные материалы: получение, строение, свойства: Учебное пособие / И.А. Шеромова. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2006. – 220 с.

28. Шакирзянов Р.А. Курс лекций по строительной механике: Учебное пособие. 2-е изд. / Р.А. Шакирзянов, Ф.Р. Шакирзянов. – Казань: КГАСУ, 2014. – 144 с.
29. Дарков А.В. Строительная механика: Учеб. для строит. спец. вузов. – 8-е изд. / А. В. Дарков, Н. И. Шапошников – М.: Высшая Школа, 1986. – 607 с.
30. Хабарова Е.Б., Зававруев В.А., Фомина О.П. Разработка структур и технологии выработки армирующих трикотажных полотен // Симпозиум МНТФ КОСЫГИН-2017. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2017. – С. 262 – 265.
31. Кудрявин Л.А. Лабораторный практикум по технологии трикотажного производства: Учеб. для вузов. / Л. А. Кудрявин. – М.: РИО МГТУ, 1999. – 476 с.
32. История и философия науки. Рабочая тетрадь для магистрантов и аспирантов: Методические указания / Сост. Л.Е. Яковлева, О.В. Ковалева – М.: МГУДТ, 2015. – 24 с.
33. Лебедев С.А. Основы философии науки / С.А. Лебедев, А.Н. Абдулов, В.Г. Борзенков, Ф.В. Лазарев, Л.В. Лесков, Э.М. Мирский, Б.Г. Юдин; под ред. проф. С.А. Лебедева: Учебное пособие для вузов. – М.: Академический проект, 2005. – 544 с.
34. Стёпин В.С. Философия науки. Общие проблемы: учебник для аспирантов и соискателей учёной степени кандидата наук / В.С. Стёпин. – М.: Гардарики, 2006. – 384 с.
35. Хабарова Е.Б. Двухслойный кулирный трикотаж с участками ажурных отверстий различной структуры / Е.Б. Хабарова, О.П. Фомина, В.А. Заваруев // Известия высших учебных заведений. Технолллогия текстильной промышленности. – 2019. – № 5(383). – С. 151 – 154.
36. Хабарова Е.Б. Разработка отдельных видов трикотажных полотен для композиционных материалов / О.П. Фомина, Е.Б. Хабарова, В.А. Заваруев, С.А. Пивкина // Дизайн, технологии и инновации в

текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018): сборник материалов Международной научно-технической конференции. Часть 1. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2018. – 257 с., С. 240.

37. Хабарова Е.Б. Исследование проницаемости эпоксидной смолы в структуру армирующего трикотажного полотна / О.П. Фомина, Е.Б. Хабарова, В.А. Заваруев // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018): Сборник материалов Международной научно-технической конференции. Часть 1. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2018. – 257 с., С. 244.
38. Шустов Ю.С. Основы научных исследований текстильных материалов: монография / Ю.С. Шустов. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2012. – 122 с.
39. Молоснов К.А. Разработка трикотажных полотен для армирования композиционных материалов: дис. канд. техн. наук: 05.19.02, 05.19.01/ Молоснов Константин Александрович. – СПб, 2013. – 180 с.
40. Сидоренко Ю.Н. Материаловедение. Конструкционные и функциональные волокнистые композиционные материалы: учебное пособие / Ю.Н. Сидоренко. – Томск: ТГУ, 2006. – 122 с.
41. Чернин И.З. Эпоксидные полимеры и композици / И.З. Чернин, Ф.М. Смехов, Ю.В. Жердев. – М.: Химия, 1982. – 232 с.
42. Тарнопольский Ю.М. Пространственно-армированные композиционные материалы: Справочник / Ю.Н. Тарнопольский, И.Г. Жигун, В.А. Поляков – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.
43. Алентьев А.Ю. Связующие для полимерных композиционных материалов: Методическое руководство / А.Ю. Алентьев, М.Ю. Яблокова. – М.: МГУ имени М. В. Ломоносова, 2010. – 69 с.
44. Лунев В.А. Математическое моделирование и планирование эксперимента: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2012 . – 154 с.

45. ГОСТ 8844–75 Полотна трикотажные. Правила приёмки и метод отбора образцов. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 7 с.
46. ГОСТ 12023–2003. Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения толщины. – М: Стандартинформ, 2005. – 8 с.
47. ГОСТ 11358–89. Толщиномеры и стенкомеры индикаторные с ценой деления 0,01 и 0,1 мм. – М: Стандартинформ, 2005. – 8 с.
48. ГОСТ 8845-87 Полотна и изделия трикотажные. Методы определения влажности, массы и поверхностной плотности. – М.: Издательство стандартов, 1989.
49. ГОСТ 10681-75 Материалы текстильные. Климатические условия кондиционирования и испытания проб и методы их определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 30 с.
50. Кукин Г.Н. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьёв, Ф. Х. Садыкова. – М.: Лёгкая индустрия, 1974. – 390 с.
51. Шалов И.И. Основы проектирования трикотажного производства с элементами САПР: учеб. для вузов / И. И. Шалов, Л. А. Кудрявин. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 288 с
52. Пучков Н.П. Математическая статистика. Применение в проофессиональной деятельности: учебное пособие / Н. П. Пучков. – Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 80 с.
53. Матвеев Е.М. Методические указания и типовое задание по теме «Статистическая обработка результатов наблюдений» / Е.М. Матвеев. – М.: РИО МГТУ, 2003. – 40 с.
54. ГОСТ 8847–85 Полотна трикотажные. Методы определения разрывных характеристик и растяжимости при нагрузках, меньше разрывных. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 8 с.
55. Труевцев А.В. Теоретические основы проектирования параметров кулирного трикотажа и разработки технологических режимов его производства с учётом деформационных свойств нитей и полотен:

автореф. дис. доктора техн. наук / Труевцев Алексей Викторович. – СПб: СПбГУ технологии и дизайна, 1998. – 38 с.

56. Давыдов А. Ф. Текстильное материаловедение: учебное пособие / А.Ф. Давыдов. – М.: РЗИТЛП, 1997. – 168 с.
57. Флерова Л.Н. Материаловедение трикотажа / Л.Н. Флерова, Г.И. Сурикова. – М.: Изд-во Легкая индустрия, 1972. – 184 с.
58. Севостьянов А.Г. Механическая технология текстильных материалов: Учеб. для ввузов / А.Г. Севостьянов, Н.А. Осьмин, В.П. Щербаков. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 512 с.
59. Перепёлкин К.Е. Новые перспективные технологии и новые виды волокон и волокнистых материалов в XXI веке / К.Е. Перепёлкин // Рынок лёгкой промышленности. – 2005. – №43.
60. Гальбрайх Л.С. Химические волокна / Л.С. Гальбрайх // Соровский образовательный журнал – 1996. – №3, С. 42.
61. Степанова А.Б. Влияние условий эксплуатации на механические свойства параарамидных нитей: диссертация канд. техн. наук: 05.19.01. Степанова Анна Борисовна. – СПб, 2014. – 243 с.
62. Ибатуллина А.Р. Обзор производителей и сравнение свойств сверхпрочных высокомодульных волокон / А.Р. Ибатуллина // Журнал Вестник Казанского технологического университета 21, Том 20. – Казань, 2014, – С. 136 – 139.
63. А. Азимов. Краткая история химии. Пер. с англ. // А. Азимов. – М.: Мир, 1983. – 190 с.
64. Мусина Т.К. В мире оборудования [Электронный ресурс] / Т.К. Мусина, А.В. Волохина, А.М. Щетинин // Легпром-Бизнес. Информационный портал, 2010. – Режим доступа: http://legprom.net/?id=4915/.
65. Конкин А.А., Кудрявцев Г.И., Щетинин А.М. Термо-, жаростойкие и негорючие волокна; Под ред. А.А. Конкина. – М.: Химия, 1978. – 422 с.

66. Кудрявцев Г.И. Армирующие химические волокна для композиционных материалов / Г.И. Кудрявцев, А.М. Щетинин; под ред. Г.И. Кудрявцева. – М.: Химия, 1992. – С. 25–198.
67. Мельников Б.Н. Прогресс текстильной химии / Б.Н. Мельников. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 240 с.
68. Берлин А.А. Полимерные конструкционные материалы: структура, свойства, технологии: учебное пособие / А.А. Берлин. – 3-е изд. под ред. А. А. Берлина. – СПб.: ЦОП Профессия, 2011. – 560 с.
69. Железина Г.Ф. Лёгкие конструкционные органопластики, стойкие к ударным и баллистическим воздействиям. Все материалы [Электронный ресурс] / Г.Ф. Железина, И.В. Зеленина, Н.Ф. Лукина, Л.Г. Орлова, В.В. Сидорова // ГНЦ ВИАМ: Энциклопедический справочник. – 2007. – №8. – Режим доступа: https://www.viam.ru/public/index.php?year=2007
70. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов: Учеб. для вузов в 3 т., т.1 / Г.Е. Кричевский. – М., 2000. – 298 с.
71. Арамидные волокна. [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://studbooks.net/2544819/tovarovedenie/aramidnye_volokna
72. Железина Г. Ф. Арамидные волокна третьего поколения Русар НТ для армирования органотекстолитов авиационного назначения // Г. Ф. Железина, И. В. Тихонов, Т. Е. Черных, В. Г. Бова, С. И. Войнов. Пластические массы. [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.plastics-news.ru/jour/article/view/362.
73. Большая энциклопедия нефти и газа. [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.ngpedia.ru/id574757p1.html.
74. Высокотермо-огнестойкие полиимидные волокна Аримид, Пион, Твим. Продукция ООО Лирсот [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.lirsot.ru/produkt_arimid.htm.
75. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты // К.Е. Перепелкин. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 380 с.

76. Перепелкин К. Е. Структура и свойства волокон / К.Е. Перепелкин. – М.: Химия, 1985. – 208 с.
77. Перепелкин К. Е. Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной промышленности / К.Е. Перепелкин. // Российский химический журнал (Жур. Рос. хим. общества им. Д.И. Менделеева). – 2002. – т. 46, № 1. – С. 31 – 48.
78. Ткаченко Э.В. Создание и исследование свойств композитов на основе полиамидов: алифатического-ПА-6 и ароматического-фенилона С-1: дис. канд. техн. наук 05.17.06 / Ткаченко Элла Владимировна. – Воронеж, 2014. – 176 с.
79. Мелешко А.И., Половников С.П. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты. – Изд-во САЙНС-ПРЕСС, 2007. – 192 с.
80. Варшавский В.Я. Углеродные волокна. – М.: Изд-во Москва, 2005. – 467 с.
81. Джигирис Д.Д., Махова М.Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 416 с.
82. Разумовский В. К., Разумовская Н.Е., Бадалова Э.И., Кондратенкова С.В. Технология текстильного стекловолокна (получение и переработка) – М.: Химия, 1966 – 328 с.
83. Мусина Т.К., Волохина А.В., Щетинин А.М., Оприц З.Г., Ивашова В.А., Кия-Оглу В.Н., Педченко Н.В. Полиимидные и арамидные волокна и нити со специальными свойствами и изделия на их основе // Волокна и нити. В мире оборудования. – 2010. – №2 (91) – С. 4 – 8.
84. Кудрявин. Л.А. Основы теории трикотажного производства: Учебное пособие для вузов / Л.А. Кудрявин, И.И. Шалов. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 496 с.
85. Князькин С.В. Разработка технологии создания текстильных армирующих компонентов композиционных материалов применяемых в атомной промышленности: дис. канд. техн. наук: 05.19.02 / Князькин

Станислав Валерьевич – Димитровград: ДИТИ – филиал НИЯУ МИФИ, 2015 – 175 с.

86. Торкунова З.А. Испытания трикотажа. 2-е изд., перераб. / З.А. Торкунова. – М.: Легпромиздат, 1985. – 200 с.
87. Ткаченко Э.В., Буря А.И., Толстенко Ю.В. Свойства композитов на основе полиамидов: Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского / Э.В. Ткаченко, А.И. Буря, Ю.В. Толстенко // Бология. Химия. Том 4 (70). – 2018. № 1. – С. 202 – 215
88. Антонов Г.К., Антонов А.Г. Ремонт и обслуживание отечественных и зарубежных ручных трикотажных машин: справ. – М.: Легпромбытиздат, 1992. – 144 с.
89. Колтунова М.А. Прочностные расчёты изделий из полимерных материалов / М.А. Колтунова, В.П. Майборода, В.Г. Зубчанинов. – М.: Машиностроение, 1983. – 239 с.
90. Башкова Г.В., Чистобродов Г.И., Башков П.А., Натёртышев Н.Ю. Анизотропия структуры и свойств ниточных наполнителей композиитов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2010. – №7 (328), – С. 80 – 84.
91. Гусев В.Е. Химические волокна в текстильной промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1971. – 408 с.
92. Назарова М.В. Математическое моделирование технологического процесса выработки ткани военного назначения [Электронный ресурс] / М.В. Назарова, Т.Л. Фефелова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11 (часть 5) – с. 741 – 745. – Режим доступа: https://applied-research.ru/ru/article/view ?id=6218.
93. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для втузов. – 10-е изд., перераб. и доп. / С.М. Тарг. – М.: Высшая школа, 1986. – 416 с.

94. Прохоров А М. Большой энциклопедический словарь в 2 – х томах / А.М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1991. – 1630 с.

95. Богомолов П.И. Обзор современных технологий изготовления объёмно-армирующих преформ для перспективных композиционных материалов / П.И. Богомолов, И.А. Козлов, М.А. Бируля. // Технико-технологические проблемы сервиса. – СПб ГЭУ, 2017. – №1 (39) – С. 237.

96. Шалов И.И. О роли размеров и формы образцов при испытании трикотажа на растяжение / И.И. Шалов. – М.: Гизлегпром, 1955. – С. 110 – 127.

97. Кобляков А. И. Структура и механические свойства трикотажа. Учебное пособие для вузов // А. И. Кобляков. – М.: Легкая индустрия, 1973. – 239 с.

98. Кобляков А.И. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.И. Кобляков, Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев. – М.: Легкая промышленность и бытовое обслуживание, 1986. – 344с.

99. Статистика. Курс лекций. [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://stat-ist.ru/statistika-kurs-lektsij/statistika-kurs-lektsij.

100. Букина Ю.А. Методы контроля качества текстильных материалов. Определение физико-механических характеристик и поверхностных свойств [Электронный ресурс] / Ю.А. Букина, Е.А. Сергеева // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-kontrolya-kachestva-tekstilnyh-materialov-opredelenie-fiziko-mehanicheskih-harakteristik-i-poverhnostnyh-svoystv

101. Филичева Т.В., Заваруев В.А., Викторов В. Н., Боровков В. В. Формообразование трикотажа со сброшенными петлями // Известия вузовов. Технология текстильной промышленности. – 2013. - №2 (234), с. 101 – 104.

102. Башков А. П., Башкова Г.В., Алёшина Д.А., Соколова С.В. Проектирование основных свойств трикотажных геополотен // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №3 (345). – С. 159 – 163.

103. Хабарова Е. Б., Фомина О.П., Заваруев В.А. Исследование влияния деформационных нагрузок на физико-механические свойства трикотажных полотен // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021. – № 1 (391). – С. 89 – 94.

104. Хабарова Е. Б., Фомина О.П., Заваруев В.А. Разработка структуры и технологии выработки армирующего трикотажного полотна крупноячеистой структуры // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2020. – № 2 (392). – С. 73 – 76.

105. Юркевич В.В. Технология производства химических волокон / В. В. Юркевич, А.Б. Пакшвер. – М.: Химия, 1987. – 304 с.

106. Сафонов В.В. Современные направления в химической технологии текстильных материалов. Химическая классификация // Текстильная промышленность. – 2002. – № 4. – С. 31 – 23.

107. Прогноз развития ассортимента и объемов химических волокон и нитей // Текстильная промышленность. – 2003. – № 3. – С. 43 – 44.

108. Айзенштейн Э.М. Производство химических волокон: новые скорости, новые возможности / Э.М. Айзенштейн. // Текстильная промышленность. – 1999. – №7. – С. 45 – 47.

109. Мост Акаси-Кайкё регрессии [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Акаси-Кайкё.

110. Висячий мост Акаси-Кайкё (Akashi Kaikyo) регрессии [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://yandex.ru/turbo/stroyone.com/s/stroitelstvo-mostov/visyachiemosty/visyachij-most-akasi-kajkyo-akashi-kaikyo.html

111. Рабинович И.М. Кинематический метод в строительной механике / И.М. Рабинович. – М.: Изд-во МВТУ, 1928. – 407 с.

112. Смирнов А.Ф. Строительная механика. Стержневые системы: Учебник для вузов / А.Ф. Смирнов, А.В. Александров, Б.Я. Лащеников, Н.Н. Шапошников; под ред. А.Ф. Смирнова. – М.: Стройиздат, 1981. – 512 с.

113. Patent US 7090651 B2. Compression brace material with spacer fabric inner layer, США, заявл. 09.01.2003, опубл. 15.08.2006.

114. Veerakumar Arumugam. Knitted Spacer Fabrics for Multi-Functional Applications. Technical University of Liberec // Faculty of Textile Engineering. – Liberec, 2017. – 60 p.

115. Yuanwan Liu. Dynamic Response of 3D Biaxial Spacer Weft-knitted Composite under Transverse Impact / Yuanwan Liu, Lihua Lv, Baozhong Sun, Hong Hu, Bohong Gu // Journal Of Reinforced Plastics And Composites, Vol. 25. – 2006. – № 15 – P. 1628 – 1641.

116. Patent US 0049870 A1. Knitted Spacer Fabric And Method For The Production Thereof, США, заявл. 31.07.7007, опубл. 26.02.2009.

117. Fangyu Han. Improvement of mechanical properties of concrete canvas by anhydrite-modified calcium sulfoaluminate cement / Fangyu Han, Huisu Chen, Xiangyu Li, Buchuan Bao, Tao Lv, Wulong Zhang, Wen Hui Duan // Journal of Composite Materials – DOI: 10.1177/0021998315597743. – 2015. – 14 p.

118. Patent US 2014/0000319 A1. Knit Spacer Fabric For Motor-Vehicle Interior. США, заявл. 07.07. 2013, опубл. 02.01.2014.

119. Haiyan L. Preparation and self-healing performance of epoxy composites with microcapsules and tungsten (VI) chloride catalyst [Электронный ресурс] / L. Haiyan, W. Rongguo, L. Wenbo // Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 31. – 2012. – №13. – P. 924 – 932. – Режим доступа:

https://www.semanticscholar.org/paper/Preparation-and-self-healing-performance-of-epoxy-Haiyan-Rongguo/6111f26fe73d6d1a50f8522ff4fe0b47e2f4a97e

120. Knitting Industry [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.knittingindustry.com/stolls-adf-technology-a-new-dimension-in-flat-knitting/

121. Patent Patent US 6755052 B1. Knitted stretch spacer material and method of making, США, заявл. 16.01.2003, опубл. 29.01.2004.

122. Science Direct [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/topics /engineering/spacer-fabric

123. N. Gokarneshan. Role of Knit Spacer Fabrics in Treatment of Pressure Ulcers [Электронный ресурс]. // Global Journal of Addiction & Rehabilitation Medicine – 2018. – №5(5): 555675. – Режим доступа: https://juniperpublishers.com/gjarm/pdf/GJARM.MS.ID.555675.pdf

124. Knit Spacer Fabrics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.baltex.co.uk/spacerfabrics/

125. Bruer S. M. Three-Dimensionally Knit Spacer Fabrics: A Review of Production Techniques and Applications [Электронный ресурс] / S. M. Bruer, N. Powell // JTATM. Technology and management. – 2005. – Vol. 4. № 4. – 31 p. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/238663270_Three-Dimensionally_Knit_Spacer_Fabrics_A_Review_of_Production_Techniques_and_Applications

126. Yip J. Advanced textiles for intimate apparel Institute of Textiles and Clothing [Электронный ресурс] // The Hong Kong Polytechnic University Hong Kong: – 2016. – P. 3 – 23.Woodhead Publishing Series in Textiles – Режим доступа: http://scitechconnect.elsevier.com/wp-content/uploads/2016/10/3-s2.0-B9781782423690000013-main.pdf

127. Vossou C. Acoustic finite element modelling of spacer fabrics [Электронный ресурс] / C. Vossou, Z. Stamataki1, S.M. Potirakis, S. Vassiliadis, A. Cay, A. Marmarali, G. Ertekin, C. Provatidis // 5th International Istanbul Textile Congress, 2015: Innovative Technologies “Inspire to Innovate” – Istanbul: – 2015. – 7 p. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/283288925_Acoustic_Finite_Element_Modelling_of_Spacer_Fabrics.

128. Baltex. Spacer fabric and 3d spacer fabrics [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.itwm.fraunhofer.de/en/epartments/sms/technical-textiles-nonw oven/modeling-simulation-optimization-mechanics-woven-structures.html.

129. Patent US5385036A. Warp knitted textile spacer fabric, method of producing same, and products produced therefrom, США, заявл. 24.05.1993, опубл. 31.01.1995.

130. Wikipedia / [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Заглавная_страница.

131. Steiger Swiss Knitting Technology https: / [Электронный ресурс]. - Режим доступа: //steiger-textil.ch/project/taurus-2-170-xp/?lang=de.

132. Jindal B. B. Concrete Cloth: An Innovative Versatile Construction Material [Электронный ресурс] / B. B. Jindal. – India: Markandeshwar University, 2018. – Режим доступа: https://lupine publishers.com/civil-engineering-journal/fulltext/concrete-cloth-an-innovati ve-versatile-construction-material.ID.000123.php.

133. Studopedia / Формовочная способность текстильных материалов. Лекции по материаловедению текстильных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: //https://studopedia.ru/9_79834_tema--formovochnaya-sposobnost-tekstilnih-materialov.html.

134. Кирюхин С. М. Текстильное материаловедение: Учебники и учеб. пособия для вузов. / С. М. Кирюхин, Ю. С. Шустов. – М.: Колосс, 2011. – 360 с.

135. Ильин В. А. Линейная алгебра и аналитическая геометрия / В.А. Ильин, Г.Д. Ким. – М.: Проспект, 2012. – 400 с.

136. Хабарова Е.Б., Юхин С.С. Использование методов теории подобия и анализа размерностей для прогнозирования разрывной нагрузки кулирных трикотажных полотен из арамидной нити // Дизайн и технологии. – 2021. – № 81 (123). – С. 66-71.

137. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л.И. Седов; изд. 8-е перераб. – М.: Изд-во Наука, 1977. – 438 с.

138. Башков А.В., Башкова Г.В., Алёшина Д.А., Шайхутдинова Е.А. Прогнозирование виброизоляционных свойств пространственных трикотажных полотен / Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №1 (373). – С. 110 – 112.

139. Санников Р.Х. Теория подобия и моделирования. Планирование инженерного эксперимента: учебное пособие / Р.Х. Санников. – Уфа: УГНТУ, 2010. – 75 с.

140. Лунёв В.А. Математическое моделирование и планирование эксперимента: учебное пособие / В.А. Лунёв. – СПб.: Издательство ГПУ, 2012. – 162 с.

141. Архипов В.А. Практикум по теории подобия и анализу размерностей: Учебно-методическое пособие / В.А. Архипов, А.И. Коноваленко. – Томск: НИТГУ, 2016. – 93 с.

142. Бузов Б.А. Материаловедение швейного производства: Учеб. для вузов / Б.А. Бузов, Т.А. Модестова, Н.Д. Алыменкова. – М.: Книга по требованию, 2013. – 424 с.

# Приложение А

## Работа разрыва образцов из полушерстяной пряжи

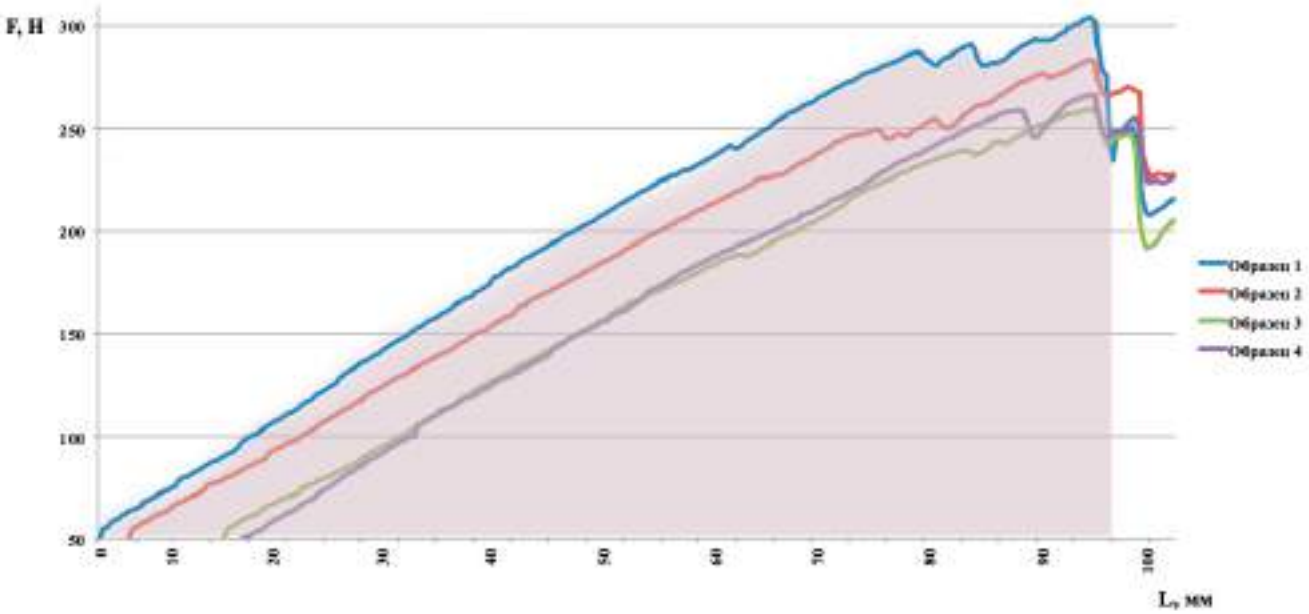



Рисунок 1. Диаграмма работы разрыва образцов переплетения кулирная гладь.

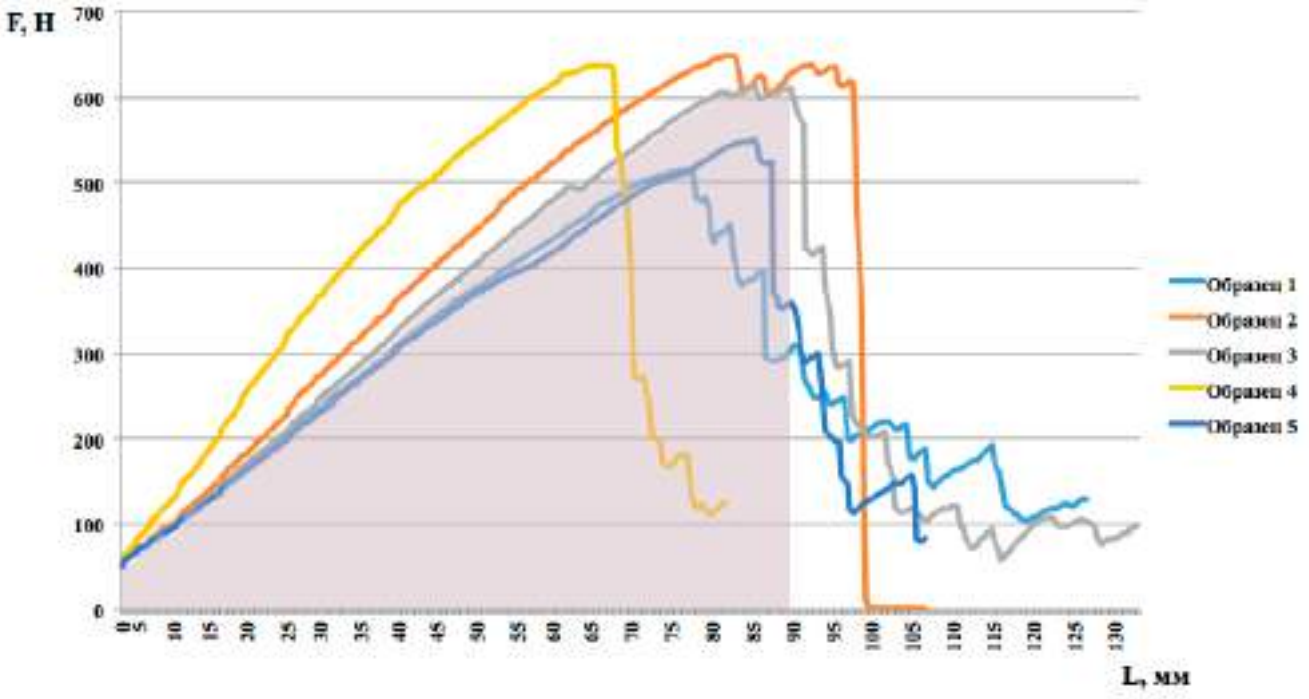



Рисунок 2. Диаграмма работы разрыва переплетения трубчатая гладь.

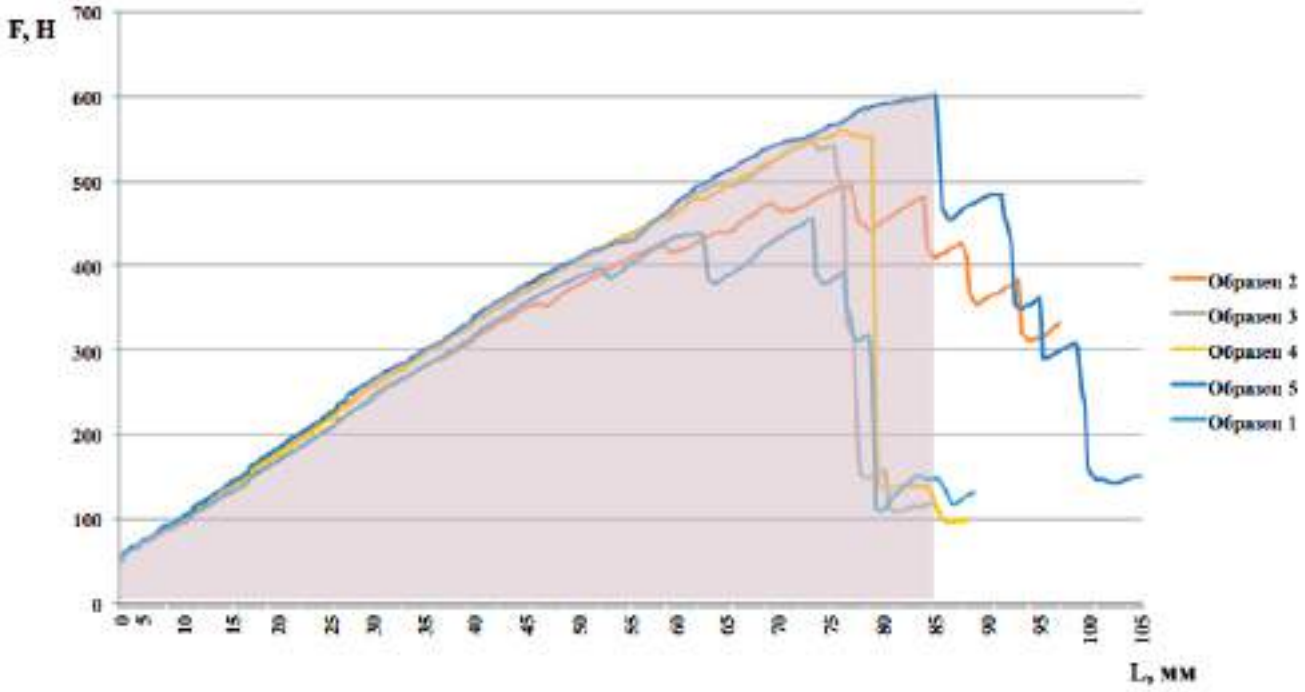



Рисунок 3. Диаграмма работы разрыва образцов переплетения ластик 1х1.

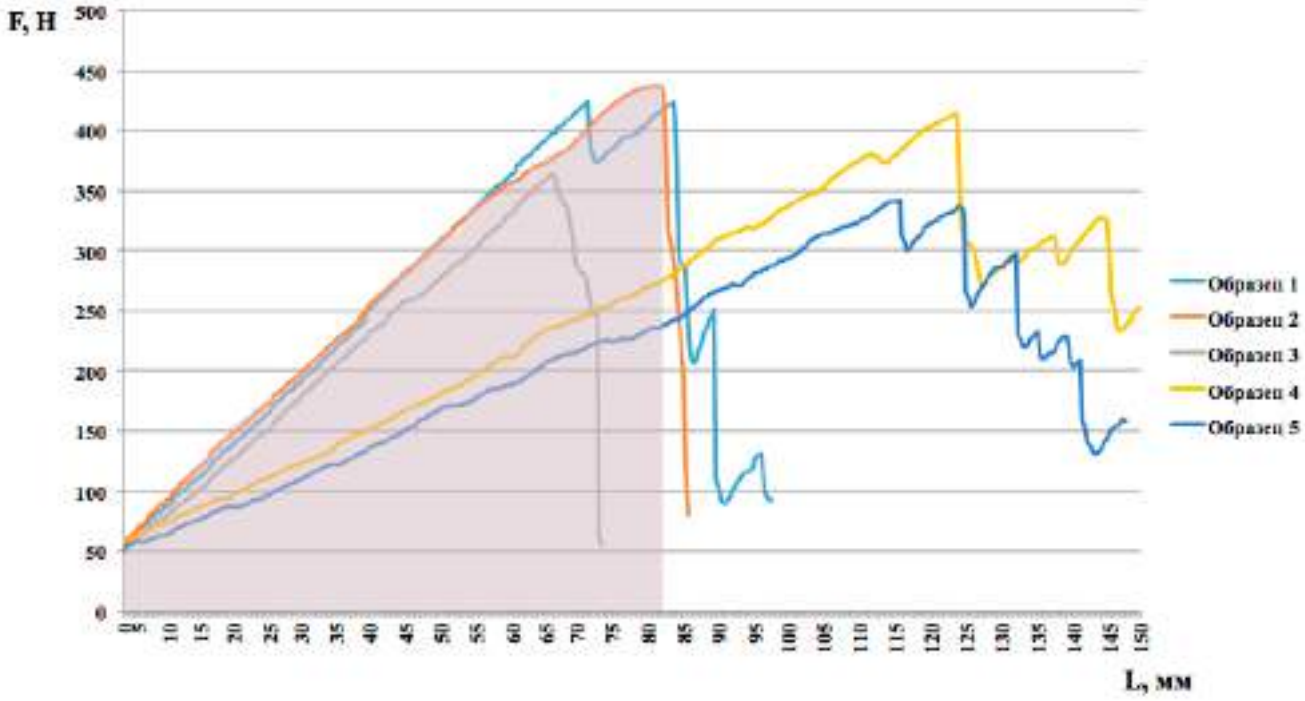



Рисунок 4. Диаграмма работы разрыва образцов переплетения фанг.

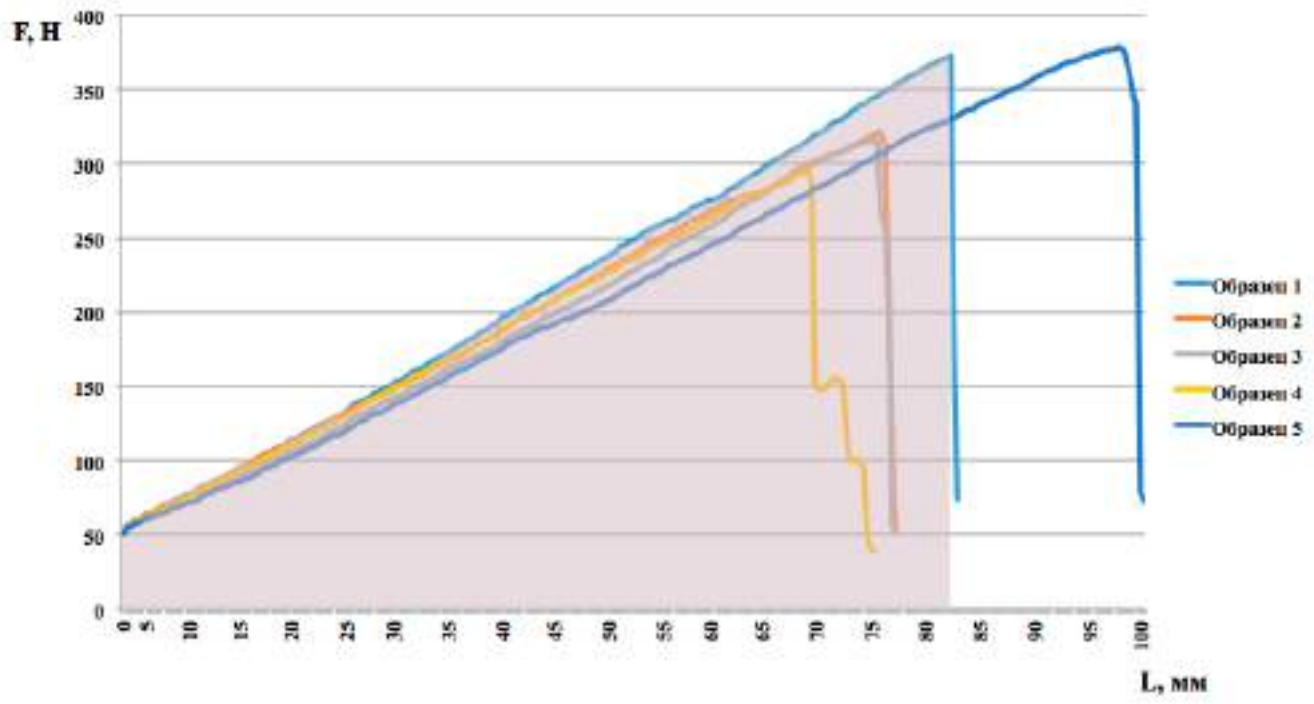



Рисунок 5. Диаграмма работы разрыва образцов переплетения полуфанг.

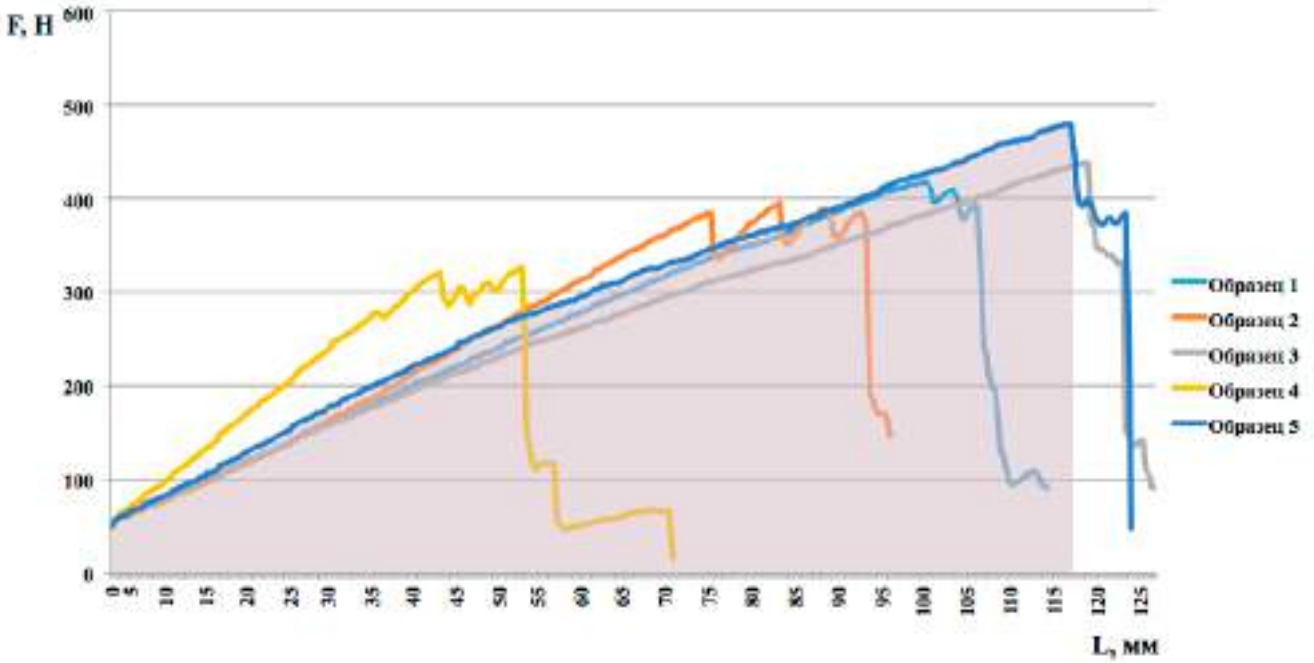



Рисунок 6. Диаграмма работы разрыва образцов комбинированного переплетения №3 на базе трубчатой глади.

# Приложение Б

## Работа разрыва образцов из Нитей Русар 58,8 текс

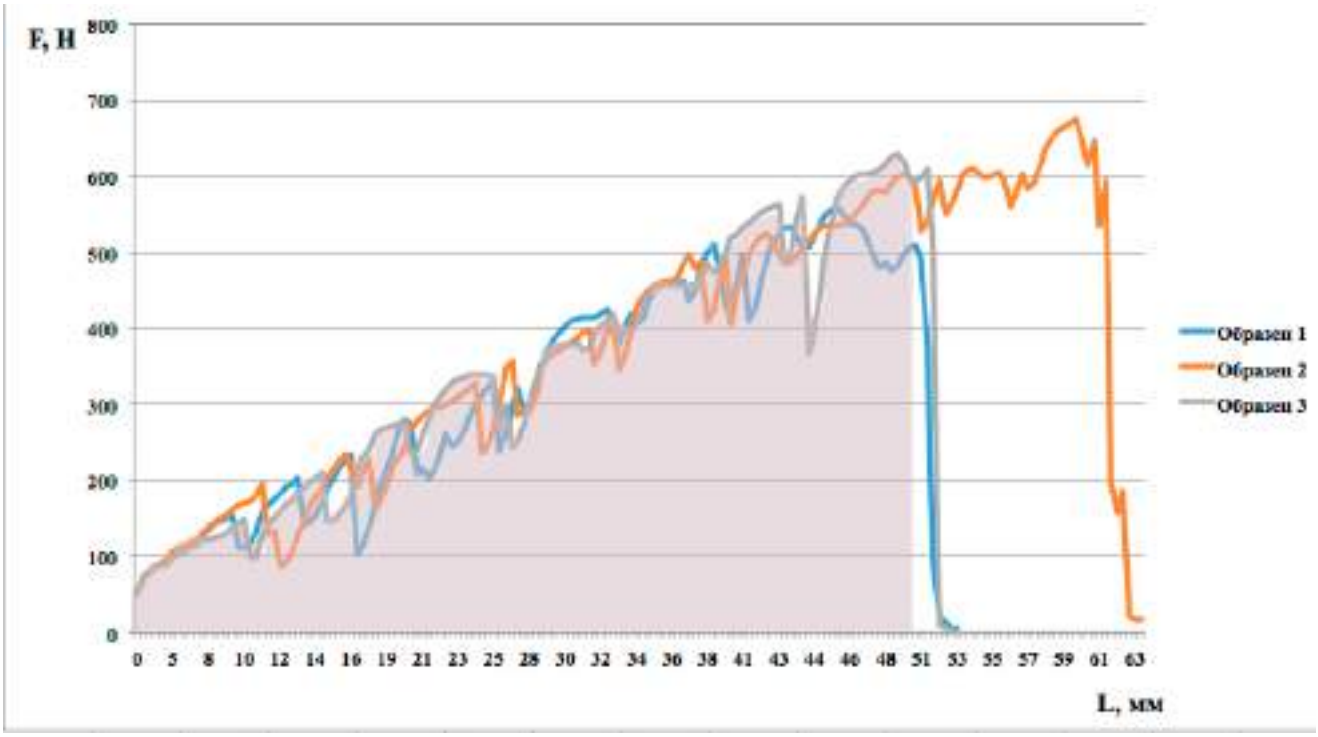



Рисунок 1. Диаграмма работы разрыва образцов переплетения кулирная гладь.

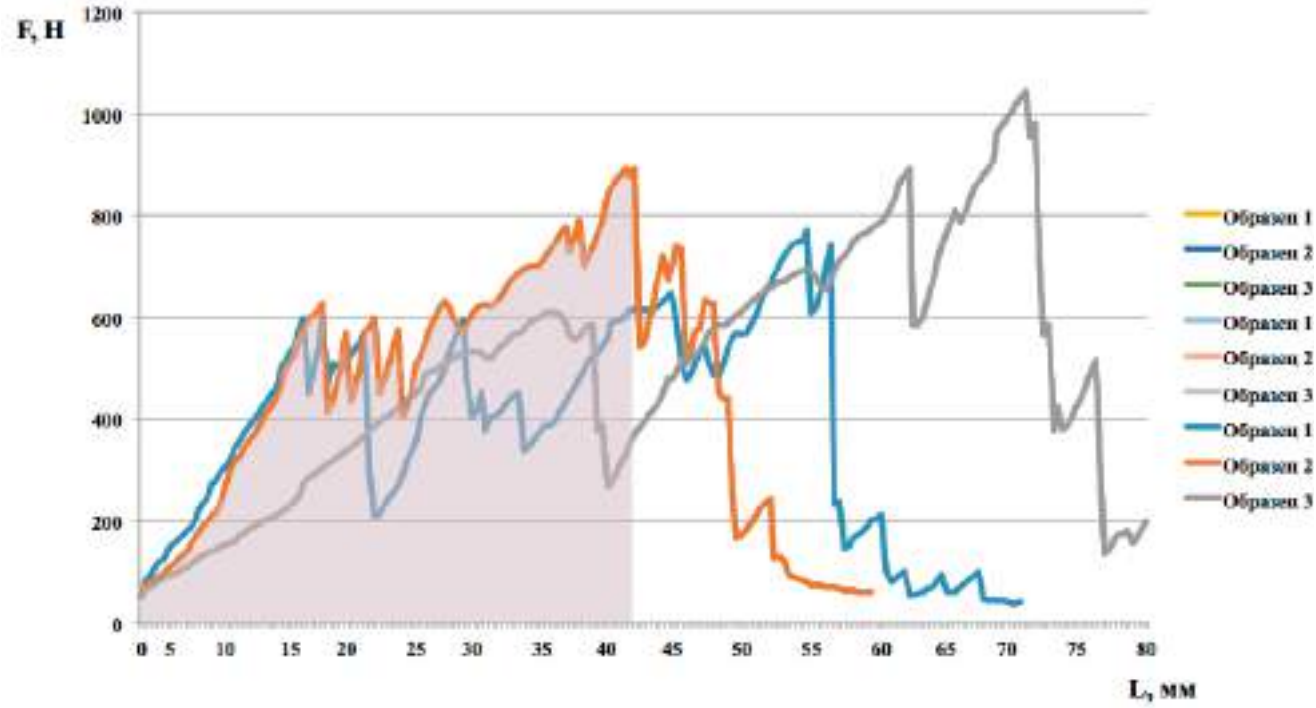


Рисунок 2. Диаграмма работы разрыва образцов переплетения трубчатая гладь.

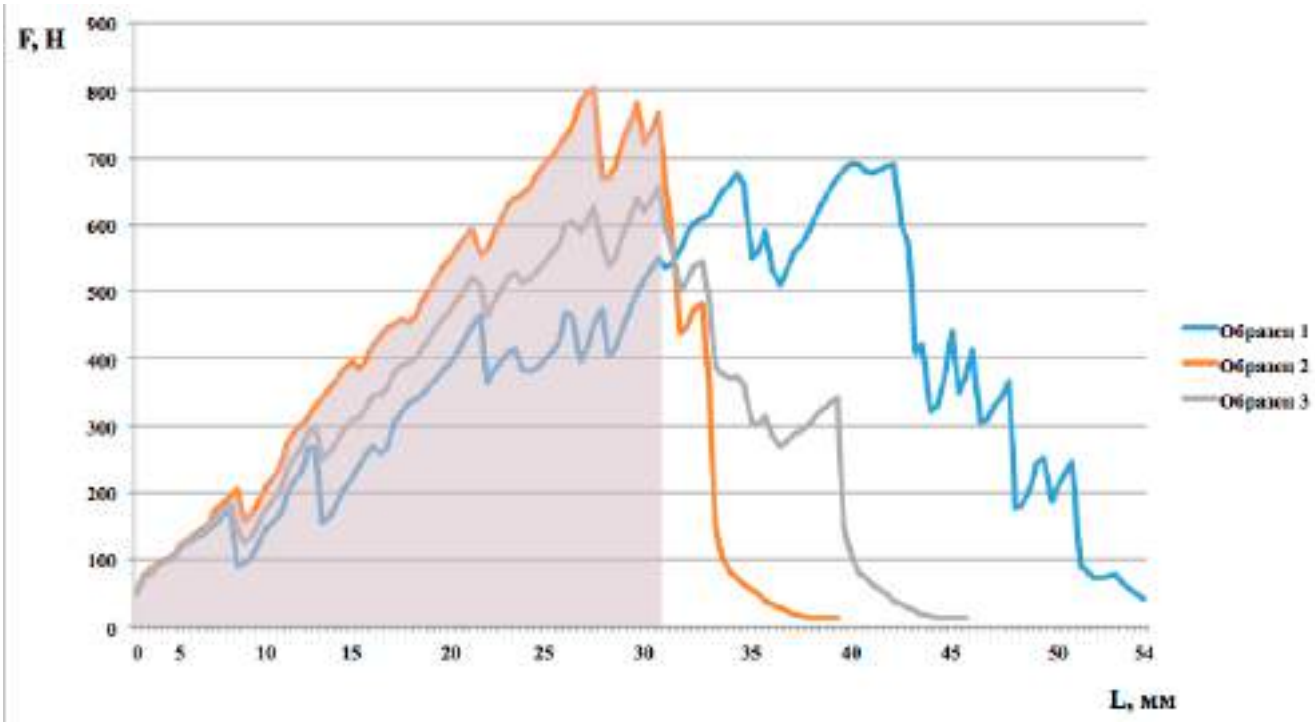



Рисунок 3. Диаграмма работы разрыва образцов переплетения ластик 1х1.

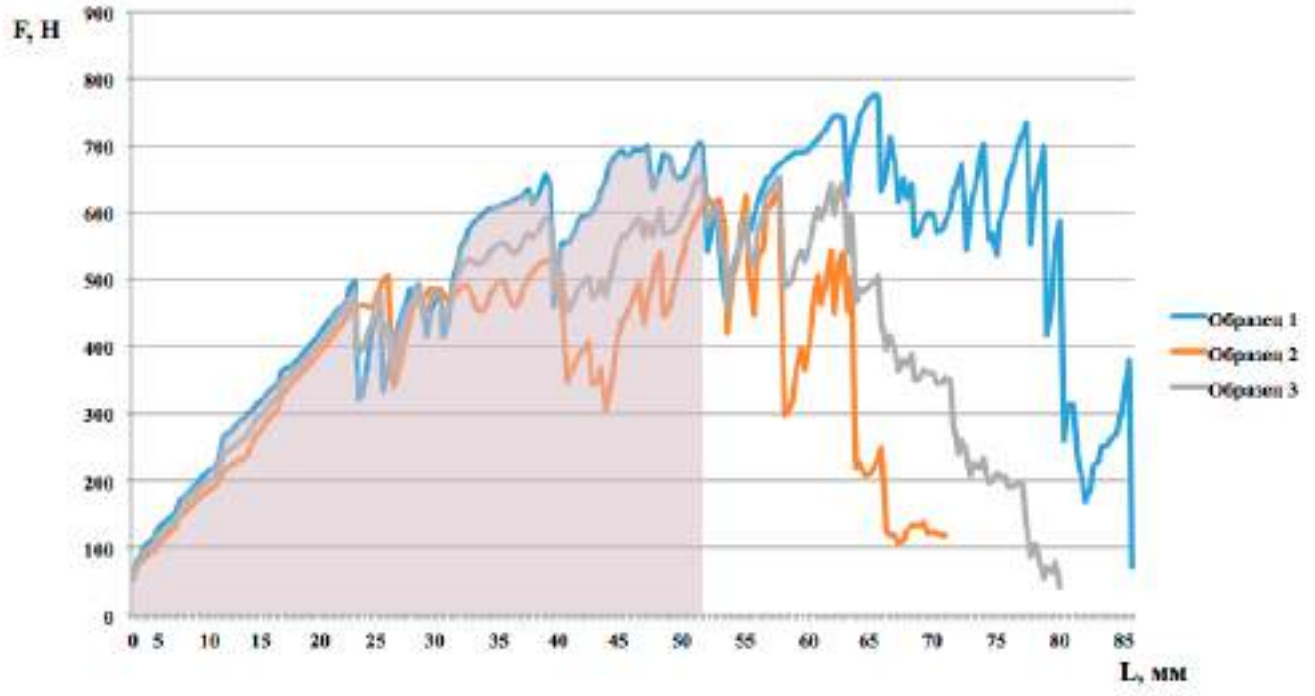



Рисунок 4. Диаграмма работы разрыва образцов переплетения фанг.

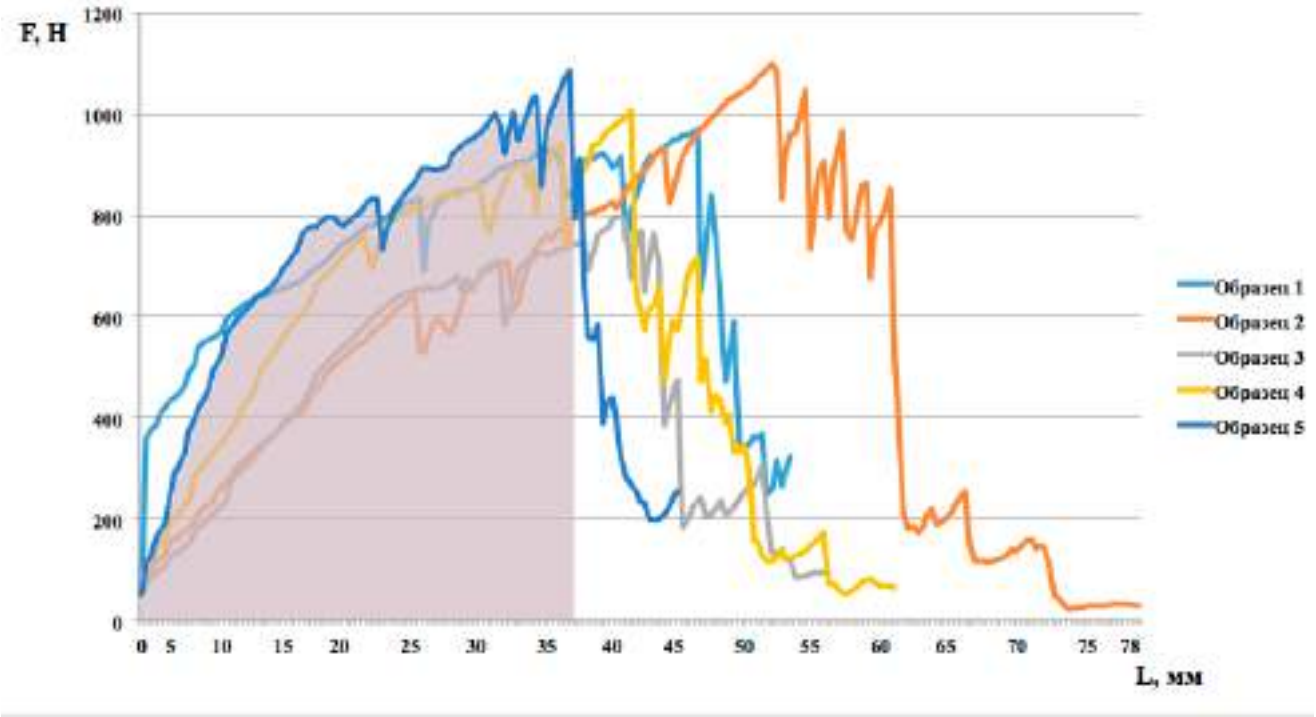



Рисунок 5. Диаграмма работы разрыва Комбинированного переплетения №3.