

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



Бабкова Елена Сергеевна

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТРАЖАЮЩИХ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ АНТЕНН ИЗ  
МЕТАЛЛОТРИКОТАЖНЫХ СЕТЕПОЛОТЕН С УВЕЛИЧЕННЫМИ  
РАЗМЕРАМИ ЯЧЕЕК

05.19.02 - Технология и первичная обработка текстильных материалов и  
сырья

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Заваруев Владимир Андреевич

Москва – 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....		5
1	АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ РЕФЛЕКТОРОВ С ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ИЗ ТРИКОТАЖНОГО СЕТЕПОЛОТНА.....	9
1.1	Требования, предъявляемые к материалам, используемым в качестве отражающей поверхности рефлектора.....	10
1.2	Известные крупногабаритные трансформируемые рефлекторы.....	14
	Выводы по первой главе.....	24
2	РАЗРАБОТКА СТРУКТУР ТРИКОТАЖНЫХ СЕТЕПОЛОТЕН ДЛЯ ОТРАЖАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РЕФЛЕКТОРОВ АНТЕНН.....	25
2.1	Выбор формы ячеек, образующих структуру трикотажных сетеполотен, используемых для изготовления отражающей поверхности.....	25
2.2	Проектирование структур сторонки с заданными геометрическими размерами ячеек трикотажного сетеполотна.....	32
2.3	Проектирование структур участков связок ячеек трикотажных сетчатых материалов.....	37
2.4	Проектирование структур кромок трикотажных основовязанных сетеполотен с увеличенным размером ячеек.....	48
2.5	Проектирование структур соединения кромок с основным сетеполотном.....	54
	Выводы по второй главе.....	60
3	ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТРИКОТАЖНОГО СЕТЕПОЛОТНА.....	62
3.1	Определение необходимого удельного натяжения сетематериала для формообразования отражающей поверхности.....	63
3.2	Определение параметров структуры сетеполотна при двухосном	

нагружении.....	72
3.2.1 Определение длин нитей в петлях сетеполотна.....	75
3.2.2 Определение поверхностной плотности сетеполотна.....	78
3.2.3 Определение светопропускной способности сетеполотна.....	79
Выводы по третьей главе.....	83
4 ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ТРИКОТАЖНОГО СЕТЕПОЛОТНА ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	84
4.1 Способы изготовления отражающих поверхностей крупногабаритных трансформируемых рефлекторов антенн.....	85
4.2 Проектирование отражающей поверхности из трикотажного основовязаного сетеполотна для рефлектора сферической формы.....	88
4.3 Проектирование отражающей поверхности из трикотажного основовязаного сетеполотна на каркас рефлектора параболической формы.....	96
4.4 Исследование и оценка возможности формирования отражающей поверхности из плоскостного трикотажного сетематериала.....	102
Выводы по четвертой главе.....	106
5 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕФЛЕКТОРА АНТЕННЫ ИЗ ПЛОСКОСТНОГО ТРИКОТАЖНОГО КРУПНОЯЧЕИСТОГО СЕТЕПОЛОТНА.....	107
5.1 Определение расхода сетематериала для формирования отражающей поверхности рефлектора антенны.....	107
5.2 Определение массы заготовки отражающей поверхности рефлектора.....	112
5.3 Определение оптимальных параметров технологии соединения крупноячеистых сетеполотен для изготовления отражающей поверхности.....	114
5.4 Ручной способ соединения трикотажных крупноячеистых сетеполотен для изготовления отражающей поверхности.....	118

5.5	Машинный способ соединения сетеполотен крупноячейстой структуры для изготовления отражающей поверхности.....	124
5.5.1	Определение величины необходимой продольной деформации кромок разработанного крупноячейстого сетеполотна.....	125
5.6	Разработка технологии соединения крупноячейстых сетеполотен для изготовления отражающей поверхности.....	128
	Выводы по пятой главе.....	135
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	136
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	138



## ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции развития космических систем связи требуют создания новых трансформируемых антенн больших диаметров с высокоточной формой отражающей поверхности (ОП) рефлектора, причем тенденция идет к повышению габаритов трансформируемых конструкций. Апертура современных разворачиваемых рефлекторов прогнозируется до 100 м [17].

В качестве ОП могут быть использованы различные текстильные электропроводящие материалы, образующие ОП заданной формы. В настоящее время для этих целей наиболее часто применяется трикотажный сетематериал, выработанный из металлических нитей. Материалы на базе металлизированных тканых структур и полимерных пленок не могут конкурировать с трикотажем из металлических нитей из-за потери радиоотражающих свойств, при длительном сроке эксплуатации вследствие повреждаемости металлического отражающего покрытия, происходящей из-за циклических механических деформаций [19].

Современные и перспективные конструкции складных космических антенн требуют использования ОП с более высокими физико-механическими характеристиками. Такой материал может быть получен на базе основязаного трикотажа, выработанного из одиночных металлических нитей малых диаметров.

Разработкой крупногабаритных трансформируемых космических антенных систем, в которых важнейшей составляющей является ОП, занимаются ведущие зарубежные и российские предприятия.

Актуальность проблемы диссертационной работы заключается в разработке технологии металлотрикотажных сетеполотен для ОП трансформируемых антенн, предназначенных для работы в широком диапазоне длин (частот) электромагнитных волн, обладающих заданными физико-механическими характеристиками. Работа по созданию ОП из одиночных металлических нитей малого диаметра проводится впервые.

Выбор темы обусловлен требованиями научно-технического прогресса, одним из направлений которого является развитие космической связи,

обусловливающее создание трансформируемых антенн с высокоэффективными ОП низкой материалоемкости и высокими показателями светопропускной способности.

**Целью работы** является разработка технологии получения металлотрикотажных сетеполотен с увеличенными размерами ячеек для формирования крупногабаритных изделий сложной пространственной формы.

В соответствии с поставленной целью в работе решены следующие задачи:

- проведен анализ видов структур главных и производных основываемых переплетений, на основе которых разработана структура крупноячеистого трикотажного сетеполотна;
- разработана технология получения трикотажного сетеполотна с увеличенными размерами ячеек, вырабатываемого из одиночных металлических нитей диаметром 0,02 мм;
- определены параметры сетеполотна используемого в качестве ОП при двухосном нагружении, соответствующем рабочему;
- разработана технология формирования крупногабаритных изделий сложной пространственной формы из металлического плоскостного трикотажного сетеполотна с увеличенными размерами ячеек;
- разработана технология соединения сетеполотен, имеющих крупноячеистую структуру, обеспечивающая получение ОП для крупногабаритных рефлекторов антенн.

Исследования проводились на кафедре проектирования и художественного оформления текстильных изделий ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» и в организации ООО «ТРИИНВЕСТ».

**Научную новизну** исследования составляет разработка новых структур трикотажных крупноячеистых сетеполотен из металлических одиночных нитей для использования в качестве ОП крупногабаритного трансформируемого рефлектора космической антенны, в том числе:

- проектирование структур кромок для трикотажных сетеполотен с

увеличенным размером ячеек;

- обоснование возможности применения плоскостного трикотажного крупноячеистого сетематериала для изготовления изделий пространственной формы;
- разработка способа соединения высокорастяжимых трикотажных сетематериалов с увеличенными размерами ячеек с использованием предварительного принудительного продольного деформирования кромок полотна.

**Теоретическая значимость** работы заключается в разработке структур крупноячеистого основовязаного сетеполотна, технологии его изготовления и технологии формирования плоскостного материала для получения изделий пространственной формы без членения сетеполотна на детали.

**Практическая значимость** работы заключается в получении металлтрикотажных сетеполотен с увеличенными размерами ячеек из одиночных нитей молибдена диаметром 0,02 мм для использования в качестве ОП крупногабаритного трансформируемого рефлектора космической антенны. Реализация результатов работы проведена на предприятии ООО «ТРИИНВЕСТ» (г. Москва), где были наработаны образцы сетчатых полотен.

**Методы исследования.** Поставленные в работе задачи решались теоретическими и экспериментальными методами. При проведении теоретических исследований в работе использованы методы анализа и синтеза структур главных и производных основовязаных переплетений, а также основы структурообразования основовязаных трикотажных полотен, методы определения свойств основовязаного трикотажа при двухосном растяжении полотна, методы статистической обработки данных. Основные теоретические положения, полученные в работе, проверялись экспериментально на лабораторном и производственном оборудовании.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- 1) структуру основовязаных сетеполотен с увеличенными размерами ячеек из одиночных металлических нитей малого диаметра;

- 2) методику определения параметров и свойств сетеполотен с крупноячеистой структурой при двухосном растяжении полотна;
- 3) расчетные методики определения параметров заготовок ОП из плоскостного трикотажного крупноячеистого сетематериала, предназначенных для рефлекторов сферической и параболической форм;
- 4) расчет параметров заправки на вязальной машине, исходя из особенностей структуры полотна и числа игл на используемой машине, обеспечивающей получение заготовки ОП из минимально возможного числа полотен при максимально возможной заправке машины;
- 5) технологию соединения крупноячеистых высокорастяжимых сетеполотен с предварительной принудительной продольной деформацией кромок, обеспечивающей исключение деформации краевых ячеек.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность результатов исследования подтверждается достаточным объемом экспериментальных данных, полученных с применением современных методов исследования, детальным анализом и корректной статистической обработкой. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием методов математической статистики и современной вычислительной техники.

Апробация основных положений работы, производилась в научной периодической печати и конференциях.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 15 работ, из них 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов по каждой главе, общих выводов по работе, списка литературы. Работа изложена на 148 страницах машинописного текста, содержит 56 рисунков, 13 таблиц. Список литературы включает 100 библиографических и электронных источников.

## **1 АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ РЕФЛЕКТОРОВ С ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ИЗ ТРИКОТАЖНОГО СЕТЕПОЛОТНА**

Ускоренный темп инновационного пути развития трикотажа уже давно вышел за рамки производства традиционного трикотажа бытового назначения и активно развивается в области технического.

Трикотажные полотна и изделия из них успешно применяются для изготовления ударо- и вибропоглощающих материалов, уплотнителей и прокладок различного назначения, фильтров тонкой и грубой очистки. Трикотажный материал также используется для экранирования помещений, широко применяется в виде носителей катализаторов и нагревателей для спецодежды и автомобилей, не маловажна его роль в медицине.

Применение трикотажных материалов в таких отраслях промышленности, как оборонная, автомобильная, авиационная и космическая, объясняется проявлением физико–механических свойств, присущих только петельной структуре трикотажа в совокупности со свойствами нитей [2].

Среди многообразия видов трикотажа технического назначения важно выделить металлические трикотажные сетеполотна, вырабатываемые из различного состава и диаметров металлических нитей. Самое широкое применение металлический трикотаж нашел в космической отрасли [3].

Уже более 50 лет металлические трикотажные сетеполотна используются в качестве отражающих поверхностей (ОП) космических антенн различных конструкций и диаметров, разработкой которых занимаются как отечественные, так и зарубежные компании.

Космическая отрасль является зоной конкурентного соперничества стран-лидеров мирового экономического развития как в оборонной, так и в социально-экономической сферах. В формировании международного информационного пространства космические технологии занимают одно из важнейших мест.

Интенсивное развитие современных космических систем связи идет по пути

освоения высокоточных каналов передачи информации, что влечет за собой необходимость создания принципиально новой конкурентоспособной техники, в том числе крупногабаритных космических антенн с высокоточной формой ОП.

Для успешного решения таких задач применяются антенные системы с трансформируемыми рефлекторами большой апертуры. Эффективность работы антенны напрямую зависит от диаметра зеркала и стабильности физико-механических свойств ОП при переводе антенны из транспортируемого состояния в рабочее [16].

Активные исследования и разработки, направленные на создание крупногабаритных конструкций, ведутся как в России, так и за рубежом [74, 75, 76, 77]. Разработка трансформируемых антенн, устанавливаемых на космические аппараты, является одним из важных и стремительно развивающихся направлений в области создания космических конструкций. Несмотря на значительные успехи в области проектирования крупногабаритных трансформируемых конструкций космического базирования, остается важной задача проектирования прецизионной ОП рефлектора.

Целью настоящей работы является разработка структур трикотажных полотен и технологии изготовления ОП для крупногабаритных трансформируемых рефлекторов.

### **1.1 Требования, предъявляемые к материалам, используемым в качестве отражающей поверхности рефлектора**

В зависимости от назначения космической антенны и диапазона рабочих частот ее комплектуют развертываемыми или твердотельными рефлекторами. Размеры твердотельных прецизионных рефлекторов ограничены размером обтекателя ракеты-носителя, что ограничивает их широкое использование в радиочастотном диапазоне. В то время как трансформируемые рефлекторы лишены этого недостатка и в развернутом состоянии могут обладать значительным диаметром апертуры. Апертура современных развертываемых

рефлекторов прогнозируется до 100 метров. Транспортировка таких конструкций в космическое пространство на ракетах-носителях производится в сложенном состоянии и после вывода на заданную орбиту осуществляется раскрытие рефлектора антенны в рабочее положение. К основным требованиям, предъявляемым к крупноапертурным антеннам, относятся максимально возможное снижение удельной и соответственно полной массы антенны, а также возможность укладки под обтекатель ракеты-носителя. Единственным решением, удовлетворяющим этим требованиям, является использование разворачиваемых антенных систем [35].

Разработка крупногабаритных антенных систем, характеризующихся высокими показателями надежности разворачивания и качества рабочей поверхности, и при этом имеющих относительно небольшую массу - в настоящее время относится к уникальным технологиям. Ряд задач для таких конструкций рассмотрены в работе авторского коллектива [34] где делается вывод, что основная проблема в проектировании рефлектора с требуемой формой ОП состоит в обеспечении малого веса при высокой точности формы ОП.

Для достижения таких показателей важную роль играют показатели радиоотражающего материала используемого в качестве ОП антенн. К материалам ОП крупногабаритных трансформируемых рефлекторов антенн предъявляются специфические эксплуатационные требования [37], важнейшими из которых являются:

- гибкость и эластичность для обеспечения складывания и разворачивания антенны при минимальных усилиях силового каркаса;
- отсутствие складок и заминов при складывании и разворачивании каркаса рефлектора;
- способность выдерживать многократные складывания и разворачивания антенны без ухудшения радиоотражающей способности;
- локализация повреждений ОП антенны при эксплуатационных нагрузках;
- минимальная масса;
- устойчивость к воздействию факторов космической среды;

- максимальная радиоотражающая способность;
- изотропия основных механических, радиоотражающих и др. свойств;
- длительный срок эксплуатации.

В трансформируемых конструкциях рефлектора требуемая аппроксимация формы ОП достигается путем крепления эластичного радиоотражающего материала с заданным поверхностным натяжением на силовой каркас. Одной из наиболее технически сложных проблем является при этом обеспечение прецизионной точности ОП рефлектора антенны, как на этапе изготовления, так и в условиях эксплуатации [36].

Исходя из анализа литературных источников, можно сделать вывод, что наиболее часто в качестве ОП используют трикотажные сетчатые материалы, выработанные из металлических нитей, так как наиболее полно соответствуют основным требованиям, которые являются строгими для космического использования. Металлические сетеполотна не теряют отражающей способности после многократного складывания, обладая при этом эластичностью, малой массой единицы площади и достаточной прочностью [61].

Впервые, трикотажное металлическое сетеполотно, выполненное из комплексных металлических нитей сплава Chromel-R единичного диаметра 12,7 мкм в 14 сложений покрытых слоем золота, использовалось в качестве ОП складной зонтичной антенны диаметром около трех метров при реализации полета Американского корабля «Аполлон-11» в 1969 году на луну [80]. Антенна была установлена на поверхность Луны и служила для связи между астронавтами и NASA.

В США получен патент [82] на разворачиваемую космическую антенну, зеркало которой имеет форму гиперболоида, способную выдерживать многократные операции свертывания и разворачивания, в качестве ОП было использовано трикотажное сетеполотно из металлических нитей.

В отечественной практике теоретические и экспериментальные исследования по созданию материалов для ОП космических антенн были начаты на кафедре технологии трикотажного производства Московского текстильного



института в 1972 году.

Сетеизделия, получаемые трикотажным способом, представляют собой трикотаж специфического строения, поэтому при исследовании их строения и свойств имеют особое значение работы проф. А. С. Далидовича и проф. И. И. Шалова [70], которые внесли большой вклад в создание основ теории вязания и проектирования трикотажных полотен.

По классификации трикотажных переплетений, разработанной впервые проф. А. С. Далидовичем, большинство сетеизделий вырабатываются основовязаными трикотажными филейными переплетениями.

Большое значение в изучении видов и строения филейных основовязанных переплетений внесли К. Д. Михайлова, Л. Ф. Харитоновна и А. А. Гусева [57].

Впервые, в отечественной практике широко рассмотрены трикотажные сетеизделия в работе Л. А. Кудрявина [49], где были исследованы вопросы строения и процессы получения сетеизделий трикотажным способом и предложена их классификация. В работе были разработаны трикотажные полотна с крупноячеистой структурой из натуральных и синтетических волокон.

К 1975 г. в МГТУ им. А. Н. Косыгина на кафедре технологии трикотажного производства была разработана технология получения металлических сетеполотен на базе кулирного и основовязаного трикотажа из стальной микропроволоки 0,05 мм. К 1980 г. была разработана технология выработки металлических сетеполотен из стальной микропроволоки диаметром 0,03 мм. В 1990 г. были получены экспериментальные образцы основовязанных сетеполотен из стальной микропроволоки диаметром 0,02 мм в три и пять сложений. В 1999 г. разработана технология металлических трикотажных сетеполотен из молибденовой и вольфрамовой микропроволок диаметром 0,015 мм в два и три сложения. В 2001 г. разработана технология металлических основовязанных сетеполотен из вольфрамовой микропроволоки диаметром 0,011 мм, в два и три сложения.

Первым научным трудом в этой области была работа В. А. Заваруева выполненная в 1980 г. Работа посвящена исследованию переработки

металлических мононитей с целью получения полотен технического назначения [38]. Дальнейшее развитие этого направления было в работе Л. Я. Стигене [67], в которой были разработаны структуры трикотажных полотен технического назначения из металлических нитей с целью оптимизации их физико-механических характеристик. Работа [43] посвящена анализу структур металлических трикотажных материалов для ОП космических трансформируемых антенн.

В работе В. А. Заваруева, выполненной в 2006г. [39], была разработана технология производства металлотрикотажных сетеполотен для изделий космической и наземной систем связи. Однако в работах В. А. Заваруева и Л. Я. Стигене были разработаны и исследованы полотна из металлических нитей с мелкоячеистой структурой.

В работе И.В. Рытиковой [65] была предложена технология формирования и швейный способ соединения сетеполотен для сложноконструктивных изделий из металлических трикотажных полотен технического назначения. В данной работе было использовано мелкоячеистое сетеполотно, выработанное из вольфрамовой комплексной нити 15 мкм в три сложения.

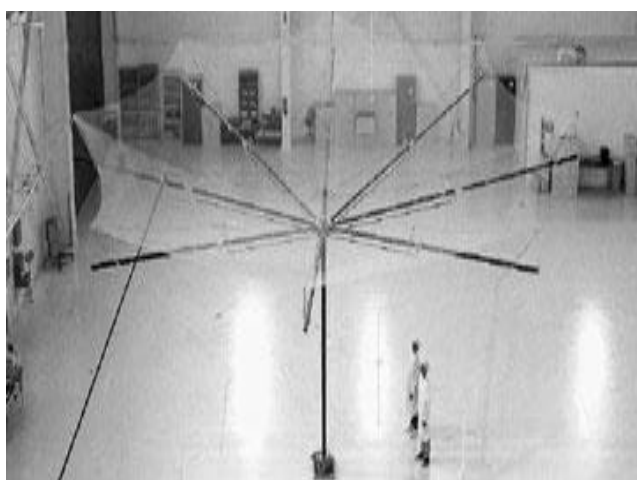
В настоящей работе необходимо выполнить разработку новых облегченных типов сетеполотен с крупноячеистой структурой из металлических одиночных нитей, которые будут использоваться в качестве ОП нового поколения для рефлекторов антенн с диаметром более 30 м. Такие сетеполотна должны соответствовать всем вышеперечисленным требованиям, иметь минимально возможную массу, при этом сохранять высокие показатели физико-механических и радиоотражающих свойств.

## **1.2 Известные крупногабаритные трансформируемые рефлекторы**

Работы по созданию крупногабаритных трансформируемых антенн активно ведутся в США, Германии, Японии, Китае, Индии и Канаде [90, 97, 98]. Ведущими фирмами в России, разрабатывающими трансформируемые

космические антенны, являются РКК «Энергия» имени С.П. Королева, ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева и ФГУП «ОКБ МЭИ» [56].

Одной из первых коммерческих реализаций крупноапертурных антенных систем стал спутник Garuda-1, разработанный фирмой Harris Aergospace (USA), запущенный в 2000 г [84]. В состав спутника Garuda-1 входили две антенные системы с рефлекторами диаметром 12 м, предназначенные для работы в L-диапазоне.



а

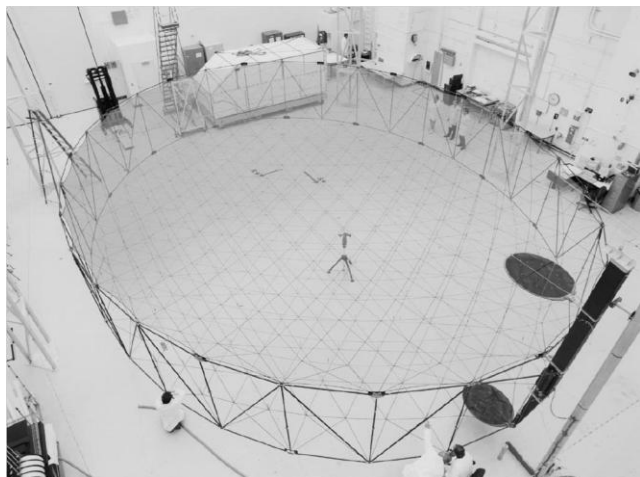


б

Рисунок 1.1 – Рефлектор космического аппарата «Garuda-1» при тестировании в лаборатории (а) и на орбите (б)

Он состоял из силового каркаса в виде восьми труб из углепластика, на которые крепилось радиоотражающее металлическое трикотажное сетеполотно, выполненное из молибденовой позолоченной микропроволоки. Натяжение и регулировка формы ОП выполнялись с помощью пространственной системы из гибких высокостабильных тросов. Для уменьшения размеров рефлектора в транспортировочном положении ребра рефлектора дополнительно складывались по длине. При раскрытии рефлектора жесткость конструкции обеспечивалась натяжением тросовой системы при помощи механизма, располагаемого в центре рефлектора, с обратной стороны. В транспортировочном положении конструкция имела размеры  $4,5 \times 0,86$  м.

Фирма Astro Aerospace Corporation (США) разработала рефлектор AstroMesh [95] с силовым каркасом в виде ободной фермы, который показан на рисунке 1.2.



а



б

Рисунок 1.2 – Рефлектор типа AstroMesh:  
при тестировании в лаборатории (а) и на орбите (б)

Формирование ОП осуществлялось с помощью вантовой системы соединенной с двумя сетчатыми структурами, к одной из которых прикреплялось сетеполотно изготовленное из молибденовой позолоченной проволоки. Отсутствие деления на секторы позволило сделать ячейки фронтальной сети практически одного размера, что улучшило точность ОП. Конструкция обладала малой массой и занимала небольшой объем в сложенном состоянии. Кроме того, она характеризовалась высокой жесткостью и термической стабильностью. При апертуре равной 12,25 м полная масса составила 57 кг [99].

Рефлекторы диаметром 5 метров КА «TDRSS» и 6x7 метров КА «M-SAT» были разработаны фирмой Hughes Space and Communication Company (HSC). Общий вид космического аппарата, на котором применены рефлекторы на основе совершенно нового принципа "гибкой пружинной оболочки из угольной сети", приведен на рисунке 1.3. В транспортировочном положении рефлектор упруго деформируется под конфигурацию обтекателя ракеты-носителя и фиксируется в этом положении, а после выведения на орбиту принимает расчетную форму. На

космическом аппарате «TDRSS» были установлены две антенны с рефлекторами 5 м, а на КА «M-SAT» две антенны с рефлекторами эллиптической апертуры размерами 6х7 метров и массой 20 кг [96]. Преимуществом данного конструктивного исполнения являлась очень высокая точность ОП, выполненной из металлического сетеполотна, достаточная для работы даже в Ка – диапазоне. Недостатком является ограничение по диаметру рефлектора, накладываемое обтекателем ракеты-носителя.

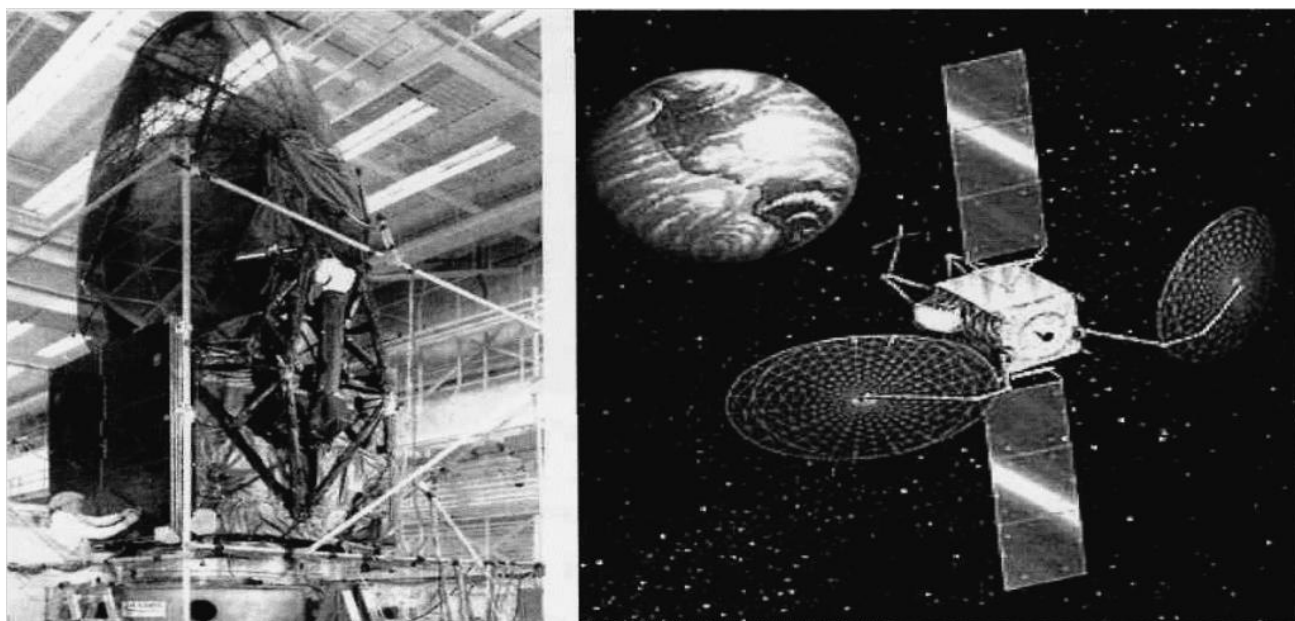


Рисунок 1.3 – Рефлекторы КА «TDRSS» и КА «M-SAT»

Наиболее известным представителем рефлекторов ферменно-стержневой конструкции является, примененный на космическом аппарате ETS-VIII (Япония) [87] с апертурой 19х17 м, выполненный из 14 шестиугольных модулей. В сложенном состоянии имеет размеры 1×4 м, масса рефлектора около 100 кг. Общий вид космического аппарата ETS-VIII с рефлекторами ферменно-стержневой конструкции приведен на рисунке 1.4.

Преимуществом этой конструкции является повышенная жесткость и, соответственно, стабильность формы радиоотражающей поверхности. Недостатком является очень большое количество подвижных механических

соединений, приводящее к снижению вероятности раскрытия после выведения космического аппарата на орбиту [93].

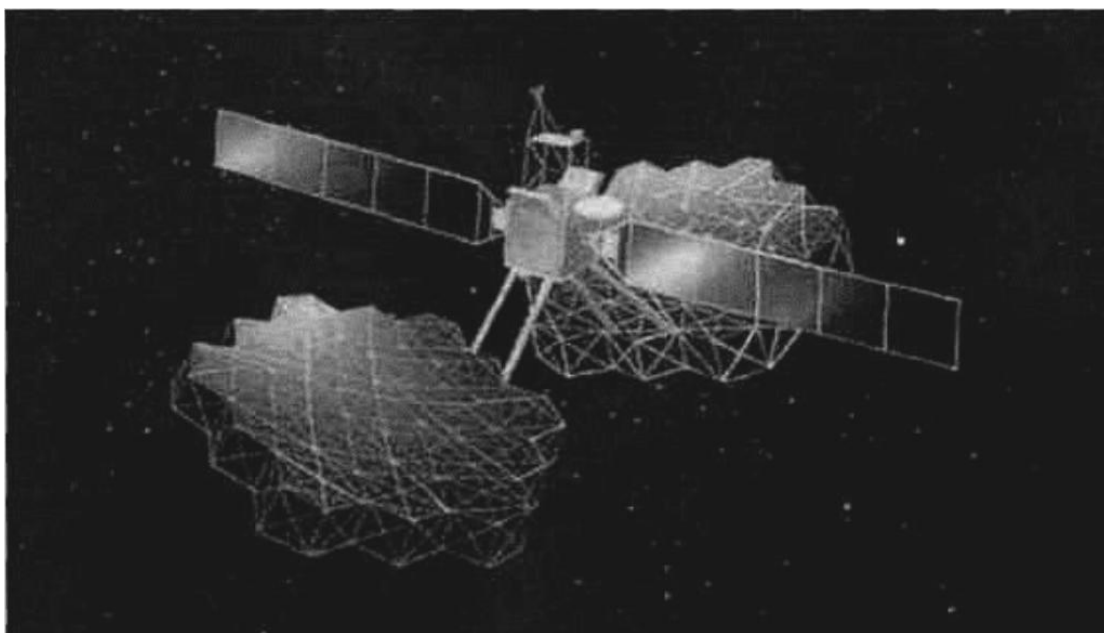


Рисунок 1.4 – КА с ферменно–стержневыми конструкциями рефлекторов

В России ведущим разработчиком рефлекторов подобной конструкции является ОКБ МЭИ, г. Москва. Проект рефлектора с апертурой  $9,5 \times 17$  м, площадь которого составила  $137 \text{ м}^2$ , имел массу около 100 кг, размеры в сложенном состоянии  $1 \times 1 \times 0,6$  м [55].

Рефлектор диаметром 6 метров фирмы «ENERGIA – Space», г. Москва. Общий вид рефлектора представлен на рисунке 1.5. Конструктивно рефлектор выполнен на основе развертываемого силового кольца, к которому крепятся гибкие формообразующие ребра с радиоотражающим металлическим трикотажным сетеполотном. Рефлектор испытан на орбитальной станции «МИР» и имеет следующие основные технические характеристики: масса 46 кг, размеры в сложенном состоянии  $0,62 \times 1,06$  м [20].

К преимуществам данной конструкции следует отнести достаточно высокую степень проработки (включая летные испытания модели диаметром 6 м). К недостаткам этого рефлектора можно отнести повышенную массу (рефлектор диаметром 12 м будет иметь прогнозируемую массу 150–160 кг) [63].

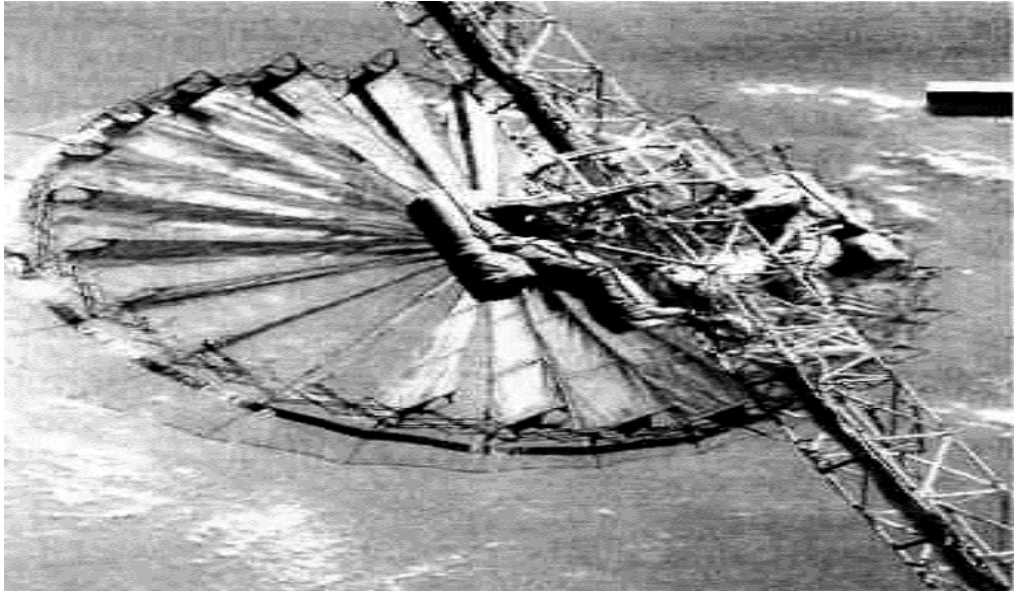


Рисунок 1.5 – Рефлектор фирмы «ENERGIA – Space»

На рисунке 1.6 показан рефлектор диаметром 9,1 м, созданный совместно NASA Jet Propulsion Laboratory и Lockheed Missiles and Space Company для спутника ATS-6 [86].

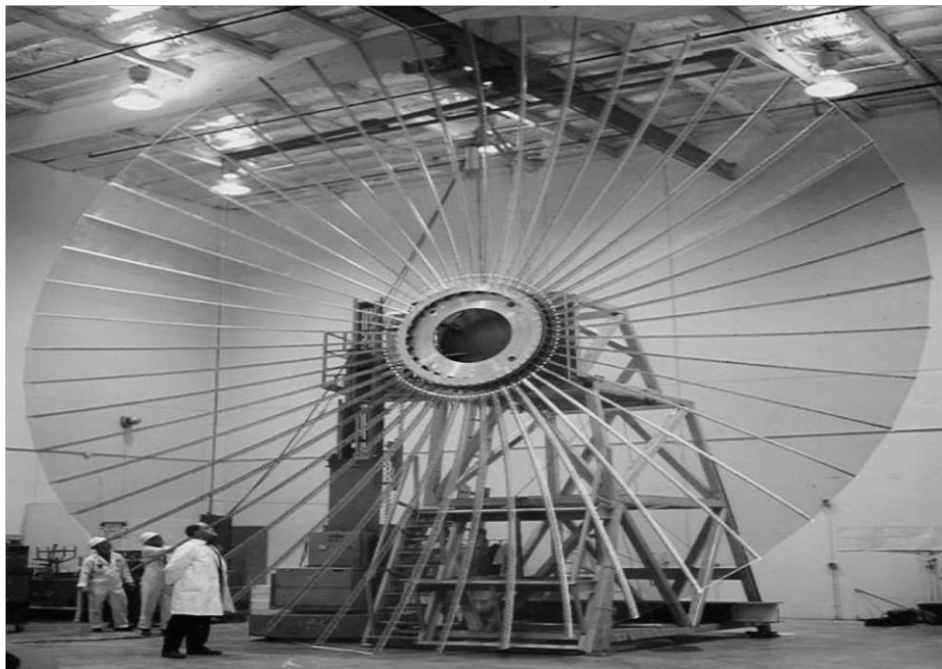


Рисунок 1.6 – Рефлектор с гибкими спицами диаметром 9,1 м для спутника ATS-6

Рефлектор имел 48 гибких спиц с заданным параболическим профилем, которые при транспортировке упруго деформировались и сворачивались вокруг ступицы. В сложенном положении антенна представляла цилиндр  $2 \times 0,45$  м. Полная масса антенны составила 60 кг. Зеркало антенны формировалось из дакронового сетеполотна с покрытием из меди, сетеполотно закреплялось непосредственно на спицах.

Рассмотренные примеры свидетельствуют о преимущественном использовании в зарубежных разработках антенных систем космической связи в качестве материала для ОП трикотажных сетеполотен из металлических нитей, но при этом отсутствуют сведения о технологии выработки и изготовления ОП из сетеполотна.

В отечественной практике разработки складных антенн с ОП из металлического трикотажного сетеполотна впервые были осуществлены в ОКБ МЭИ в 1972-1974 гг при изготовлении складного параболического рефлектора размерами  $6 \times 2,5$  м [64].



Рисунок 1.7 - Антенная система ТКСА-6П на модуле «Природа» пилотируемого космического комплекса «Мир».



В качестве ОП было использовано металлическое трикотажное сетеполотно из стальной микропроволоки диаметром 50 мкм, которое было разработано и изготовлено в МГТУ им. А.Н. Косыгина на кафедре технологии трикотажного производства. Антенны концепции ОКБ МЭИ прошли успешные летные космические испытания на космическом аппарате «Ресурс -01» на модуле «Природа» пилотируемого космического комплекса «Мир» (рисунок 1.7).

В России первые космические антенны зонтичного типа доведены до практического применения в аппаратах серии «Луч» и «Луч-1», разработанных в АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнева» [22]. На складных антеннах этих аппаратов в качестве ОП было использовано металлическое трикотажное сетеполотно из стальной микропроволоки диаметром 50 мкм. Данные, полученные в ходе испытаний космических аппаратов серии «Луч» и «Луч-1», подтвердили правильность технологических решений по материалу ОП и послужили основой для проектирования материалов, используемых в качестве ОП для следующего поколения крупногабаритных трансформируемых антенн.

В настоящее время орбитальная группировка МКСП «Луч» составляет три геостационарных космических аппаратов серии «Луч-5». «Луч-5А» (рисунок 1.8), выведенных на орбиту в 2011 г., «Луч-5Б» - в 2012 г., «Луч-5В» - в 2014 г.

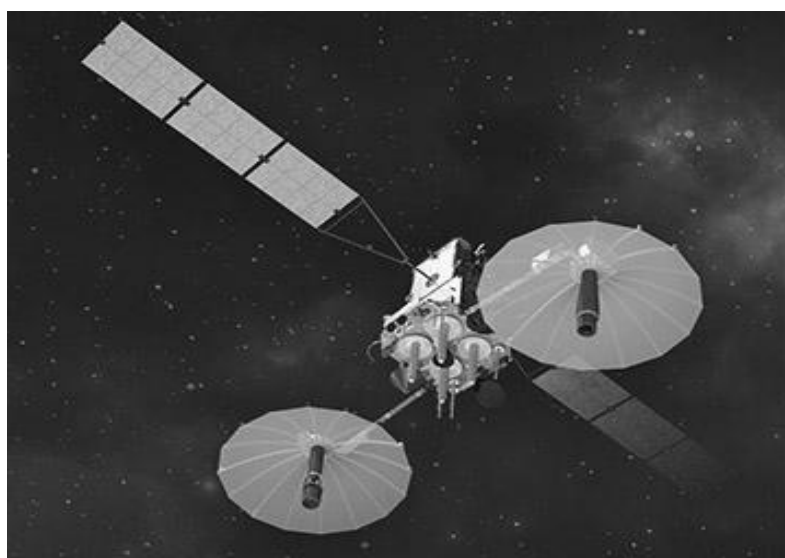


Рисунок 1.8 – Космический аппарат «Луч-5А» создан в АО «ИСС им. академика М.Ф. Решетнева»

На складных антеннах этих аппаратов используется в качестве ОП металлическое трикотажное сетеполотно. Также начались работы по модернизации многофункциональной космической системы ретрансляции «Луч», которые предполагают создание и запуск новых спутников-ретрансляторов «Луч-5М» [92]. Эти спутники должны прийти на смену действующим сегодня в орбитальной группировке космическим аппаратам «Луч-5А», «Луч-5Б» и «Луч-5В». Новые спутники должны выполнять все задачи действующих спутников-ретрансляторов, обладать рядом дополнительных функций и иметь 15-летний гарантийный срок службы. На этих же антеннах должно быть применено металлическое сетеполотно нового поколения [40].

Сетеполотна нового поколения, используемые в качестве ОП для крупногабаритных трансформируемых рефлекторов антенн, предполагается вырабатывать на основовязальных машинах, используя одинарные металлические нити диаметром 0,02 мм. Такое полотно будет разрабатываться впервые.

Вязание сетеполотен из металлических нитей диаметром 0,02 мм позволит создать полотна минимальной массы и жесткости, что обеспечит отсутствие заминов на ОП при складывании и разворачивании каркаса рефлектора.

Выбор малого диаметра используемой металлической нити обусловлен также и тем, что конструкции всех вязальных машин рассчитаны на переработку текстильных нитей, обладающих достаточным относительным удлинением и незначительной жесткостью при изгибе. С целью повышения гибкости металлической нити, необходимым условием явилось уменьшение ее диаметра [38], что позволит достигнуть гибкости металлической нити приближенной к текстильной. Что в свою очередь позволит получать сетеполотна, используя типовое технологическое оборудование и обычные методы текстильной переработки. Соответственно, чем тоньше металлическая нить, тем выше ее гибкость, также малый диаметр нити, в совокупности с видом используемого переплетения, обеспечит выработку сетеполотен с минимальной массой и высоким показателем светопропускной способности.

Выработку трикотажных сетеполотен с увеличенными размерами ячеек,

которые имеют ширину по съему с машины 2 м и более, может обеспечить основывающаяся машина с длиной игольницы 2 м. При приложении усилия ширина полотна увеличивается в несколько раз, точный размер растянутого сетеполотна зависит не только от его первоначальной величины, но и от структуры образующих его ячеек. Получаемая ширина полотна, даже при растяжении имеет ограниченную величину, недостаточную для использования на крупногабаритных космических системах. Отсюда возникает ряд задач, требующих технологических разработок, анализа и исследования предлагаемых решений.

Задачи, решаемые в работе:

- разработка структур трикотажных сетеполотен из одиночных металлических нитей малого диаметра, обеспечивающих минимальную материалоемкость и прозрачность полотна выше 96%;
- разработка структур кромок трикотажных сетеполотен и участков соединения их с полотном, не влияющих на изменение формы ячеек, составляющих структуру основного сетеполотна, позволяющих выполнить операцию соединения необходимого числа полотен для покрытия рефлектора диаметром от 30 м;
- разработка технологии соединения трикотажных сетеполотен с крупноячейистой структурой для получения ОП заданной формы;
- исследование параметров и физико-механических свойств разработанного трикотажного сетеполотна из одиночных металлических нитей малого диаметра: длины нити в петлях, высоты и ширины петель в комбинированных структурах сетеполотна, его материалоемкости и прозрачности;
- разработка методики расчета деталей заготовки из трикотажных сетеполотен с крупноячейистой структурой при натяжении заготовки на каркас рефлектора для получения высокоточной формы ОП.

## Выводы по первой главе

1. Анализ отечественных и зарубежных исследований в области проектирования конструкций космического базирования показал, что совершенствование систем космической связи требует создания новых трансформируемых антенн больших диаметров с высокоточной формой ОП рефлектора. Причем тенденция идет к повышению габаритов трансформируемых конструкций, апертура современных разворачиваемых рефлекторов прогнозируется до 100 м.
2. Обзор источников информации свидетельствует о том, что трикотажные материалы, вырабатываемые из металлических нитей, имеют широкое применение в космической технике в качестве ОП рефлекторов складных антенн.
3. Установлено, что, несмотря на значительные успехи в области проектирования трансформируемых конструкций антенн, проектирование прецизионной ОП рефлектора из одиночных металлических нитей малого диаметра для крупногабаритных антенн является актуальной научно-технической задачей.
4. Для получения металлических трикотажных сетеполотен, используемых в качестве ОП, с заданными физико-механическими свойствами, требуется проведение исследований по проектированию и разработке структур трикотажа из металлических одиночных нитей малых диаметров, и разработке технологии формирования ОП.
5. Для решения поставленной цели по разработке технологии трикотажных сетеполотен с крупноячеистой структурой и изготовлению прецизионных ОП сформулированы задачи.

## **2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУР ТРИКОТАЖНЫХ СЕТЕПОЛОТЕН ДЛЯ ОТРАЖАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РЕФЛЕКТОРОВ АНТЕНН**

Разрабатываемое трикотажное сетеполотно, используемое в качестве ОП рефлектора антенны, должно обладать максимальной изотропностью физико-механических свойств, светопропускной способностью не менее 96% и минимально возможной массой, при этом сетеполотно должно иметь высокие показатели размеростабильности [51].

Рассматривая комплекс этих требований, можно сделать вывод, что это должен быть легкий эластичный материал с высокими изотропными механическими свойствами, сохраняющий их в условиях длительной эксплуатации [1].

Исходя из требований, предъявляемых к ОП рефлекторов [9], таким физико-механическим показателям наиболее полно может удовлетворять только крупноячеистое основовязаное полотно, для которого необходимо определить форму, структуру и величину образующих его ячеек.

### **2.1 Выбор формы ячеек, образующих структуру трикотажных сетеполотен, используемых для изготовления отражающей поверхности**

При проектировании структуры трикотажного сетеполотна, применяемого в качестве ОП, необходимо определить форму ячеек, образующих сетеполотно, которая позволит получить сетеполотно максимальной возможной ширины при его растяжении, сохраняя при этом заданную форму ячеек, обеспечивающих необходимую светопропускную способность и равнопрочность полотна, как по ширине, так и по его длине.

Необходимых показателей равнопрочности и светопропускной способности полотна можно достигнуть, если ячейки имеют одинаковые площади, одинаковую форму и линейные размеры. Идеальной структурой, отвечающей этим

требованиям, может служить структура ткани, где нити основы и утка могут образовывать квадратные ячейки одинаковых размеров и площади. Тканая сетка при квадратных ячейках имеет изотропные механические свойства, но существенным недостатком является недостаточная эластичность и формообразующая способность этих материалов. Более высокими эластичными свойствами и формообразующими способностями обладают полотна из трикотажа [8].

Для изготовления ОП могут быть использованы сетеполотна кулирных и основовязанных переплетений. Трикотаж кулирных переплетений имеет ряд существенных недостатков, которые не позволяют его широкого использования в качестве материала для ОП. К этим недостаткам можно отнести ограниченный размер ячеек, ограниченная растяжимость по длине и ширине полотна, а также повышенная распускаемость при повреждении петельной структуры.

Трикотаж основовязанных переплетений имеет ряд преимуществ по сравнению с переплетениями кулирного трикотажа. Основовязанный трикотаж позволяет получать сетеполотна практически с любыми заданными размерами ячеек, сохраняя при растяжении стабильность заданных размеров. Кроме того, основовязанный трикотаж практически не распускается при повреждении петельной структуры [5].

Важной характеристикой основовязанных сетеполотен является их ширина. На современных основовязальных машинах можно получать сетеполотна с шириной от 2 до 6 м, а при раскрытии ячеек полотна, ширина сетематериала может увеличиваться в несколько раз, точный размер ширины полотна зависит от структуры, размеров и формы ячеек, а также ширины игольницы используемой машины. Такая возможность увеличения ширины сетематериала особенно важна для покрытий трансформируемых рефлекторов большой апертуры, так как изготовление заготовки ОП из полотен большой ширины позволит уменьшить количество соединительных швов, что обеспечит целостность структуры сетематериала и сократит расходы и время изготовления ОП. Кроме того, эти преимущества позволят использовать трикотажные сетеполотна основовязанных

переплетений, выработанных из металлических нитей, в качестве материала ОП антенн любых размеров и конструкций.

Характерной особенностью сетезделений является наличие в них сквозных просветов – ячеек [10]. Размер, форма и порядок расположения таких ячеек в трикотажном сетеполотне определяется его петельной структурой и ритмом проборки ушковых гребенок. Очевидно, что строение ячеек будет определять два основных свойства: материалоемкость и светопропускную способность трикотажного сетеполотна.

На рисунке 2.1 представлены формы наиболее часто используемых ячеек при выработке трикотажных сетеполотен.

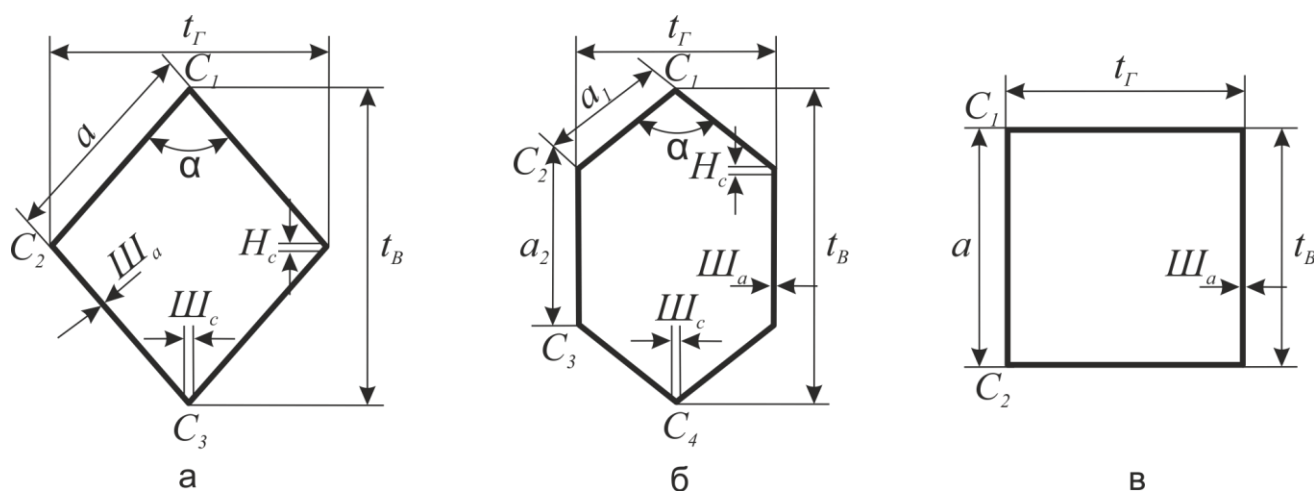


Рисунок 2.1 – Основные виды ячеек, образующих структуру трикотажных основовязаных сетеполотен:

а – ячейка ромбовидной формы; б – ячейка сотовидной формы;  
в – ячейка в форме квадрата

Где,  $a_n$  – сторона ячейки, определяется расстоянием от центра одной связки  $C_n$  до центра ближайшей соседней связки  $C_n$ , мм;

$C_n$  – связки ячеек;

$Ш_a$  – ширина стороны ячейки, мм;

$Ш_c$  – ширина связки ячейки, мм;

$H_c$  – высота связки, характеризующаяся числом рядов вязания, образующих связку ячейки, мм;

$t_1$  - шаг ячейки по вертикали, выраженный в мм, изменяющийся в зависимости от угла  $\alpha$  раскрытия ячейки;

$t_2$  - шаг ячейки по горизонтали, выраженный в мм, изменяющийся в зависимости от угла  $\alpha$  раскрытия ячейки.

В своей работе [50] профессор Л.А. Кудрявин исследовал различные виды сетеполотен и способы их выработки, классифицировал сетезделия в зависимости от расположения и формы в них ячеек.

На рисунке 2.2 а-ж представлены структуры трикотажных сетеполотен с различными формами и расположением в них ячеек.

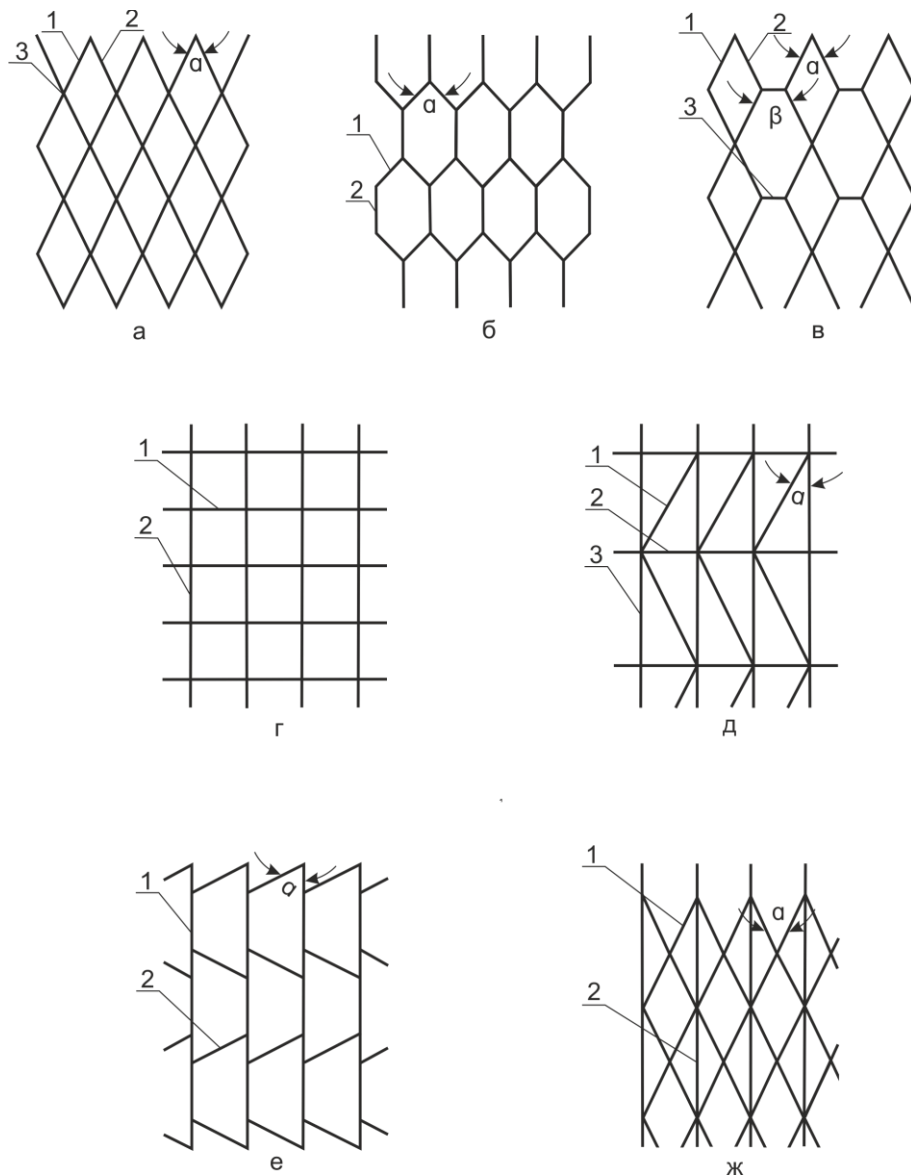


Рисунок 2.2 – Расположение ячеек различных форм в трикотажных основовязанных сетеполотнах



Для полотен, изображенных на рисунке 2.2 а, б, в, характерно отсутствие сплошных связей по длине и ширине полотна. При двухосном приложении внешних усилий к таким полотнам, они легко изменяют занимаемую площадь за счет раскрытия углов  $\alpha$  их ячеек.

Полотно, изображенное на рисунке 2.2 а, состоит из ячеек формы ромба, с углом раскрытия  $\alpha$  между сторонами 1 и 2, соединяющихся связками 3. При двухосном нагружении таких полотен, можно получить форму ячеек в виде квадратов одинаковых размеров и формы при одинаковой длине сторон ячеек. В растянутом состоянии при одинаковом числе ячеек по ширине и длине, полотно будет иметь одинаковые размеры, как по длине, так и по ширине.

Сетеполотна, образованные сотовидными ячейками (рисунок 2.2 б) с углом раскрытия  $\alpha$  и сторонами 1, 2 ячей или комбинацией двух видов ячеек (рисунок 2.2 в) с углами раскрытия  $\alpha$ ,  $\beta$  и сторонами 1, 2, 3 ячей, при двухосном нагружении будут иметь неодинаковые размеры по длине и ширине полотен. Такие полотна при растяжении в большей степени деформируются вдоль петельных столбиков, так как растяжимость сетеполотна по вертикали определяется растяжимостью петельных столбиков, а по горизонтали ограничивается растяжимостью сторон 3.

Следует отметить, что сетеполотна, образованные ячейками имеющими шестиугольную форму (рисунок 2.2 в), могут иметь более высокую светопропускную способность по сравнению с полотнами из ромбовидных ячеек.

Однако, получить равнопрочные стороны ячеек практически невозможно, так как вертикальные стороны 2 (рисунок 2.2 б) всегда будут состоять по крайней мере из двух нитей, а стороны 1, в этом случае только из одной, аналогично стороны 3, для структуры сетеполотна, изображенного на рисунке 2.2 в, также будут образованы из одной нити, что приведет к неравнопрочности структуры полотна по ширине и длине. Следовательно, полотна с шестигранной формой ячеек для проектирования сетеполотна, используемого в качестве ОП рефлектора антенны, в дальнейшем рассматривать нецелесообразно.

На рисунках 2.2 г, д показаны примеры ячеек другой формы и

расположения их в полотне. Для таких полотен при различной форме и размерах ячеек со сторонами 1, 2 (рисунок 2.2 г) и 1, 2, 3 (рисунок 2.2 д) характерно наличие сплошных связей по их длине и ширине. При двухосном растяжении таких полотен, площадь и размеры их ячеек останутся практически неизменными. Выработка полотен такой структуры имеет технологические ограничения, связанные с шириной игольницы вязальной машины, от которой зависят размеры вырабатываемых ячеек, расположенных по ширине полотна, а также ограничение ширины полотен, что исключает возможность их применения для изготовления ОП.

На рисунке 2.2 е, ж приведены схемы строения сетеполотен, ячейки в которых расположены так, что в полотнах образуются связи двух видов: наклонные 2, направленные под углом  $\alpha$  и вертикальные 1 (рисунок 2.2 е) или направленные только вдоль полотна (рисунок 2.2 ж). Форма ячеек и занимаемая ими площадь в таких сетеполотнах может легко изменяться при действии даже незначительных по величине усилий, действующих по направлениям, не совпадающим с направлением наклонных связей 2. При растяжении полотна по ширине, ячейки, образованные только наклонными связями 2, могут принять форму трапеции (рисунок 2.2 е) или квадратов (рисунок 2.2 ж). Однако, при растяжении полотна по его длине, полному раскрытию ячеек будут препятствовать вертикальные столбики 1, что приведет к неравнопрочности структуры сетематериала и уменьшению светопропускной способности. Кроме того ширина таких полотен ограничена. Структуры сетеполотен с расположением и формой ячеек, представленные на рисунках 2.2 е, ж, из-за указанных недостатков для проектирования сетематериала ОП рассматриваться в дальнейшем не будут.

Проведенный анализ форм ячеек и их расположения в сетеполотнах показал, что для дальнейшего проектирования сетеполотна, используемого в качестве ОП, обладающего равнопрочной структурой и высокими механическими характеристиками, целесообразно рассматривать варианты сетеполотен, в которых ячейки имеют форму в виде ромбов (рисунок 2.2 а). При двухосном растяжении

таких полотен, ячейки с одинаковым числом петель в каждой сторонке будут принимать форму квадратов, обеспечивая равнопрочность сетеполотна как по ширине, так и по его длине. Кроме того, при растяжении таких сетеполотен, занимаемая площадь образующих их ячеек может увеличиться в зависимости от длины сторонки, обеспечивая тем самым необходимую светопропускную способность.

Для ОП крупногабаритных трансформируемых антенн, обладающих светопропускной способностью более 96%, требуется разработать материал, имеющий значительную площадь ячеек, определяемую размером их сторонок. Такой материал может быть получен при использовании основовязанных филейных переплетений, на базе которых можно получать различные модификации трикотажных сетеполотен, отличающихся своими свойствами [12].

Крупногабаритные трансформируемые антенны работают в широком диапазоне длин волн и частот. Диапазоны частот подразделяются на *P*, *L*, *S*, *Ku*, *Ka*. Известна зависимость между длиной электромагнитной волны и размером сторонки ячейки металлического трикотажного сетеполотна ОП антенны [18].

В соответствии с заданными параметрами длины волны определяется структура трикотажа и размер образующих его ячеек. В таблице 2.1 представлены диапазоны длин волн, частот и соответствующие им размеры сторонок ячеек сетеполотна.

Таблица 2.1 - Изменение размеров сторонки ячейки сетеполотна в зависимости от частот радиодиапазона и соответствующих им электромагнитных волн.

Название диапазона	Частота радиодиапазона, ГГц	Длина электромагнитной волны, $\lambda$ , см	Размер сторонки ячейки, $a=\lambda/(15...20)$ , см
<i>P</i>	0,4 – 0,47	70	4,6 – 3,5
<i>L</i>	1,3 – 1,5	23	1,53 – 1,15
<i>S</i>	3,0 – 3,3	9 - 10	0,47 – 0,45
<i>Ku</i>	13,7 – 15,0	3	0,2 – 0,15
<i>Ka</i>	22,5 – 25,5	1,2	0,08 – 0,06

Размер стороны  $a$  ячейки можно принять как:

$$a = \lambda / (15 \dots 20),$$

где  $\lambda$  – длина электромагнитной волны.

Из данных таблицы 2.1 видно, что размер стороны ячейки в трикотажном сетеполотне, может варьироваться в пределах  $4,6 \div 0,06$  см. Проектирование структур трикотажного сетеполотна с ячейками в форме квадратов предполагается производить с размерами сторон от 10 до 15 мм, которые будут удовлетворять работе в заданном  $L$  диапазоне длин электромагнитных волн  $\lambda = 23$  см.

Проектирование структуры сетеполотна с заданными параметрами будет осуществляться на базе филейного основовязаного трикотажа, в котором необходимо разработать структуру сторонок ячеек и участков связок, соединяющих эти стороны.

## **2.2 Проектирование структур сторонок с заданными геометрическими размерами ячеек трикотажного сетеполотна**

При проектировании структуры сетеполотна исходным явились заданные параметры размера и формы ячейки. При этом учитывались требования, предъявляемые к материалам, используемым в качестве ОП рефлекторов космических антенн.

Независимо от размеров ячеек ромбовидной формы, изображенных на рисунке 2.2 а, в трикотажном сетеполотне, по снятию с машины без приложения усилий растяжения, стороны 1 всегда будут находиться в вертикальном положении, а участки связок 3 разделять соседние ячейки по вертикали.

При образовании вертикальных сторонок ячеек в трикотажных сетеполотнах, петельные столбики каждой вертикальной стороны можно образовать следующими видами основовязанных переплетений:

- «цепочка», тогда столбики сторонок будут иметь вертикальную протяжку;
- «трико» или его производными («сукно», «шарме»);

- принципиально, при образовании сторонки ромбовидных ячеек возможно сочетание указанных переплетений.

Для обеспечения равнопрочности структуры трикотажных сетеполотен число петель в каждой сторонке ячейки по всей ее длине должно быть одинаковым, при этом число нитей в остовах каждой петли должно быть также одинаковым. Вид и количество петель используемых переплетений в сторонке ячейки оказывают существенное влияние на массу трикотажного сетеполотна, его светопропускную способность и прочность. С целью обеспечения минимально возможной массы сетеполотна и повышения светопропускной его способности остов каждой петли сторонки ячейки должен быть образован только из одной нити, а ширина сторонки должна быть минимальной [11]. Для обеспечения минимальной материалоемкости полотна при прочности сторонки ячеек и участков связок, примем, что ширина сторонки ячейки должна состоять только из двух петель.

Так как при образовании участков связок, нити сторонки ячеек должны меняться местами, а структуры левой и правой частей связок должны быть равнопрочными, суммарное число нитей, образующих вертикальные сторонки ячеек, должно быть одинаковым и четным.

Каждая ячейка полотна образуется четырьмя сторонками (рисунок 2.1 а), которые через определенное число петельных рядов соединяются связками, требующими обязательно встречных кладок. Чтобы выполнить встречные кладки, каждые из двух соседних сторонки ячеек должны вязаться разными гребенками. Таким образом, для вязания сетеполотна с ромбовидными ячейками необходимо, по крайней мере, две гребенки, если каждая сторонка вяжется одной гребенкой и образуется из двух петель одного вида переплетения.

На рисунке 2.3 представлены варианты графических записей переплетений и кладок нитей, обеспечивающих получение двух соседних сторонки ромбовидных ячеек: образованных переплетением «цепочка» с открытыми петлями 1 (рисунки 2.3 а, б, в), с закрытыми петлями 2 (рисунки 2.3 г, д, е) и комбинацией открытых 1 и закрытых 2 петель (рисунки 2.3 ж, з, и).

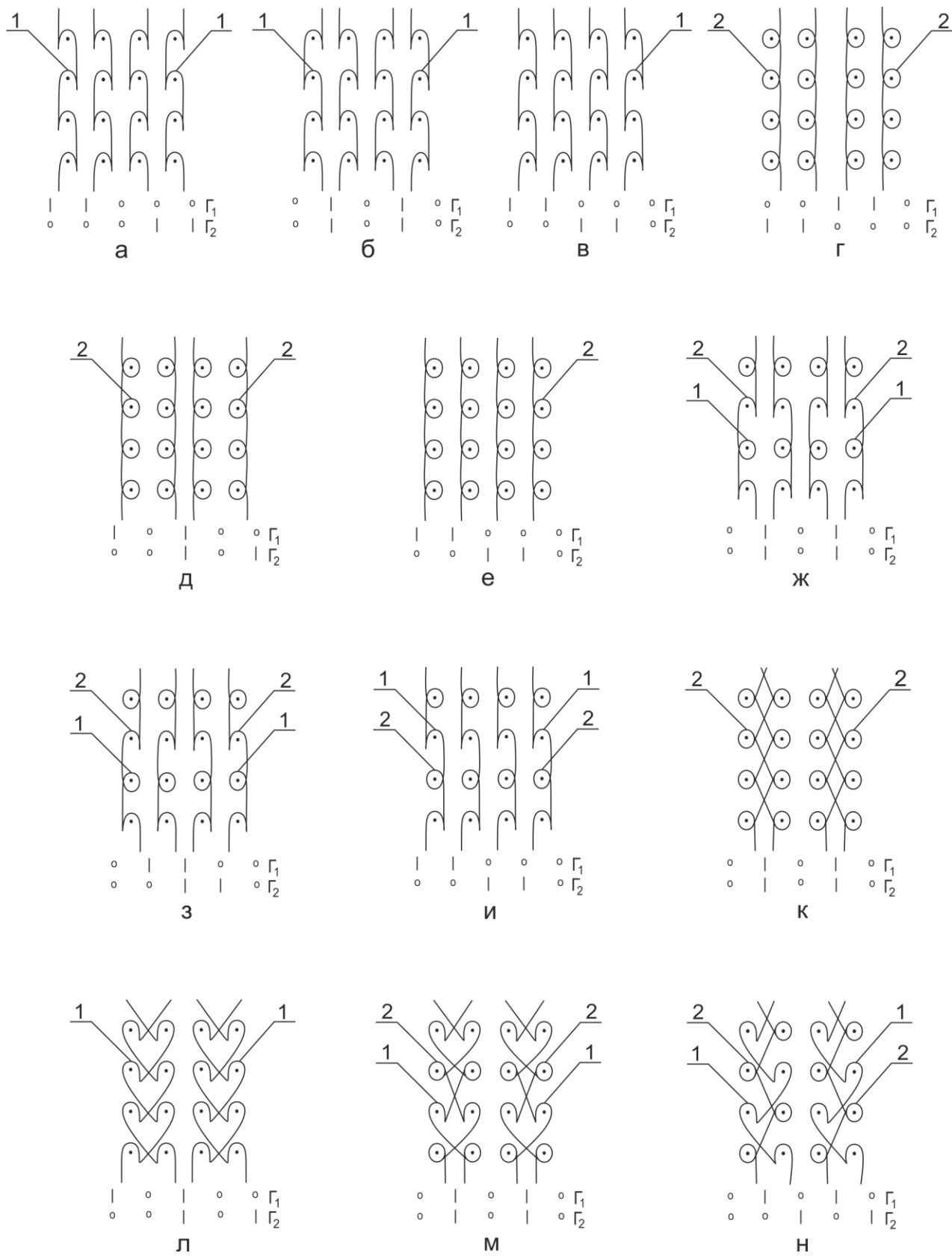


Рисунок 2.3 – Структуры сторонки ячеек в трикотажном сетеполотне

На рисунке 2.3 к, л, м, н, представлены графические записи структур сетеполотен, образованных переплетениями: «трико» с закрытыми 2 (рисунок 2.3 к), открытыми 1 (рисунок 2.3 л) и комбинацией закрытых 2 и открытых 1 петель (рисунки 2.3 м, н). Из рисунка 2.3 видим, что для получения полотен с ячейками, имеющими равновесные – одинаковой длины и структуры сторонами, должны быть образованы всегда двумя гребенками при определенной заправке нитей. Важным преимуществом использования двух петельных столбиков «цепочки» для образования сторонки ячеек, является возможность сохранения сторонаки ячейки при обрыве одной из «цепочек», чего нельзя достигнуть при выработке сторонки переплетением «трико-трико», которое сразу распускается при обрыве одной нити. Следовательно, далее будут рассмотрены только варианты вязания сторонки, образованных переплетением «цепочка».

Для выбора вида петель «цепочки» необходимо рассмотреть особенности технологического процесса вязания открытых и закрытых петель.

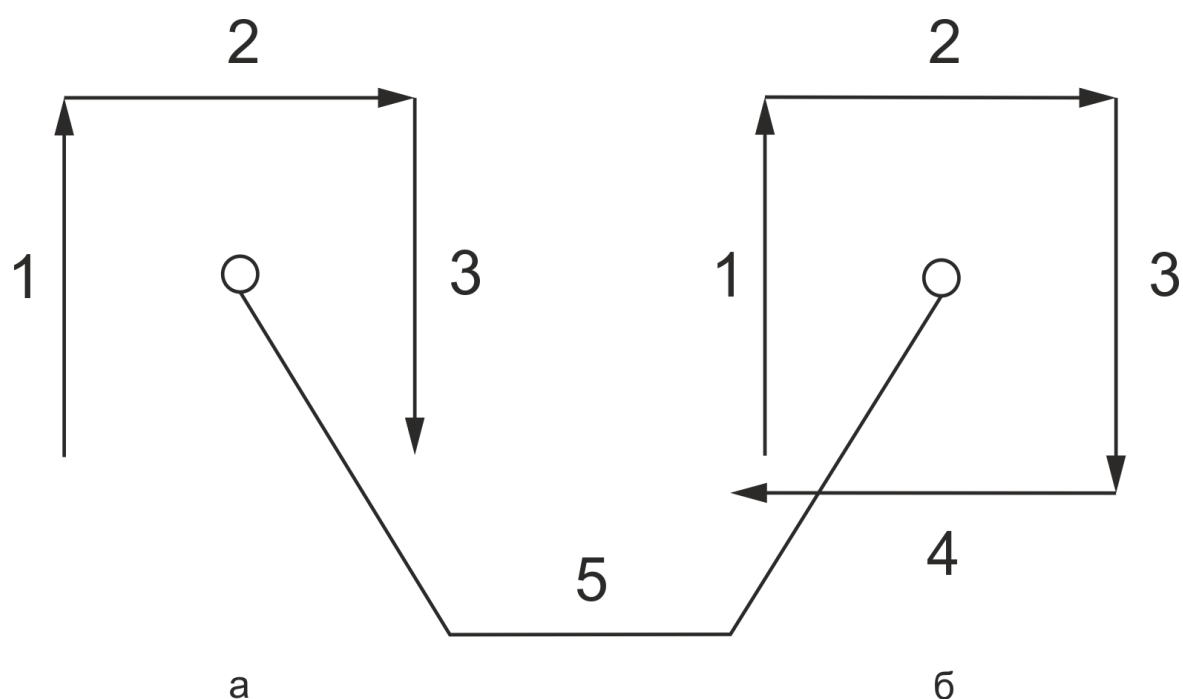


Рисунок 2.4 – Движение ушковых в момент прокладывания нитей при образовании открытых и закрытых петель:

- а – операция прокладывания нити для образования открытых петель;
- б – операция прокладывания нити для образования закрытых петель

Так как при выполнении операции прокладывания для образования открытых петель, ушкови́на совершает только три действия: прокачку между иглами вперед 1 (рисунок 2.4 а), сдвиг 2 перед иглой 5 и обратную прокачку 3 за иглы 5. Следовательно, игла может не выбрать всей поданной механизмом подачи нити. Нить может находиться в менее натянутом состоянии, чем при вязании закрытых петель, так как при образовании закрытых петель ушкови́на кроме движений 1, 2, 3 (рисунок 2.4 б) совершает четвертое дополнительное движение – сдвиг 4 за иглами, обкручивая стержень иглы 5. В результате сдвига нить натягивается, что препятствует сбрасыванию проложенной нити.

Таким образом, процесс вязания закрытых петель более надежен. Особенно вероятность сброса открытых петель может увеличиваться при переработке металлических нитей, обладающих большей упругостью по сравнению с традиционными: натуральными или синтетическими нитями аналогичных линейных плотностей, что может привести к повышенной опасности сбрасывания открытых петель, образуемых из металлических нитей.

Кроме того в открытых петлях при выстое ушкови́ны за иглами в точке перегиба нити  $A$  (рисунок 2.5 б) возникает равнодействующее усилие  $F_{p1}$  и разрывное усилие  $F_{p0}$ , которое больше, чем равнодействующее усилие  $F_{p2}$  (рисунок 2.5 а) и разрывное усилие  $F_{p3}$  в точке  $B$ , так как угол  $a_3 > a_0$ , что может привести к разрыву открытой петли в точке  $A$  (рисунок 2.5 б).

Таким образом, для вязания сторонки ячеек сетеполотен будут использованы «цепочки» только с закрытыми петлями. Варианты, изображенные на рисунках 2.3 г, д, е имеют только закрытые петли и могут быть рекомендованы для разработки полотен, используемых в качестве ОП.

Для образования равнопрочных сторонки ячеек с минимальным расходом сырья с получением равнопрочных связок целесообразно использовать переплетение «цепочка» с закрытыми петлями, образованными двумя петельными столбиками, используя частичную проборку гребенок, по вариантам, представленным на рисунках 2.3 г, д.



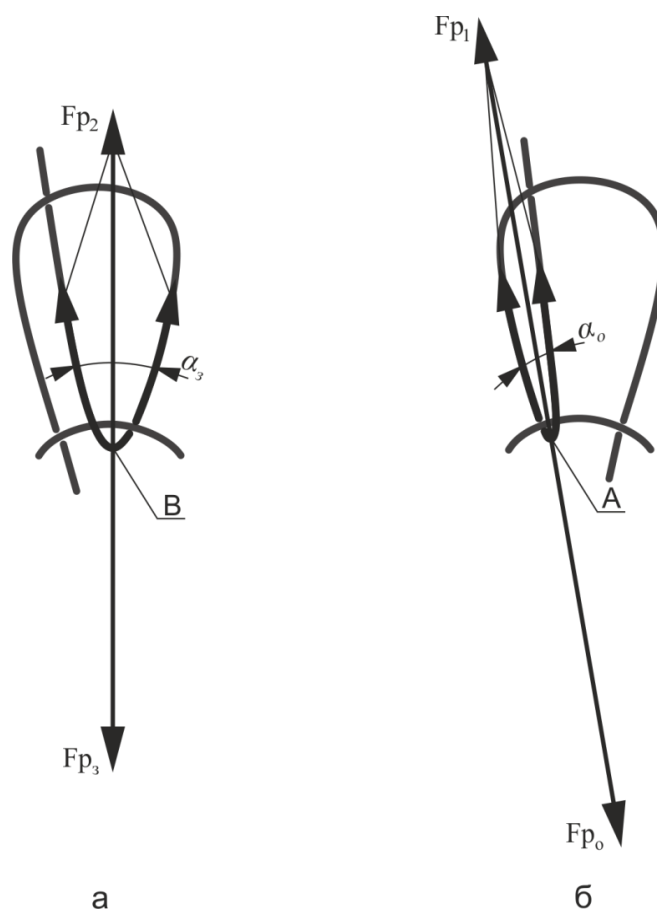


Рисунок 2.5 – Образование петли переплетения «цепочка»:  
а – закрытая петля; б – открытая петля

Представленные на рисунках 2.3 г, д структуры сторонки ячеек могут обеспечивать любую заданную длину, то есть любой размер ячеек. Для получения ячеек заданной формы, для данных структур сторонки необходимо разработать структуры участков связок.

### 2.3 Проектирование структур участков связок ячеек трикотажных сетчатых материалов

В строении ячеек основовязаных сетеполотен различают вертикальные сторонки, отделенные друг от друга по горизонтали (по направлению петельных рядов) [13]. Для разрабатываемого полотна каждая вертикальная сторонка состоит из двух взаимонесвязанных петельных столбиков и соединяется с соседними вертикальными сторонками протяжками, образуя в местах соединения участки

связок.

При проектировании участков связок, необходимо исходить из следующих требований:

- узловое соединение не должно снижать прочность сетеполотна и при двухосном нагружении сетеполотна иметь не меньшую подвижность, чем подвижность петель в сторонках ячеек;
- элементы петель в связке ячейки не должны выходить из плоскости сетеполотна;
- узловое соединение при двухосном растяжении сетеполотна должно способствовать образованию ячейки в форме квадрата.

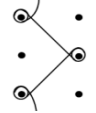
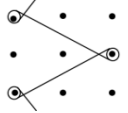
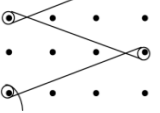
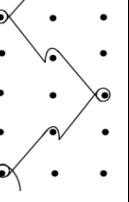
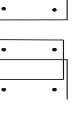
Любая структура трикотажного переплетения определяется образующими ее элементами петельной структуры – их видом, размерами, пространственным расположением и взаимосвязью [54].

Наряду со свойствами используемого сырья, структура участков связок определяет не только размеры и форму ячейки, но и прочность сетеполотна в целом, так как ее повреждение в большинстве случаев приводит к частичному роспуску петельной структуры соединяемых вертикальных сторонок.

Таким образом, свойства основовязанных сетеполотен, определяемые структурой связок, будут зависеть от размера, пространственного расположения и количества протяжек, формирующих участки связок. Следует отметить, что чем больше размер связки, образованной протяжкой, тем меньше их прочность.

Размер протяжек (длина) основовязаного трикотажа зависит от вида основовязаного переплетения, образующегося в двух соседних петельных рядах [58]. Так как, в структуре связок протяжки должны соединять между собой сторонки ячеек, состоящие из двух петельных столбиков, то при формировании участков связок могут быть использованы только основовязанные переплетения с раппортом структуры по горизонтали больше единицы, то есть  $Rb > 1$ . В таблице 2.2 представлены графические записи кладок нитей главных и производных основовязанных переплетений, которые могут быть использованы для соединения петельных столбиков.

Таблица 2.2 - Графические записи кладки нитей, используемые для соединения петельных столбиков основовязанным переплетением.

Трико (Т)	Сукно (С)	Шарме (Ш)	Атлас (А)	Уток (У)
				

Из таблицы 2.2 видно, что к переплетениям, которые имеют раппорт структуры по горизонтали  $Rb$  больше единицы, относятся: «трико», «атлас» и их производные, а также переплетения с «уточной» кладкой нитей.

Пространственное расположение протяжек в структуре основовязаного трикотажа определяется направлением кладок одиночной нити в соседних петельных рядах и направлением кладок группы нитей в одном петельном ряду. Возможны следующие виды пространственного расположения протяжек:

- одностороннее – постоянное направление кладок одиночных нитей в соседних петельных рядах. Примером петельной структуры с таким пространственным расположением протяжек является переплетение «атлас»;

- двухстороннее – изменение направления кладок одиночных нитей в соседних петельных рядах. Примером петельной структуры с таким пространственным расположением протяжек является переплетение «трико» и его производные;

- встречное – противоположное направление кладок двух и более нитей в одном петельном ряду. Примером петельной структуры с таким пространственным расположением протяжек являются платированные основовязанные переплетения;

- двухсторонняя встречная, сочетающая особенности двухсторонней и встречной кладок [60].

На основе сочетания возможных вариантов видов кладки и пространственного расположения протяжек были определены базовые элементы структуры участков вязок основовязаного сетеполотна.

Повторением таких базовых элементов, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях можно получать структуры вязок любого заданного размера. Выбор типа вязок зависит от числа и места расположения связываемых петельных столбиков [45].

В большинстве случаев, структура вязок основовязаного сетеполотна формируется протяжками нитей, входящих в структуру вертикальных сторонok ячеек [59]. Поэтому, максимально возможное число отдельных нитей, формирующих вязку, будет зависеть от числа нитей, входящих в структуру вертикальных соседних сторонok ячеек.

Таким образом, количество протяжек в вязке основовязаного сетеполотна будет определяться числом отдельных нитей, образующих структуру вязки и видом базового элемента, формируемого каждой отдельной нитью.

Очевидно, что структура вязок основовязаных сетеполотен может быть весьма разнообразна, но для обеспечения рациональной технологии вязания при формировании участков вязок предпочтительно использовать минимальное количество ушковых гребенок и один вид основовязаного переплетения, то есть использовать один из базовых элементов на участке вязок в одном петельном ряду.

Учитывая вышеизложенное, на базе представленных в таблице 2.2 схем соединения, были разработаны структуры вязок для образования сетеполотен с ячейками, имеющими форму ромба, сторонки которого образованы из двух петельных столбиков «цепочки» с закрытыми петлями. Структуры сторонok ячеек и разработанные варианты узловых соединений, представлены на рисунке 2.6.

Метод комбинаторики видов переплетений и числа базовых элементов позволяет обеспечить разработку всех возможных вариантов структур участков вязок основовязаных сетеполотен. Однако выбор наиболее оптимальной структуры вязок определяется требованиями, предъявляемыми к конкретному

трикотажному сетеполотну и условиями его эксплуатации [44].

Из рисунка 2.6 а видно, что протяжки 2 типа «трико» короче протяжек типа «шарме» 4, по этой причине при растяжении полотна могут порваться первыми. Кроме того, при выработке сетеполотен из металлических нитей малых диаметров (0,02 – 0,03 мм), при прокладывании протяжек 4 типа «шарме» велика вероятность обрыва нити, что приведет к образованию дефекта на сетеполотне.

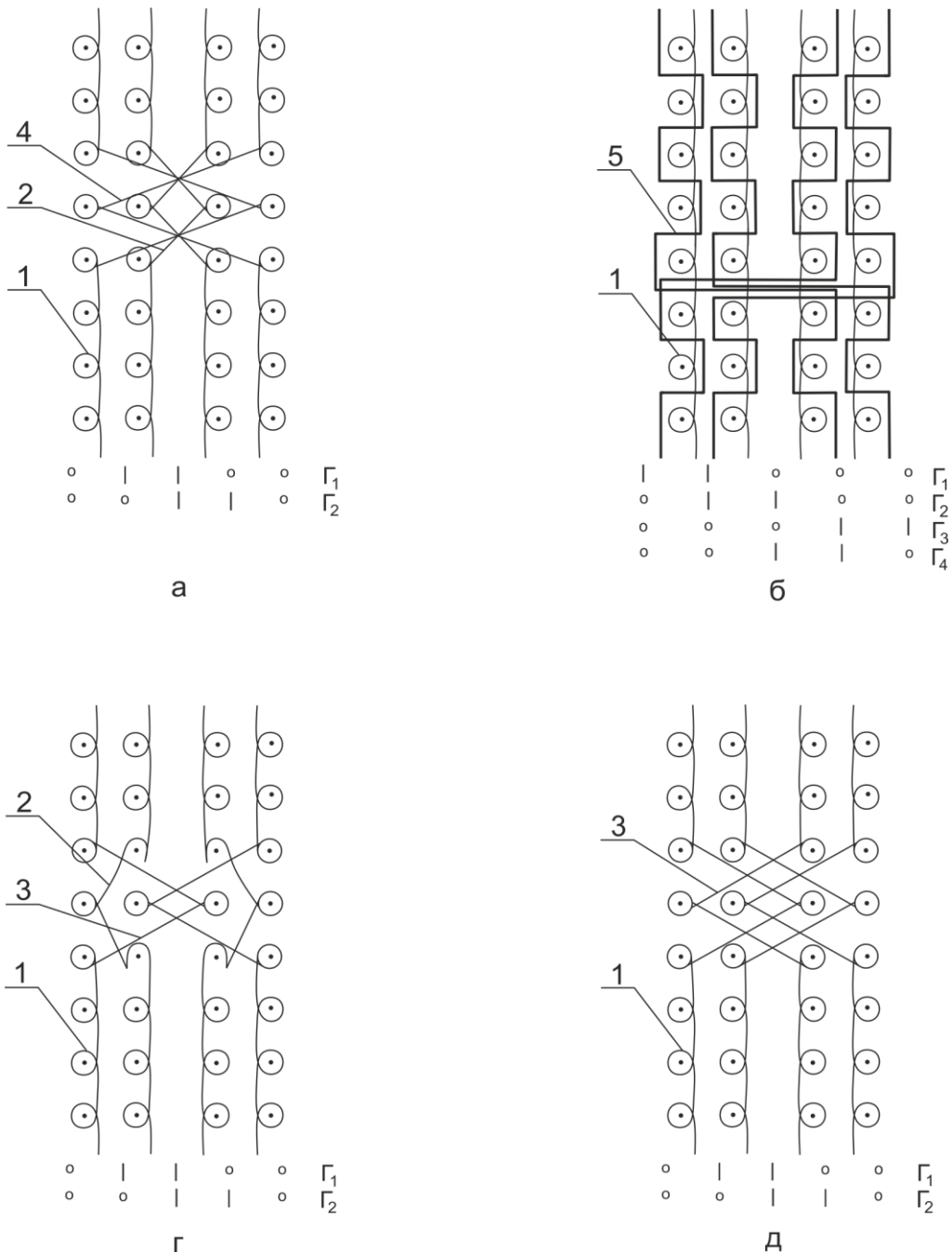


Рисунок 2.6 – Структуры сторонки и связки в трикотажном сетеполотне

Последнее недопустимо для материалов, используемых в качестве ОП.

В процессе прокладывания, работа, которую совершает нить (рисунок 2.7), при равномерном движении по ушковине, равна:

$$A = F_0 S,$$

где  $F_0$  - равна силе трения нити по ушковине при прокладывании;

$S$  – путь, который должна пройти нить по ушковине в процессе прокладывания.

В свою очередь:

$$F_0 = \mu F,$$

где  $\mu$  - коэффициент трения нити по ушковине;

$F$  - усилие натяжения нити в момент прокладывания.

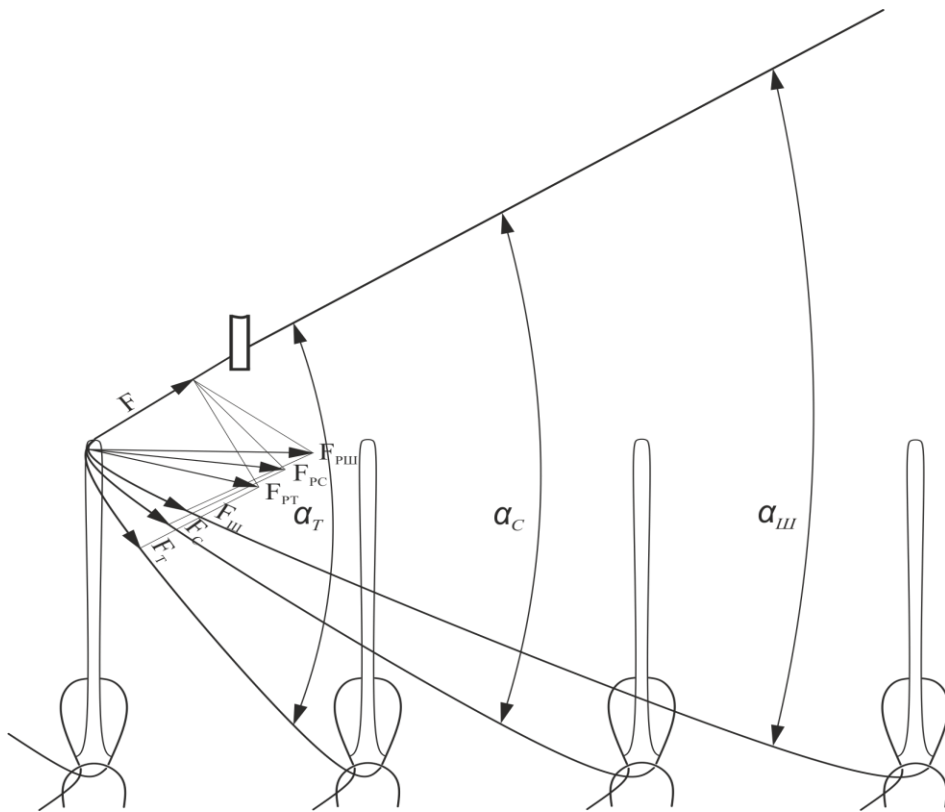


Рисунок 2.7 – Изменение углов изгиба нити при вязании переплетений: «трико», «сукно», «шарме» на основовязальной машине 18 класса

Так как при выработке переплетения типа «шарме» нить должна пройти по ушковине больший путь  $S$ , чем при вязании переплетений «сукно» или «трико»,

то работа  $A_{ш}$ , выполняемая силой натяжения  $F$  нити при вязании «шарме» должна быть больше,  $A_c$  и  $A_t$ , необходимых при вязании переплетений типа «сукно» и «трико», то есть

$$A_{ш} > A_c > A_t,$$

что может привести к обрыву нити при вязании полотен переплетением «шарме».

Кроме того, углы  $\alpha$  (рисунок 2.7), образующиеся между ветвями нитей, расположенными от петли до иглы, на которую прокладывается нить и от этой иглы до ушковины, при вязании полотен переплетением «шарме» меньше, чем при вязании полотен переплетениями «сукно»  $\alpha_c$  и «трико»  $\alpha_t$ , то есть

$$\alpha_{ш} < \alpha_c < \alpha_t,$$

что требует больших усилий  $F$  для передвижения нити в процессе вязания переплетения «шарме».

Однако, даже при равенстве усилий натяжения  $F$  и усилий сопротивлений, возникающих в нити, то есть, если  $F = F_{ш} = F_c = F_t$ , можно видеть (рисунок 2.7), что равнодействующая сила  $F_{рш}$ , действующая на нить в месте перегиба на игле, будет больше при выработке полотен переплетением «шарме», то есть

$$F_{рш} > F_{рт} > F_{рс},$$

где  $F_{рш}$  – равнодействующая сила, действующая на нить в процессе вязания полотен переплетением «шарме»;

$F_{рс}$  – равнодействующая сила, действующая на нить в процессе вязания полотен переплетением «сукно»;

$F_{рт}$  – равнодействующая сила, действующая на нить в процессе вязания полотен переплетением «трико».

Так как  $F_{рш} > F_{рт} > F_{рс}$ , то условия переработки нити при вязании переплетения типа «шарме» тяжелее и могут привести к обрыву нити. Вышеизложенное было подтверждено экспериментально при вязании полотен переплетением «шарме-шарме» из металлических нитей диаметром 0,02 мм на основовязальной машине «Кокетт-4» типа «вертелка» 18 класса.

Необходимо отметить, что при вязании трикотажного полотна

переплетением «шарме» (рисунок 2.8), условия вязания на машинах различных классов различны. Так как углы  $\alpha_n$  между нитями, идущими от провязанной петли к игле, на которую прокладывается нить, и ветвью, образованной нитью, идущей от ушковины к игле, получающей нить, различны.

На рисунке 2.8 изображены иглы 1÷5 с учетом игольных шагов при сдвиге ушковинок 6, 7, 8, 9, 10 при вязании переплетения типа шарме для машин соответствующих классов: 18, 20, 22, 24 и 26, условно приняли, что подъем игл и ушковинок выполняется на одинаковую высоту.

Из рисунка 2.8 видно, что чем ниже класс вязальной машины, тем меньше угол  $\alpha_n$ , а, следовательно, равнодействующая сила  $F_n$ , действующая на нить в момент прокладывания, больше и, следовательно, разрывающая сила, действующая на нить больше. То есть условия переработки нити при вязании переплетений типа «шарме» тяжелее на машинах низких классов, что подтвердило необходимость отказаться от использования переплетений типа «шарме» при вязании связок ячеек.

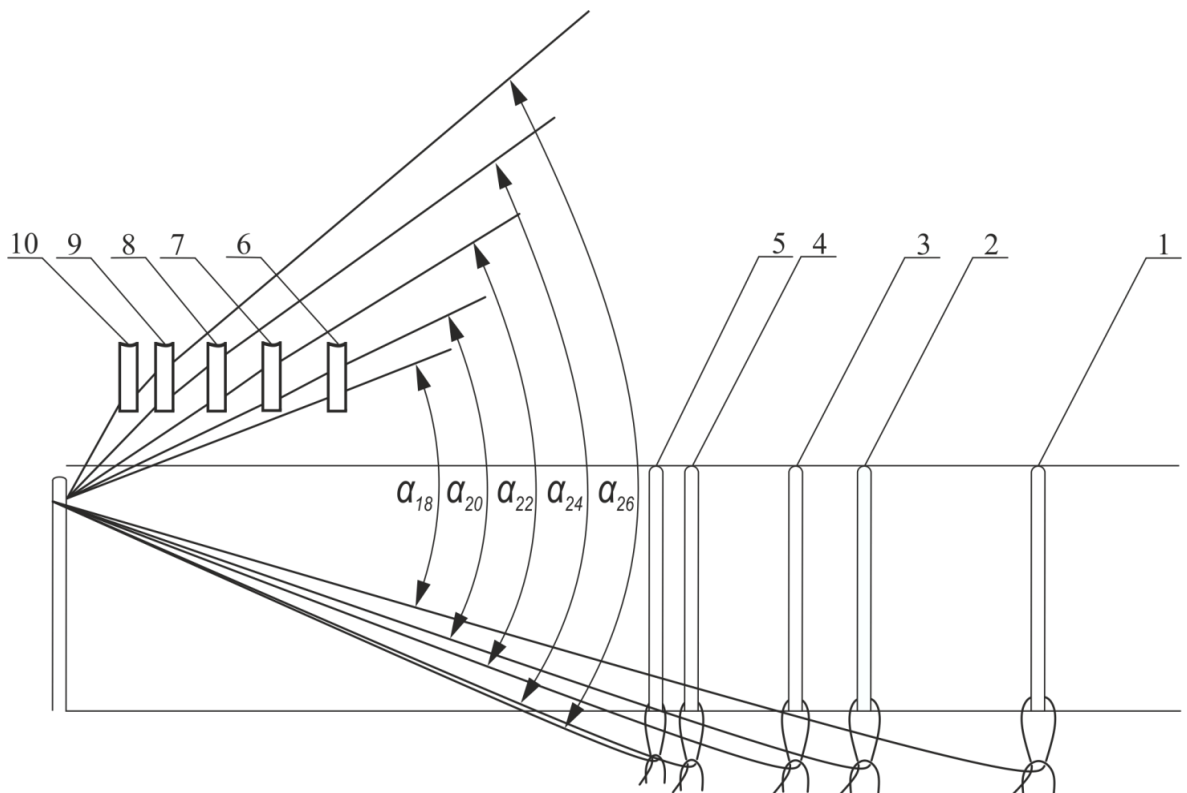


Рисунок 2.8 – Изменение углов изгибания нити при вязании переплетения типа «шарме» на машинах различных классов



Однако, для вязания трикотажного сетеполотна, была выбрана машина 18 класса, на которой для упругих металлических нитей условия прохода нитей между иглами, при выполнении прокачки ушковины облегчаются из-за большего игольного шага и большего зазора между иглами и прокладываемой нитью, что делает процесс прокладывания более надежным, чем на машинах более высоких классов.

При проектировании связок для сетеполотен с ромбовидными ячейками в качестве связующих могут использоваться уточные нити 5 (рисунок 2.6 б), которые ввязываются различными способами в каждую «цепочку» сторонки ячейки и образуют перекрестия в местах соединения смежных сторонки ячейки. Необходимо отметить, что применение уточных нитей приведет к увеличению общего числа гребенок, необходимых для выработки сетеполотна, а также увеличит поверхностную плотность полотна и снизит показатель светопропускной способности полотна. Кроме того, полотна, выработанные с применением уточных нитей, обладают малой растяжимостью, поэтому в дальнейшем образование связок с помощью уточных нитей рассматриваться не будут.

На рисунке 2.6 в изображена структура связок, образованная двухсторонними «триковыми» протяжками 2, соединяющими между собой петельные столбики «цепочек», входящих в сторонки ячейки встречной кладки и протяжек 3 типа «сукно», соединяющих петли противоположных сторонки ячейки. Из рисунка 2.6 в видно, что участок соединения, состоит из четырех нитей разной длины, что позволяет сделать вывод о недостаточной прочности участка связки и исключить данный вариант для выработки крупноячеистого трикотажного сетеполотна.

Для структуры сетеполотна со сторонкой ячейки, состоящей из двух петельных столбиков, выработанных переплетением «цепочка» 1 с закрытыми петлями (рисунок 2.6 д), была определена структура узлового соединения, представляющего собой протяжки 3 петель переплетения «сукно» встречной кладки, с раппортом по ширине ( $Rb$ ), равным трем петельным столбикам. Такая

структура узлового соединения повышает прочность сетеполотна в поперечном направлении. В этом случае при нагружении сетеполотна по ширине нагрузку воспринимают две сторонки каждой ячейки.

На рисунке 2.9 изображена графическая запись кладки нитей для выработки крупноячеистого филейного трикотажного сетеполотна, выработанного переплетением «цепочка» с закрытыми петлями, соединенными в участках связок «суконной» кладкой нитей. Из рисунка 2.9 видно, что каждая сторонка 1 ячейки состоит из двух «цепочек» с закрытыми петлями 4, соединенными связками 2 и 3 между собой встречными «суконными» протяжками 5. Однако, в связке 3 в «суконных» протяжках, первая «суконная» петля 6 открытая, что необходимо для перехода прокладываемой нити в соседний петельный столбик.

Данная комбинация основовязанных переплетений «цепочка» и «сукно» позволяет получать сетеполотна повышенной прочности с ячейками ромбовидной формы за счет вязания каждой сторонки ячейки двумя столбиками переплетения «цепочка» и использования для их соединения равнопрочных связок, образованных переплетением «сукно».

Для повышения надежности процесса вязания таких сетеполотен одни и те же ушковины должны выполнять прокачку всегда между одними и теми иглами, поэтому в связках целесообразно выполнять двухстороннюю кладку одиночных нитей, как показано на рисунке 2.9. Кроме того образование двухсторонней связки повысит ее прочность.

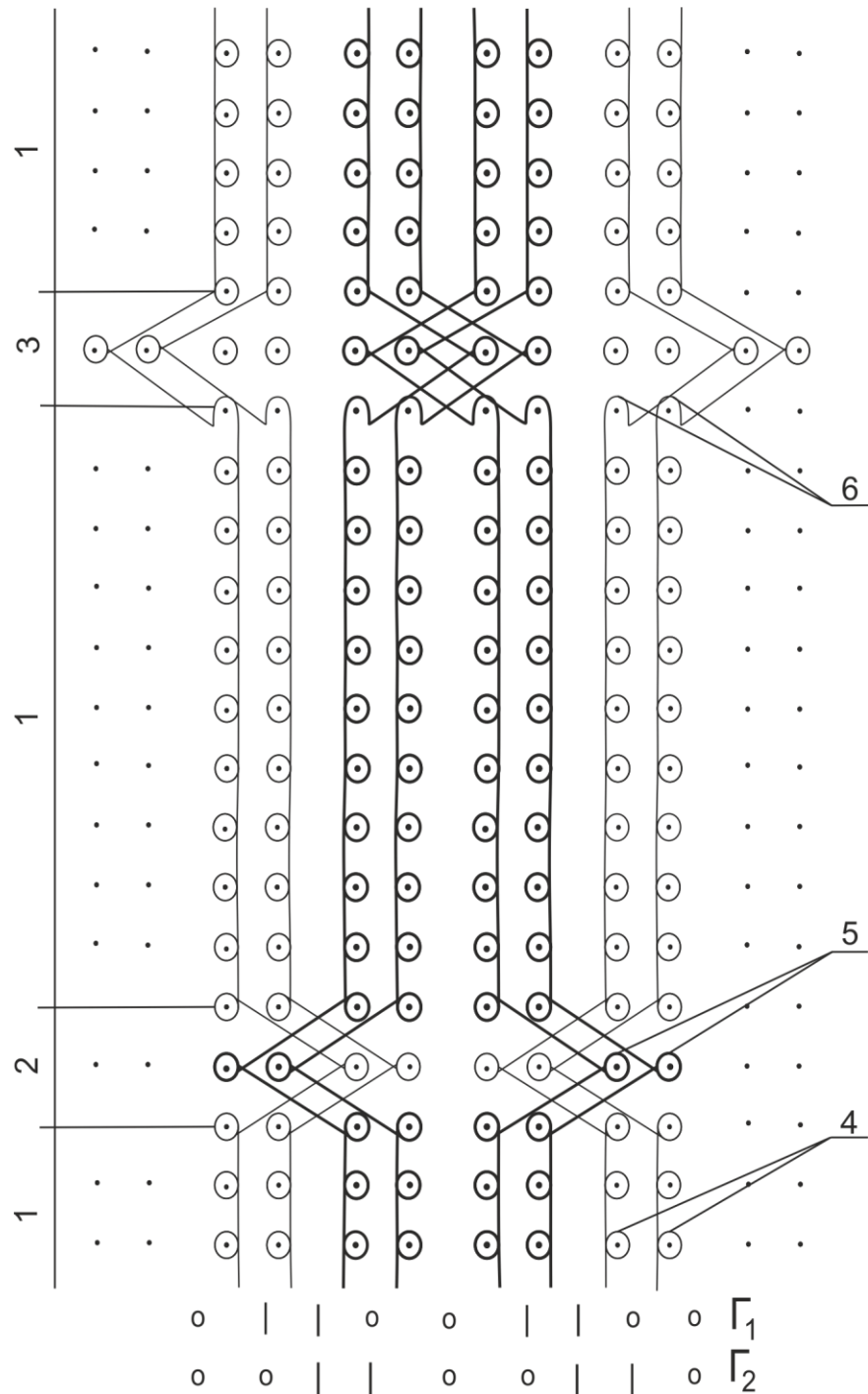


Рисунок 2.9 – Графическая запись кладки нитей

Для получения заготовки ОП крупногабаритного рефлектора, после выработки отдельных полотен сетематериала может возникнуть необходимость их соединения. Для того чтобы не разрушить целостность структуры сетематериала, соединение полотен предполагается выполнять по их кромкам.

Для эффективного соединения сетеполотен между собой, необходимо разработать структуру мест соединения, то есть структуру кромок сетеполотна.

## **2.4 Проектирование структур кромок трикотажных основовязаных сетеполотен с увеличенным размером ячеек**

Разработка структур кромок трикотажного сетеполотна, используемого в качестве ОП рефлектора, является еще одной важной технологической задачей. При некоторых формах и значительных габаритах рефлектора необходимо выполнить соединение двух или нескольких сетеполотен между собой. В этом случае места соединительных швов будут располагаться вдоль кромочных петель сетеизделия. Структура кромки должна обеспечить возможность необходимого растяжения сетеполотна и облегчить процесс соединения, при этом форма ячеек заготовки ОП в местах соединения должна быть по возможности сохранена.

При разработке структуры кромки для основовязаного крупноячеистого сетеполотна, используемого в качестве ОП, необходимо учитывать следующие требования:

- ширина кромки должна быть достаточной для соединения сетеполотен;
- при растяжении сетеполотна по ширине происходит раскрытие ячеек, соответственно длина кромки на участке между двумя точками связок, должна иметь длину, равную длине диагонали квадратной ячейки;
- каждая петля кромки сетеполотна должна быть по возможности образована из одной нити для обеспечения ее минимальной материалоемкости.

Структура кромки может быть образована на базе главных и производных основовязаных переплетений (таблица 2.2). Ограничения здесь могут накладываться конкретными требованиями, предъявляемыми к сетеполотну, технологическими ограничениями и количеством ушковых гребенок, имеющих на основовязальной машине.

Так как, после выработки отдельных сетеполотен возникает необходимость их соединения, то структура и ширина кромки должна обеспечивать рациональный способ соединения отдельных деталей с учетом необходимой деформации петельной структуры кромки, с целью приблизить длину участков кромок между связками ячеек к размеру диагонали квадратной ячейки.

Следовательно, структура кромки сетеполотна должна иметь минимально возможную плотность, вырабатываться минимальным количеством видов основовязанных переплетений, образующих один петельный ряд. Кроме того каждая петля кромки должна быть образована не более, чем двумя нитями. Количество петель, образованных из двух нитей должно быть минимальным.

Для получения кромок шириной достаточной для дальнейшего соединения полотен, примем число игл для вязания кромок, равным от четырех до шести. При использовании четырех игл на машине 18 класса, на которой предполагается вырабатывать сетеполотна с кромками из металлических нитей диаметром 0,02 мм, ширина кромки  $Ш_k$  может быть получена близкой к трем игольным шагам  $t_u$ .

$$Ш_k \approx 3t_u,$$

где  $t_u$  – игольный шаг, равный 1,41 мм для машины 18 класса.

$$Ш_k = 3 \times 1,41 = 4,23 \text{ мм}$$

Для кромки, вырабатываемой на 6 иглах:

$$Ш_k = 5 \times t_u \approx 5 \times 1,41 \approx 7,05 \text{ мм}$$

Действительный размер ширины кромок зависит от конкретных структур трикотажа и будет уточнен после определения параметров структуры, используемой на кромках.

На рисунках 2.10 и 2.11 представлены варианты графических записей структур кромок и проборки ушковых гребенок для их образования.

Как видно из рисунка 2.10 кромки сетеполотна, образованные четырьмя петельными столбиками, могут вырабатываться различными видами основовязанных переплетений.

Оценим представленные варианты разработанных структур кромок, получаемые на четырех иглах, по числу необходимых гребенок.

Для вязания кромок по вариантам: «д», «е», «ж», «з», «и», «к», «л» требуется по четыре дополнительных гребенки.

Соответственно, основовязальная машина в этом случае должна иметь, по крайней мере, шесть гребенок, если основное сетеполотно вырабатывается только двумя гребенками.

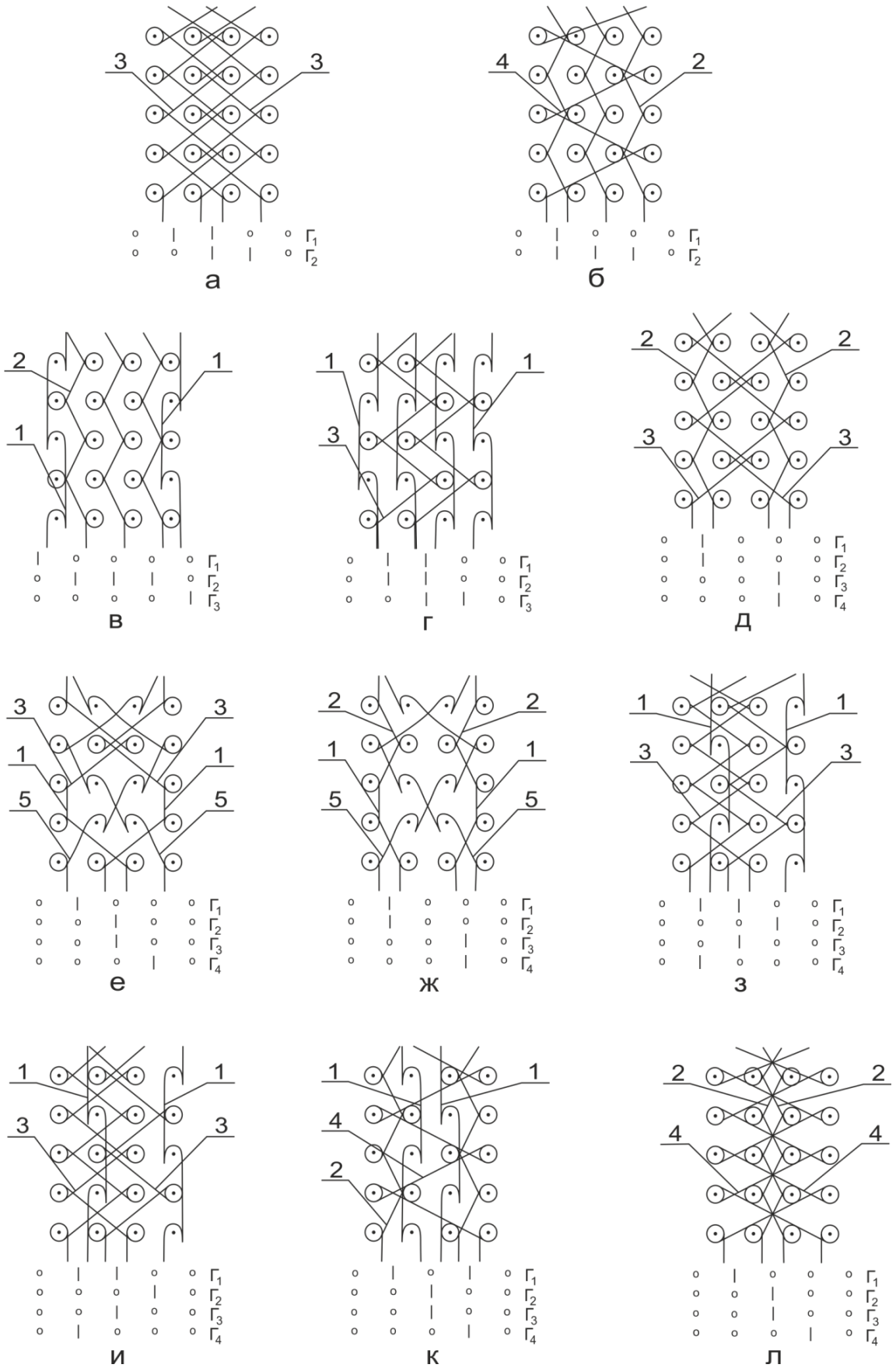


Рисунок 2.10 – Структуры кромок сетеполотна, вырабатываемые на четырех иглах

Далее рассмотрим варианты структур кромок изображенных на рисунке 2.10, с точки зрения использованных структур.

В структуре кромки варианта «д» показаны графики, разработанные на базе кладки нитей переплетений «трико» 2 и «сукно» 3. Структура расположения нитей в данном переплетении однородна и равнопрочна, что позволит деформировать кромку при сшивании до необходимых размеров. Однако, для выработки данного варианта требуются четыре дополнительных гребенки, что ограничивает его использование.

В вариантах «к», «л» крайние петельные столбики соединены между собой протяжками переплетения «шарме» 4. Использование данного вида переплетения при выработке структур крупноячеистого трикотажа из нитей малых диаметров не рекомендуется, что подробно было рассмотрено в разделе 2.3 данной работы, поэтому варианты «к» и «л» не могут быть рекомендованы для использования при вязании сетеполотен для ОП из металлических нитей малого диаметра.

В структурах вариантов «в», «г», «е», «з», «и», «к» и «л» использовано переплетение «цепочка», которое в связи с особенностями строения может стать причиной низкой деформируемости кромки и не может при необходимости вытягиваться или уменьшаться в длину, даже при принудительной усадке кромки. Это усложнит процесс необходимой деформации кромочных участков до размера, равного длине диагонали квадрата ячеек. Кромки по вариантам «е» и «ж», выработанные комбинированными структурами основовязаного переплетения, сочетают элементы «атласа» 5, «цепочки» 1, «трико» 2 или «сукно» 3. Кроме того, структуры, требующие для вязания четыре гребенки использовать не целесообразно.

Итак, для вязания вариантов «а», «б» (рисунок 2.10) необходимо по две гребенки, для вариантов «в» и «г» – три, для вариантов «д», «е», «ж», «з», «и», «к», «л» – четыре гребенки. Так как в соответствии с требованиями число гребенок для вязания кромок должно быть минимальным, то по первому ограничению целесообразно использовать кромки, вырабатываемые по вариантам «а» и «б».

Оценим эти два варианта по структурам переплетений и технологическим особенностям их выработки.

Вариант «а» образован встречной кладкой нитей переплетения «сукно» 3. Встречная кладка «суконных» нитей позволяет получать равнопрочную однородную структуру кромки, что в дальнейшем облегчит процесс необходимой деформации кромочных петель при соединении сетеполотен между собой.

В структуре переплетения кромки, полученной по варианту «б» (рисунок 2.10 б), используются два переплетения: «трико» 2 и «шарме» 4. Так как при выработке переплетения «шарме» 4 условия переработки нитей, как было показано ранее, значительно тяжелее, чем при вязании «трико», что может вызвать обрыв нитей. Несмотря на то, что для варианта «б» требуются только две гребенки, по технологическим особенностям вязания кромки, вариант «б» не может быть принят при выработке сетеполотен.

В зависимости от способа соединения сетеполотен между собой, ширина кромки, образованная четырьмя петельными столбиками может оказаться недостаточной. В связи с этим были разработаны варианты структур, имеющие большие размеры по ширине, полученные на пяти и шести иглах.

На рисунке 2.11 представлены графические записи и проборка нитей при вязании структур кромок крупноячеистого трикотажного сетеполотна, образованного пятью и шестью петельными столбиками, сочетающего комбинации различных видов главных и производных основовязанных переплетений.

Варианты структур кромок «а», «б», «в», «г», «д» (рисунок 2.11) вырабатываются двумя гребенками. В вариантах «а», «б» используется встречная кладка нитей при вязании переплетений «трико» 2, при различной проборке ушковых гребенок и дополненных другими переплетениями в вариантах «в» и «г». Следует отметить, что в варианте «в» кромочные петли вяжутся переплетением «цепочка» 1, в варианте «г» используется встречная кладка нитей переплетений «трико» 2 и «сукно» 3 при использовании двух гребенок. В варианте «д» используется встречная кладка только переплетения «сукно» 3.



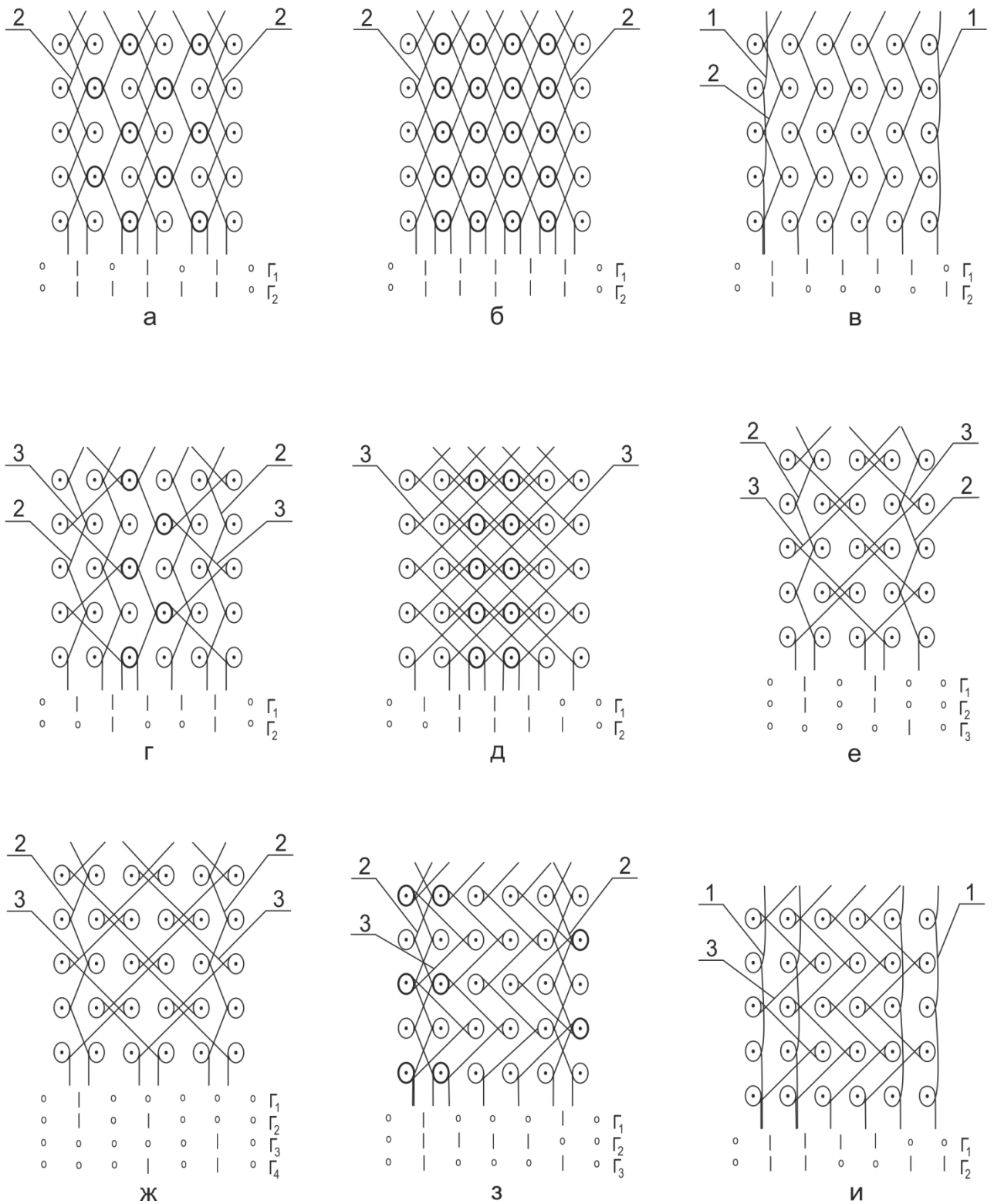


Рисунок 2.11 – Структуры кромок вырабатываемые на пяти и шести иглах для трикотажного сетеполотна

В варианте «д» (рисунок 2.11) используется встречная кладка только переплетения «сукно» 3.

Варианты «е», «ж», «з» сочетают комбинацию двух видов основовязанных переплетений: «трико» 2 и «сукно» 3 при различной проборке гребенок.

Все варианты, изображенные на рисунке 2.11, имеют однородную структуру и возможны для использования при выработке кромок основовязаного сетеполотна с увеличенными размерами ячеек. Однако, для вязания вариантов «е» и «з» требуются три гребенки, а для варианта «ж» – четыре, что ограничивает их использование на основовязальных машинах, имеющих менее пяти гребенок.

Таким образом, при вязании кромок сетеполотен на четырех иглах предпочтительным является вариант «а» (рисунок 2.10), образованный переплетением «сукно» с встречной кладкой и требующий использования двух гребенок.

При вязании кромок на шести иглах предпочтительным является вариант «д» (рисунок 2.11), имеющий в каждом петельном ряду, хотя и по две двойных петли, что несколько повысит материалоемкость кромки. Однако, использование «суконной» кладки с более длинными протяжками, чем у трико (вариант «г»), при обрыве одной из нитей, снизит возможность роспуска полотна кромки, что важно при их дальнейшем соединении.

Предложенный вариант «д» может быть выполнен двумя гребенками и рекомендован для использования.

## **2.5 Проектирование структур соединения кромок с основным сетеполотном**

Дополнительной технологической задачей при проектировании сетеполотен с кромками, является разработка технологии соединения кромок с основным полотном. Так как соединение полотен для изготовления заготовки ОП может быть выполнено различными способами, выбор которого зависит от конкретных требований, предъявляемых к ОП, было разработано сетеполотно с

различной структурой кромок.

В первом варианте, структура кромки и участки их соединения с основным полотном, максимально приближены к структуре основного полотна. Такая структура кромки закрепит петли по краям полотна и предотвратит их сброс. Графическая запись и раппорт переплетения разработанного полотна представлены на рисунке 2.12.

Исходя из рисунка 2.12, видим, что при вязании основного полотна переплетением «цепочка» с участками связок переплетения сукно, на кромках образуются закрытые петли 1 и 2, которые будут сбрасываться при вязании. Кроме того открытые петли 3 и 4, на которые в следующем петельном ряду не прокладывается нить, также будут сбрасываться. Для исключения сбрасывания петель 1, 2, 3, 4 необходимо выполнить провязывание по четырем петельным столбикам закрытых петель «цепочки», имитирующих структуру основного полотна, что увеличит общее количество используемых при вязании гребенок на одну. При этом третий и четвертый петельные столбики с каждого края будут двойными, кроме петель 5. Первый и второй петельные столбики с каждого края будут образованы из одной нити, кроме петель 1 и 2, которые будут двойными.

Известно, что на основовязальных машинах, даже на самых современных, для образования грунта полотна используются только четыре гребенки, поэтому вязание разрабатываемого полотна с кромками не должно выполняться, более чем на четырех гребенках. Для обеспечения оттяжки петель основного полотна, вырабатываемого переплетением «цепочка» со связками, образованными переплетением «сукно», необходимо использовать дополнительную гребенку, заправленную через одну ушковину для вязания полотна переплетением «сукно» дополнительными нитями, которые должны удаляться перед соединением основных полотен.

Таким образом, если для основного полотна будут использоваться две гребенки  $\Gamma_2$  и  $\Gamma_3$  (рисунок 2.12), одна гребенка  $\Gamma_4$  для закрепления краевых петель с провязыванием «цепочек» с каждого края по четыре петли, первая гребенка  $\Gamma_1$  может быть использована для вязания дополнительного полотна переплетением

«сукно», обеспечивающего оттяжку.

Соответственно, общее число гребенок, необходимых для выработки такого сетеполотна, будет равняться четырем.

Соединение полотен с такими кромками для формирования заготовки ОП, требует особого внимания и разработки.

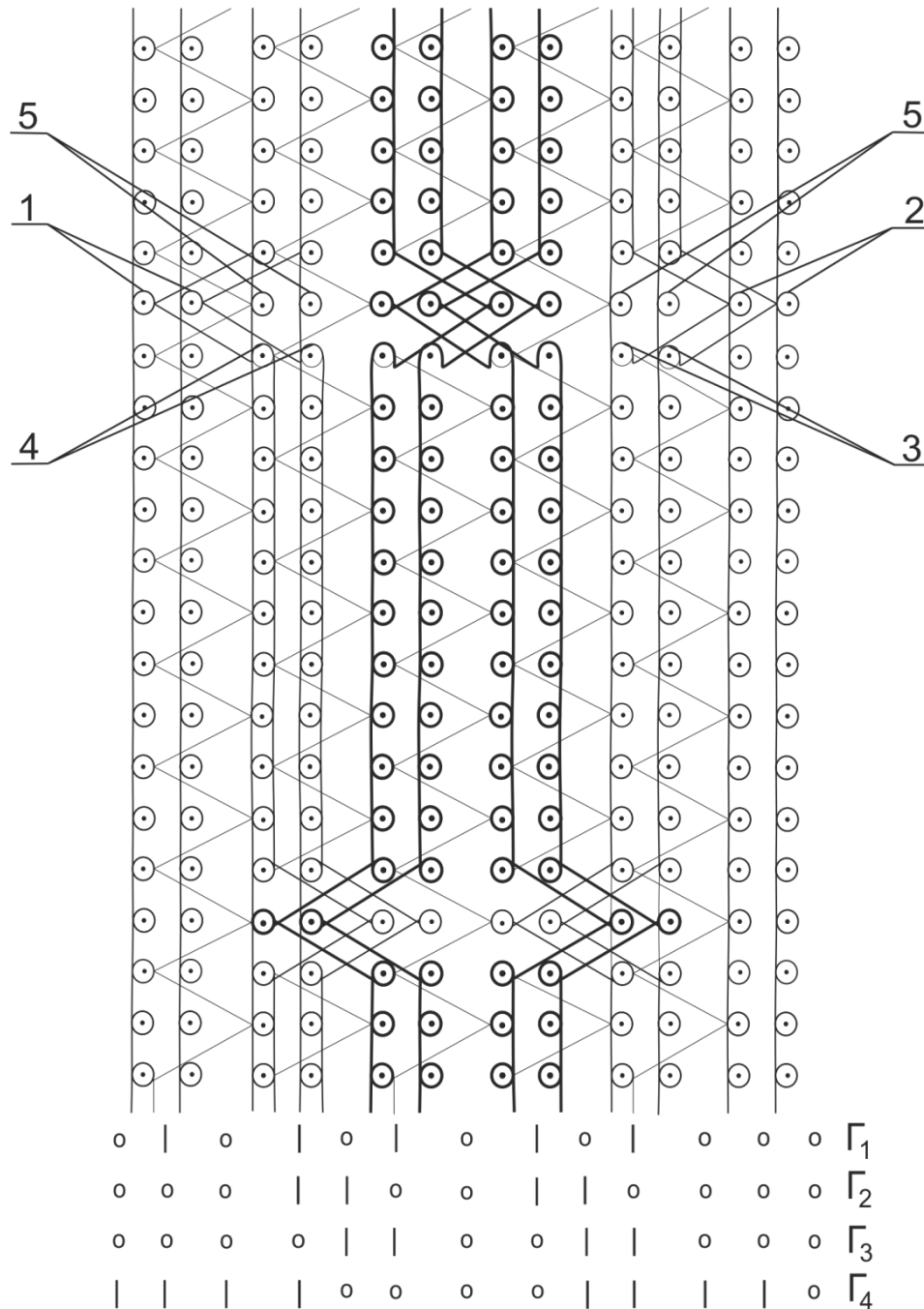


Рисунок 2.12 – Графическая запись сетеполотна с закреплением краевых петель

Разработанная структура второго варианта сетеполотна, представляет собой основное полотно, на базе переплетения «цепочка» соединенными между собой в участках связок переплетением «сукно», с кромками по краям, в соответствии с рисунком 2.11 д, которые будут иметь большие размеры по ширине. При этом для выработки такого полотна потребуется также четыре гребенки на вязальной машине, как и в первом варианте. Графическая запись и ритм проборки ушковых гребенок для выработки такого сетеполотна представлены на рисунке 2.13.

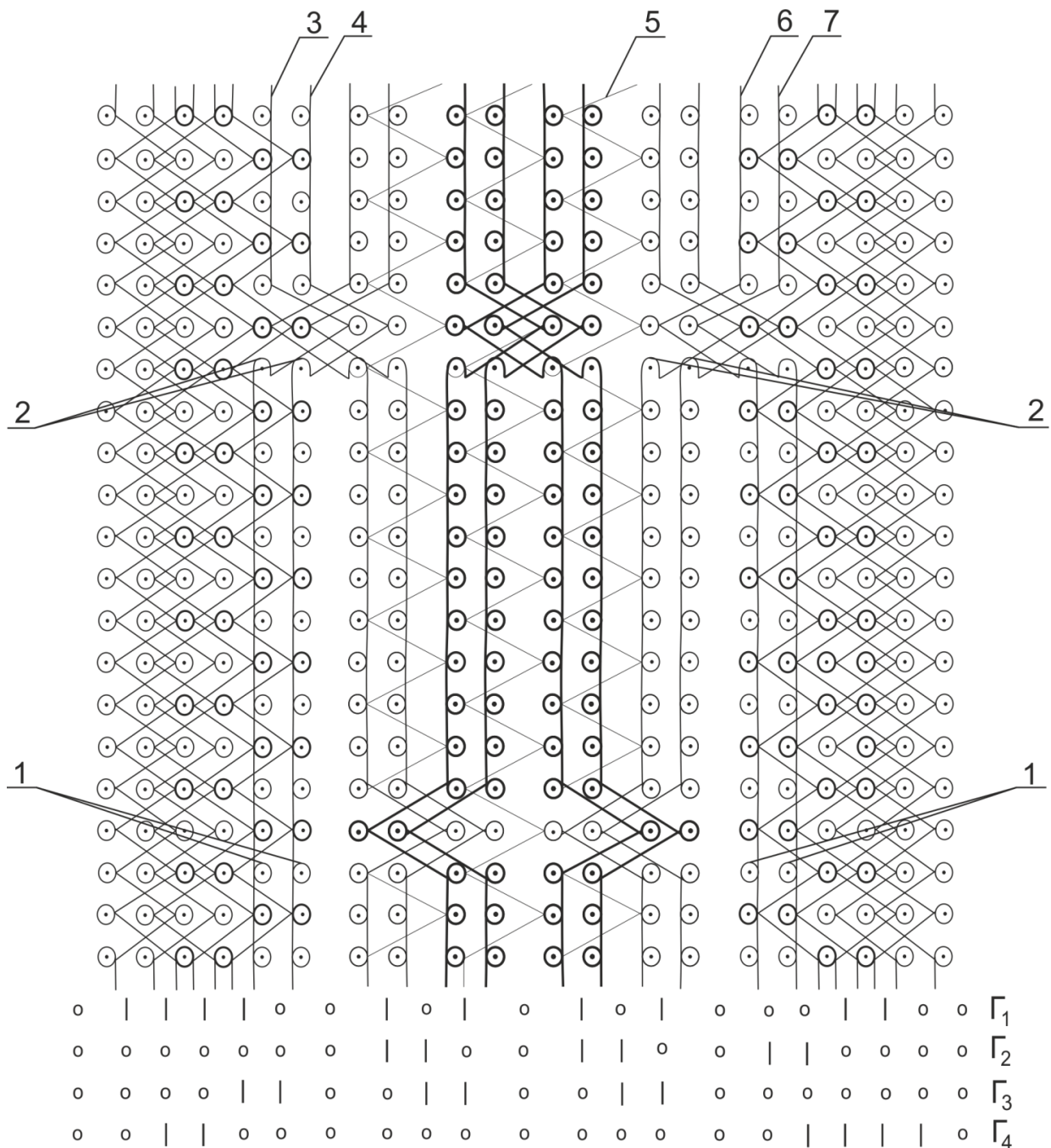


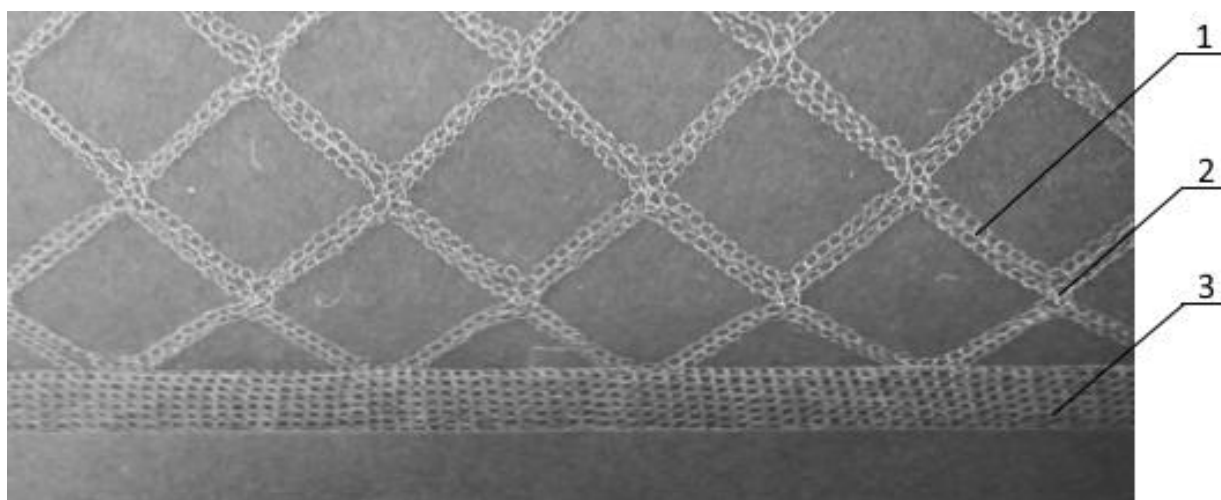
Рисунок 2.13 – Графическая запись сетеполотна с кромками с двух сторон

Чтобы исключить сбрасывание открытых петель 2 двух последних петельных столбиков «цепочки» основного полотна и закрытых петель 1, необходимо крайние петельные столбики кромки, примыкающие к основному полотну, наложить на петли «цепочек» 3, 4, 6, 7. Для того чтобы уменьшить число двойных петель на кромках, проборку гребенок  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_4$ , вяжущих кромки, была выполнена заправка основной нити в соответствии с рисунком 2.13.

В результате, петельные столбики 3, 4, 6, 7 будут иметь двойные петли только через одну петлю, а открытые петли 2 и закрытые петли 1 не сбросятся. При этом кромка будет иметь достаточные размеры по ширине (около 7 мм) и может быть использована при машинном способе соединения. Однако технология соединения полотен с такими кромками требует разработки.

Для вязания дополнительного полотна переплетением «сукно», обеспечивающем оттяжку петель цепочки основного полотна, центральная часть гребенки  $\Gamma_1$  заправляется дополнительными нитями 5. Дополнительная нить 5 перед соединением полотен должна быть удалена.

Фотография образца крупноячеистого сетеполотна, выработанного по разработанной структуре, изображенной на рисунке 2.13, представлена на рисунке 2.14.



1 – сторонка ячейки; 2 – связка, соединяющая сторонки; 3- кромка полотна

Рисунок 2.14 – Образец крупноячеистого трикотажного сетеполотна с кромкой

Образец трикотажного сетеполотна был выработан из одиночных молибденовых золоченых нитей диаметром 0,02 мм на основовязальной четырехребеночной машине типа «вертелка» модели «Кокетт-4» 18 класса. Из рисунка 2.14 видно, что распрямление кромки 3, путем растяжения сетематериала, приводит к деформации приближенных к кромке ячеек, которые принимают форму ромба. Следовательно, для того чтобы все ячейки на поверхности сетеполотна при формировании ОП приняли заданную форму квадрата, необходимо при соединении полотен выполнять усадку кромки до величины, равной длине диагонали квадратной ячеи.

Таким образом, предложена структура сетеполотна с различными видами кромок и способами их соединения с основным полотном. Разработанные структуры позволяют определить наиболее рациональный способ соединения сетеполотен для изготовления ОП рефлектора антенны.

## Выводы по второй главе

1. На основании проведенного анализа геометрических моделей ячеек, определена необходимая форма ячейки, которая позволит обеспечить максимальную светопропускную способность сетематериала, используемого для изготовления ОП.
2. Разработана структура, обеспечивающая получение трикотажного сетеполотна, сторонки ячеек которого образуются двумя петельными столбиками переплетения «цепочка», соединенных в местах связок петлями переплетения «сукно», позволяющими получать сетеполотна с квадратными ячейками любых заданных размеров.
3. Установлено, что вязание сторонки ячеек двумя петельными столбиками переплетения «цепочка» исключает роспуск полотна при обрыве одной «цепочки» в сторонке ячейки, тем самым увеличивая прочность сетематериала.
4. Теоретически обосновано, что при переработке металлических нитей, для исключения сбрасывания нити с игл при выполнении операции прокладывания и уменьшения разрывного усилия, петли «цепочки» должны быть по возможности закрытыми.
5. На основе метода комбинаторики структур главных и производных основовязанных переплетений, разработаны сетеполотна с различными видами кромок.
6. Разработанные структуры: основного полотна, кромок и структур, соединяющих кромки с основным сетеполотном, позволяют вырабатывать полотна на машинах, имеющих не менее четырех гребенок для вязания грунта полотна.
7. По разработанным структурам на основовязальной машине «Кокетт-4» 18 класса, были выработаны образцы крупноячеистого сетематериала из молибденовыхзолоченых нитей диаметром 0,02 мм в одно сложение, имеющие кромки по краям полотна, выработанные на шести иглах.
8. Установлено, что при сборке заготовки ОП машинным способом



крупноячеистых сетеполотен по кромкам образованным мелкоряпортной структурой, требуется выполнять принудительную усадку кромки.

### **3 ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТРИКОТАЖНОГО СЕТЕПОЛОТНА**

Известно, что сетеполотна, применяемые для изготовления ОП, должны обладать особыми свойствами: высокой светопропускной способностью, достаточной прочностью и вместе с тем минимальной материалоемкостью. Эти свойства трикотажных сетеполотен зависят от физико-механических показателей, таких как: геометрические параметры трикотажа, структурные характеристики применяемых видов переплетений при выработке сетеполотна, а также вида и прочности используемой металлической нити [4].

К основным геометрическим параметрам трикотажа относят высоту и ширину петель, образующих структуру сетеполотна, а также длину нитей в этих петлях и поверхностную плотность полотна. Для традиционных трикотажных полотен такие показатели определяются в соответствии с известными ГОСТ [26, 28] при равновесном состоянии, то есть без нагрузки. Разработанные трикотажные сетеполотна, применяемые для ОП, будут использоваться в состоянии двухосного нагружения, так как в трансформируемых конструкциях рефлектора требуемая форма зеркала достигается путем натяжения эластичного сетематериала на силовой каркас. Соответственно, все параметры для разработанных полотен должны быть определены при двухосном растяжении сетеполотна с усилием, которое обеспечивает получение четких квадратных ячеек сетематериала и исключает провисание ОП [42].

Для исследования параметров сетеполотна при двухосном растяжении необходимо определить требуемое усилие удельного натяжения сетематериала для аппроксимации ОП заданной формы зеркала.

### 3.1 Определение необходимого удельного натяжения сетематериала для формообразования отражающей поверхности

Трикотажные сетеполотна, применяемые в качестве ОП рефлекторов, могут быть выработаны различными видами петельной структуры. Следовательно, при формировании ОП сетеполотно каждой петельной структуры должно натягиваться на рефлектор при разном удельном натяжении, приходящемся на сторону растягиваемого полотна. Необходимое удельное натяжение при двухосном нагружении является важным показателем для каждой петельной структуры, так как влияет на изменение параметров сетеполотна таких как: высота и ширина петель, поверхностная плотность и прозрачность полотна. Поэтому первой задачей при исследовании свойств сетеполотен является определение необходимого удельного натяжения [29].

Для двухосного растяжения сетеполотна была использована специальная установка, общий вид которой представлен на рисунке 3.1.

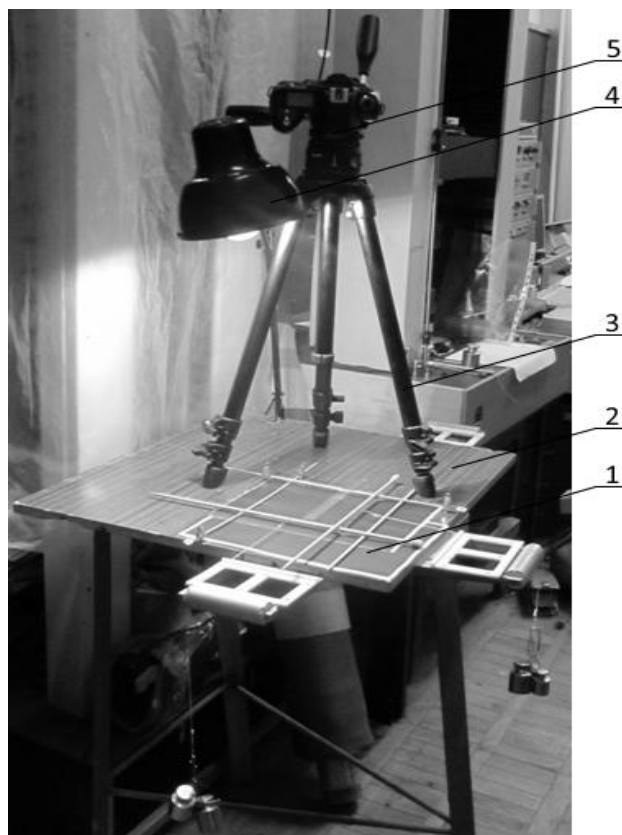


Рисунок 3.1 - Установка для проведения механических испытаний

Установка 1, расположена на поверхности стола 2. Установка дополнена фотоаппаратом 5 с макрообъективом, установленным на штативе 3, для освещения растягиваемого трикотажного образца, на штативе 3 установлена лампа 4.

Для более подробного описания испытаний образцов трикотажного сетеполотна, на рисунке 3.2 крупным планом представлена фотография установки для создания двухосного растяжения.

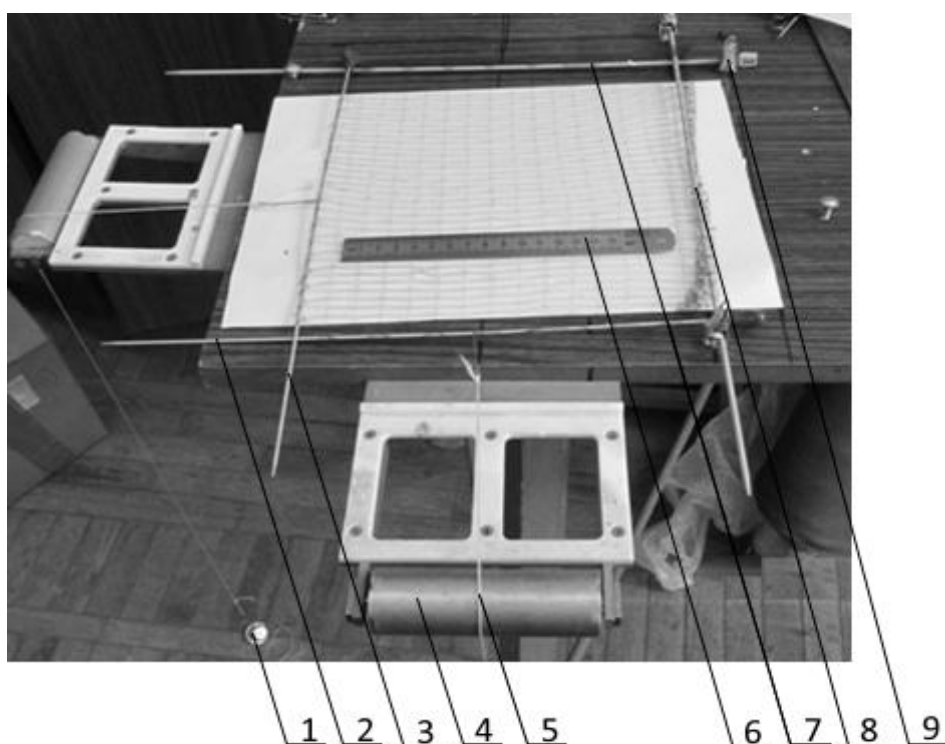


Рисунок 3.2 –Установка для двухосного растяжения образцов сетеполотен

Установка состоит из двух подвижных спиц 2 и 3 и двух неподвижных спиц 7 и 8. Для уменьшения сил трения все используемые спицы покрыты тефлоном. Диаметр и размер подвижных спиц 2 и 3 выбираются в зависимости от вида сетеполотна, в нашем случае для крупноячеистой структуры были выбраны спицы диаметром 3 мм и длиной 40 мм. Неподвижные спицы 7 и 8 устанавливались диаметром равным 5 мм. К подвижным спицам 2 и 3 через капроновый жгут 5 присоединялись переменные грузы 1. Капроновые жгуты 5 пропускались через вращающиеся ролики 4. Для уменьшения трения полотна по

поверхности стола, при подвешивании груза и растяжения полотна, под подвижную спицу 2, параллельно спице 3, была подложена спица диаметром 5 мм.

Для определения необходимого значения удельного усилия натяжения был проведен эксперимент, для которого из сетеполотна вырезался образец, имеющий 20×20 ячеек. На расстоянии пяти ячеек с каждой стороны последовательно вставлялись неподвижные спицы 7 и 8, которые закреплялись в неподвижных зажимах 9. Затем через ячейки полотна, перпендикулярно к спицам 7 и 8, пропускались спицы 2 и 3. После укладывания спиц 2 и 3 с надетыми на них ячейками полотна на приспособление, образец принимал квадратную форму. После присоединения капронового жгута 5 к спицам 2 и 3 предварительная нагрузка составляла примерно 2 сН, которую создавали толстые скрепки, масса которых равнялась 1,9 г. К этим скрепкам последовательно подвешивались грузы 1, создающие основную нагрузку. Для фиксации изменений длин сторон ячеек при различных нагрузках на образец, после каждого растягивания, накладывалась миллиметровая шкала 6, затем выполнялось фотографирование растянутого образца [47].

Следует отметить, что при проведении экспериментов при нагружении более чем на 32 сН/см, спицы диаметром 3 мм, заменили на спицы диаметром 5 мм, что предотвратило возможность изгиба спицы под действием увеличивающейся нагрузки.

По фотографиям, представленным на рисунках 3.3, 3.4, 3.5 и 3.6 с помощью линейки 2 определялись длины сторон 1 ячеек на каждом образце, стороны ячеек полотна вырабатывались двумя «цепочками» 3 с закрытыми петлями, соединенными между собой связками 4, выполненными переплетением «сукно».

Замеры длин сторон ячеек при каждом нагружении производились по пяти образцам. По полученным значениям определялись средние значения длин сторон  $l_{\text{ср.ст.нагр.}}$  ячеек для каждого нагружения и для разгрузки  $l_{\text{ср.ст.разгр.}}$ .

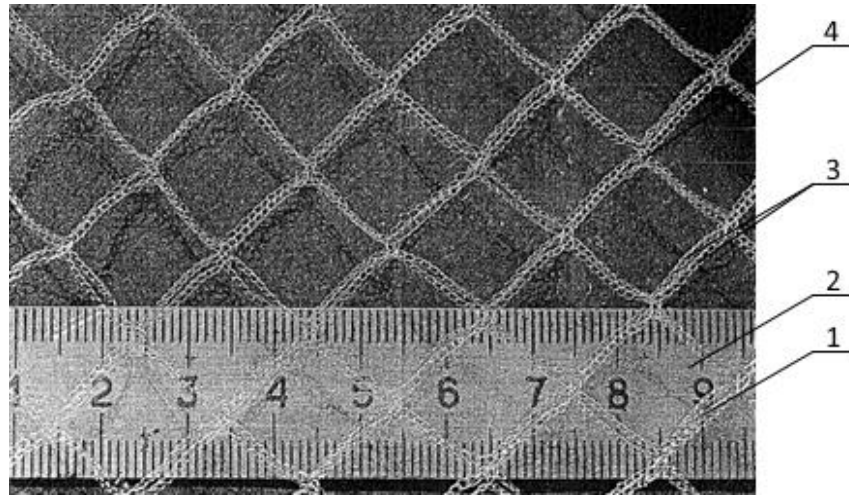


Рисунок 3.3 –Фотография образца при удельной нагрузке 2 сН/см

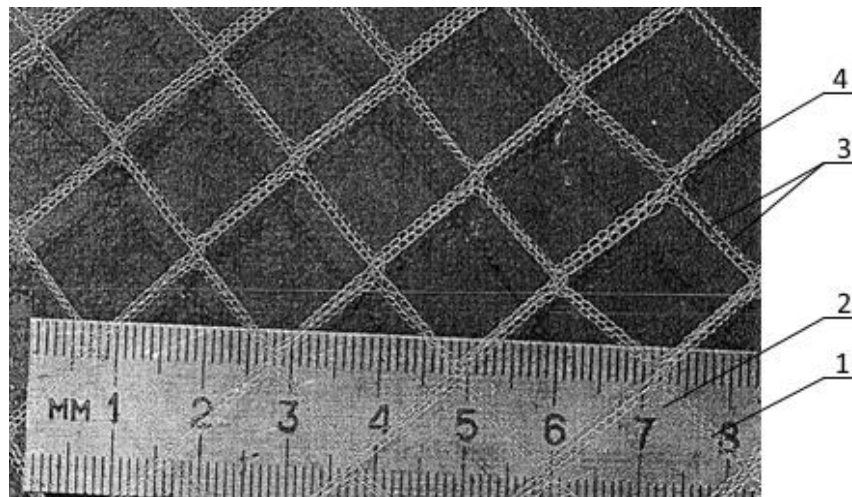


Рисунок 3.4 –Фотография образца при удельной нагрузке 6 сН/см

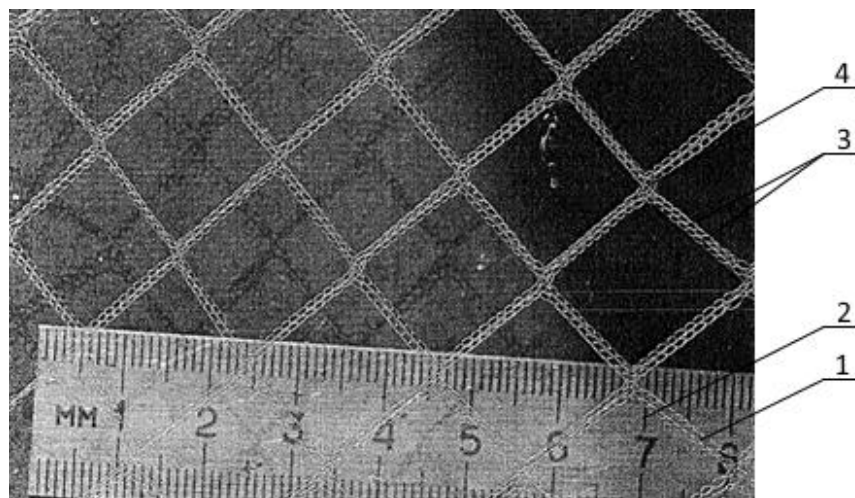


Рисунок 3.5 –Фотография образца при удельной нагрузке 9 сН/см

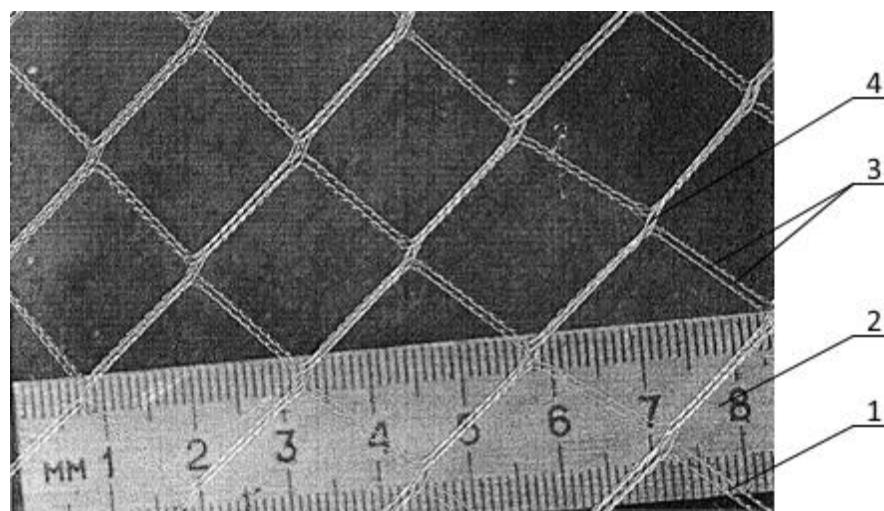


Рисунок 3.6 –Фотография образца при удельной нагрузке 42 сН/см

Средние значения длин сторонok ячеек при нагружении  $l_{\text{ср.ст.нагр.}}$  и при разгрузке  $l_{\text{ср.ст.разгр.}}$  образцов занесены в таблицу 3.1.

Для испытаний использовались образцы трикотажного сетеполотна, выработанного на основовязальной машине типа «вертелка» модели «Kokett-4» 18 класса из молибденовых позолоченных нитей диаметром  $d_n=0,02$  мм.

Удельная нагрузка на сторону каждого образца менялась при нагружении в пределах от 2 сН до 450 сН, а при разгрузении от 450 сН до 2 сН. Данные замеров средних значений  $l_{\text{ср.ст.нагр.}}$  и  $l_{\text{ср.ст.разгр.}}$  занесены в таблицу 3.1.

На основании полученных данных были рассчитаны относительные удлинения сторонok ячеек  $\varepsilon_{\text{ст.нагр.}}$  при соответствующих усилиях нагружения и  $\varepsilon_{\text{ст.разгр.}}$  при соответствующих усилиях разгружения. Расчетные значения определялись по следующим формулам:

$$\varepsilon_{\text{ст.нагр.}} = \frac{l_{n \text{ ср.ст.нагр.}} - l_{1 \text{ ср.ст.нагр.}}}{l_{1 \text{ ср.ст.нагр.}}} 100\%, \quad (3.1)$$

где  $l_{1 \text{ ср.ст.нагр.}}$  – средняя длина сторонки ячейки до приложения нагрузки;

$l_{n \text{ ср.ст.нагр.}}$  – средняя длина сторонки ячейки при приложении определенных удельных усилий от 0 до 450 сН/см.

Соответственно,

$$\varepsilon_{\text{ст.разгр.}} = \frac{l_{n \text{ ср.ст.разгр.}} - l_{1 \text{ ср.ст.разгр.}}}{l_{1 \text{ ср.ст.разгр.}}} 100\%, \quad (3.2)$$

где  $l_{1 \text{ ср.ст.разгр.}}$  - длина сторонки ячейки после разгрузки;

$l_{n \text{ ср.ст.разгр.}}$  - длина сторонки ячейки при разгрузении трикотажа до определенного удельного усилия от 450 до 0 сН/см.

Кроме значений относительного удлинения сторонки ячеек сетеполотна, при соответствующих нагружениях образцов и их разгрузке, найдены средние значения коэффициентов растяжения сетематериала  $Kp_{\text{ср.}}$  при различных нагрузках образцов. Значения  $Kp_{\text{ср.}}$  внесены в таблицу 3.1.

$$Kp_{\text{ср.}} = \frac{l_{n \text{ ср.ст.нагр.}}}{l_{1 \text{ ср.ст.нагр.}}}, \quad (3.3)$$

где  $l_{\text{ст.1}}$  - длина сторонки ячеек при удельной нагрузке 0 сН/см

Таблица 3.1 - Относительное удлинение образца при изменении нагрузки

Удельная нагрузка, сН/см	Длина сторонки ячеек, мм		Относительное удлинение, %		Коэффициент растяжения $Kp_{\text{ср.}}$
	При нагрузке $l_{\text{ср.ст.нагр.}}$	При разгрузке $l_{\text{ср.ст.разгр.}}$	При нагрузке $\varepsilon_{\text{ст.нагр.}}$	При разгрузке $\varepsilon_{\text{ст.разгр.}}$	
0	12,8	13,21	0	3,12	0
2	14,31	14,6	11,71	14,11	1,12
6	16,12	16,45	26	28,55	1,26
9	16,25	16,55	26,95	30,21	1,27
22	16,56	16,75	29,41	31,25	1,29
32	16,65	17,11	30,12	33,62	1,27
42	16,8	17,25	31,25	34,81	1,29
52	16,95	17,55	32,41	37,12	1,31
72	17,51	17,85	36,82	39,45	1,32
450	18,31	18,75	44,81	46,45	1,43

Графики изменения относительного удлинения при нагружении и разгрузке показаны на участке изменения удельных нагрузок в пределах от 0 до 72 сН/см и от 72 до 0 сН/см на рисунке 3.7.



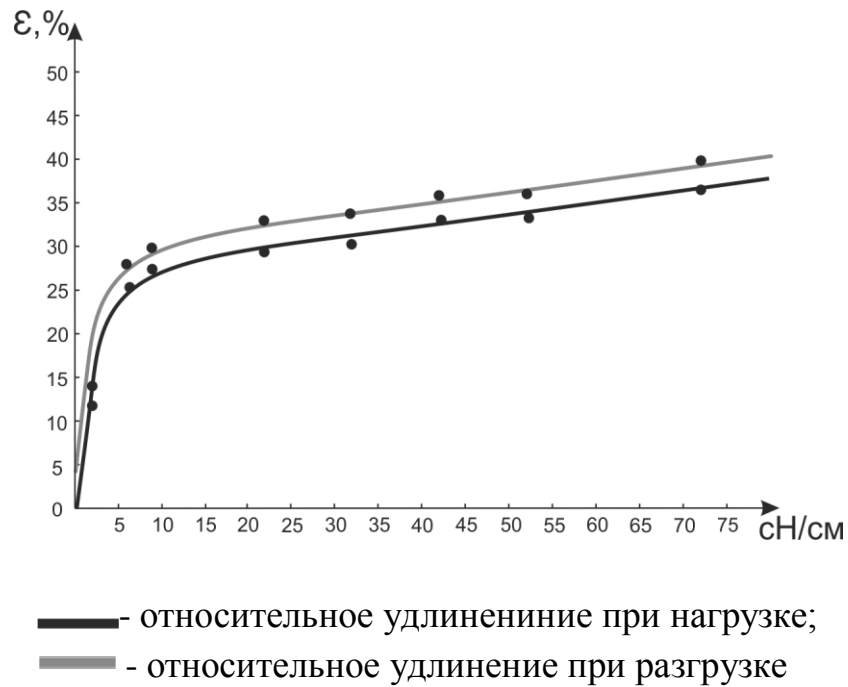


Рисунок 3.7 – Зависимость относительного удлинения сторонок ячеек от удельной нагрузки

На основании анализа графика, приведенного на рисунке 3.7, можно рекомендовать для растяжения полотен удельную нагрузку равную 6 сН/см, при которой под действием упругих деформаций происходит распрямление сторонок ячеек. Ячейки принимают форму квадратов (рисунок 3.4), а петли 1 имеют округлую форму (рисунок 3.8), практически сохраняя свою первоначальную форму [24].

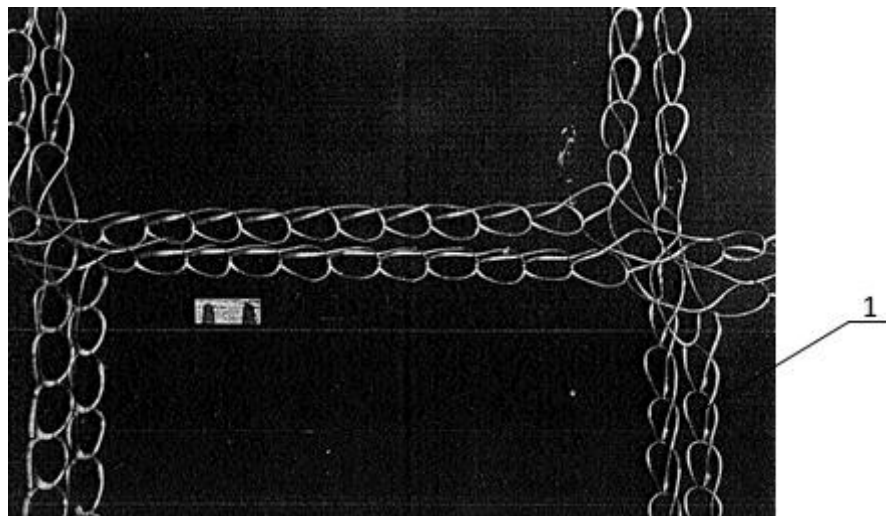


Рисунок 3.8 – Структура петель при удельной нагрузке 6 сН/см

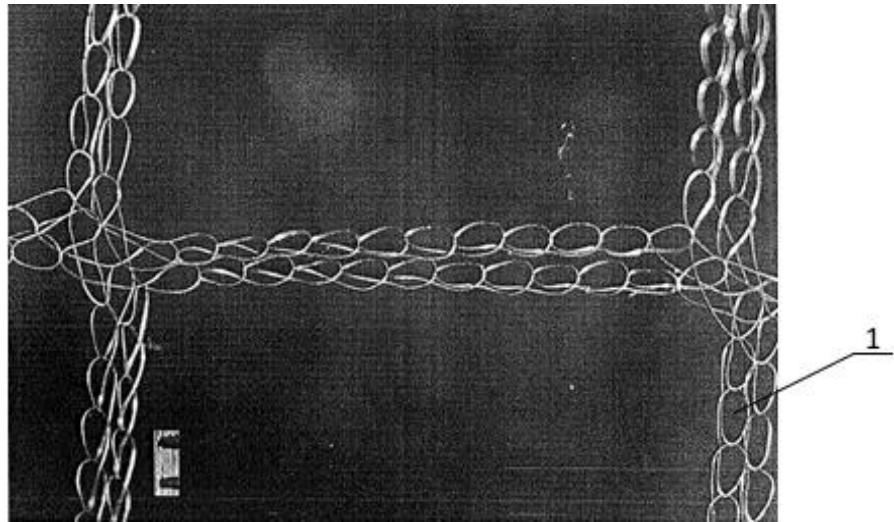


Рисунок 3.9 – Структура петель при удельной нагрузке 9 сН/см

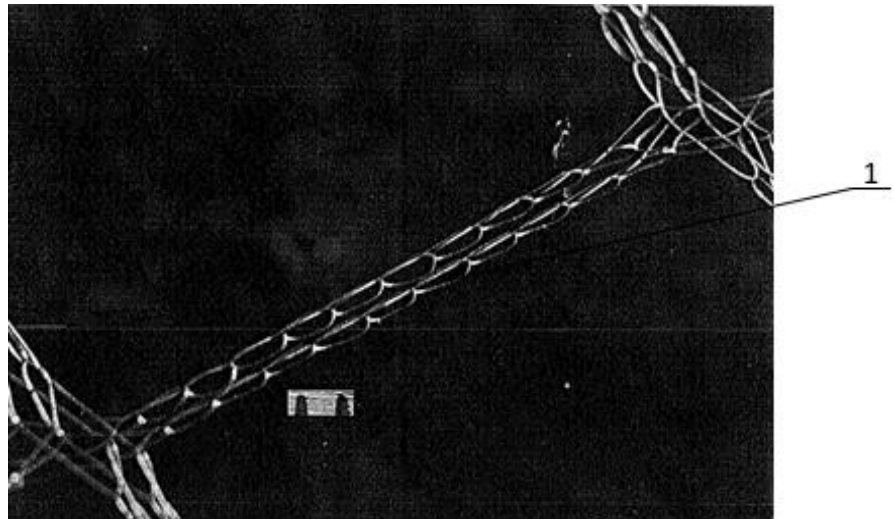


Рисунок 3.10 – Структура петель при удельной нагрузке 42 сН/см

При нагружении 9 сН/см, ширина петли 1 (рисунок 3.9) уменьшается, что может привести к пластическим деформациям в структуре петель. Пластическая деформация элементов петельной структуры препятствует перетягиванию участков нити, что затруднит процесс восстановления трикотажа после снятия нагрузки.

При удельной нагрузке образца сетематериала равной 42 сН/см (рисунок 3.10) петли 1 значительно изменяют свою форму, вытягиваются за счет пластической деформации структуры.

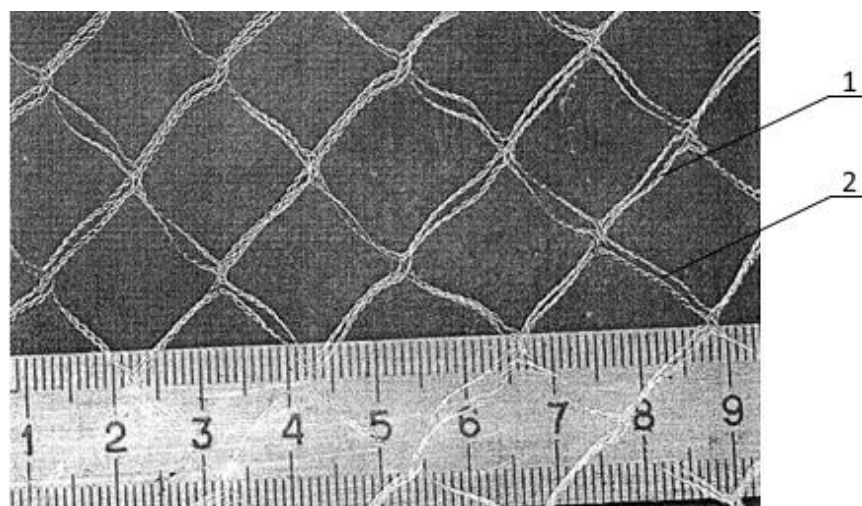


Рисунок 3.11 – Структура трикотажного сетеполотна после снятия нагрузки 42 сН/см

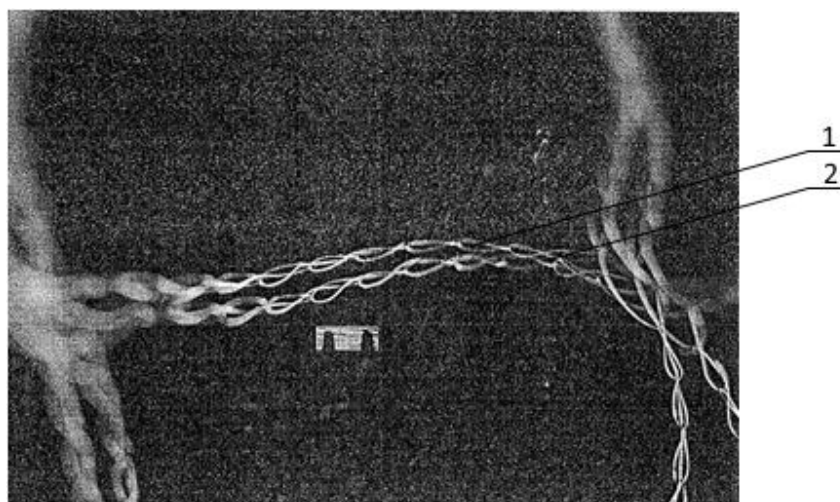


Рисунок 3.12 – Структура петель после разгрузки трикотажа под действием удельного нагружения 42 сН/см

После разгрузки образца, начиная с удельного нагружения 42 сН/см (рисунки 3.11, 3.12) стороны 2 ячейки принимают свободную форму, а петли 1 остаются удлиненными, то есть имеют удлиненную форму, что говорит о возможности пластических деформаций в петельной структуре. В связи с этим приложение удельной нагрузки равной больше 42 сН/см недопустимо. Однако необходимо отметить, что даже при удельной нагрузке 450 сН/см образец не разрывается, но имеет место остаточная деформация равная 3% как показано на рисунке 3.7.

Таким образом, при установке ОП на силовой каркас рефлектора, удельная нагрузка для разработанного трикотажного сетеполотна должна быть не более 6 сН/см, при которой сторонки ячеек выпрямляются, структуру полотна образуют четкие квадратные ячейки, а петли имеют округлую форму.

Зная необходимую удельную нагрузку, равную 6 сН/см, при которой должно натягиваться сетеполотно на рефлектор, можно определить параметры структуры сетеполотна, необходимые для определения светопропускной способности и поверхностной плотности ОП.

### **3.2 Определение параметров структуры сетеполотна при двухосном нагружении**

Так как, при выработке разработанного сетеполотна для образования ячеек использовалось основное переплетение «цепочка», то в первую очередь необходимым явилось определение параметров высоты и ширины петли переплетения «цепочка».

Необходимые параметры определялись по фотографиям рисунков 3.4 и 3.8, для чего десятикратно измерялась длина сторонки, включающая десять петель «цепочки», а затем с учетом масштаба фотографии рассчитывалась высота  $B_{ц}$  петли «цепочки» [30]. Ширина петли также десятикратно замерялась по фотографии 3.8, и затем с учетом масштаба определялось значение ширины одной петли  $A_{ц}$ .

Обработка полученных экспериментальных значений определялась по следующим формулам (3.4) – (3.8) [66]. Среднее значение полученных результатов измерения получены по формуле:

$$Y_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m Y_i}{m}, \quad (3.4)$$

где  $Y_{cp}$  – среднее значение полученных результатов;

$Y_i$  – экспериментально полученное значение;

$m$  – количество экспериментов.

Полученные значения представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Экспериментальные значения параметров петель переплетения «цепочка» при удельной двухосной нагрузке 6 сН/см

образец	Длина 10 $B_{ц}$ , мм	Высота петли $B_{ц}$ , мм	Ширина петли $A_{ц}$ , мм
1	14	1,4	0,8
2	13,5	1,3	0,9
3	13,5	1,35	0,85
4	14	1,4	0,75
5	13,5	1,35	0,9
6	13	1,3	0,9
7	13	1,3	0,8
8	13,6	1,36	0,75
9	14	1,4	0,85
10	13,5	1,35	0,8
Суммарное значение $\sum_{i=1}^m Y_i$	135,1	13,5	8,3
Среднее значение $Y_{cp}$	13,5	1,35	0,83

Дисперсия для полученных значений определена по формуле:

$$\sigma^2\{Y\} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_i - Y_{cp})^2 \quad (3.5)$$

В свою очередь среднее квадратическое отклонение определялось как:

$$\sigma\{Y\} = \sqrt{\sigma^2\{Y\}} \quad (3.6)$$

При подозрении резко выделяющегося значения  $Y_i$ , необходимо определить возможность исключения из дальнейшей обработки.

Таким образом, при подозрении резко выделяющегося максимального значения  $Y_{i \max}$

$$V_{R \max} = \frac{(Y_{i \max} - Y_{cp})}{\sigma\{Y\}} \sqrt{\frac{m}{m-1}}, \quad (3.7)$$

при подозрении резко выделяющегося минимального значения  $Y_{i \min}$

$$V_{R \min} = \frac{(Y_{cp} - Y_{i \min})}{\sigma\{Y\}} \sqrt{\frac{m}{m-1}} \quad (3.8)$$

Затем  $V_{R \max}$  и  $V_{R \min}$  необходимо сравнить с табличным значением критерия  $V_T$  [62], который определяется при условии, что доверительная вероятность  $p_D$ , а уровень значимости  $\alpha = 1 - p_D$ . Если  $V_{R \max} > V_T$  или  $V_{R \min} > V_T$ , то резко выделяющиеся значения  $Y_{i \max}$  или  $Y_{i \min}$  необходимо исключить из дальнейшей обработки.

Результаты проведенных расчетов, определения параметров одной петли переплетения «цепочка» при двухосной нагрузке испытуемого образца сетематериала, представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Значения параметров петли переплетения «цепочка» при удельной двухосной нагрузке 6 сН/см

Наименование параметров петли переплетения «цепочка»	Среднее значение $Y_{cp}$	Дисперсия $\sigma^2\{Y\}$	Среднее квадратическое отклонение $\sigma\{Y\}$	Значения резко выделяющихся экспериментальных данных	
				$V_{R \max}$	$V_{R \min}$
Высота петли $B_{ц}$	1,35	0,0016	0,04	1,31	1,31
Ширина петли $A_{ц}$	0,83	0,0034	0,06	1,23	1,4

Сравнивая полученные значения видно, что  $V_{R \max}$  и  $V_{R \min}$  меньше табличного значения  $V_T = 2,29$  при уровне значимости  $\alpha=0,05$  и меньше  $V_T = 2,54$  при  $\alpha=0,01$ , что подтверждает возможность оставить все данные для дальнейшей обработки.

### 3.2.1 Определение длин нитей в петлях сетеполотна

Кроме высоты  $B_{ц}$  и ширины  $A_{ц}$  петли одним из важных параметров трикотажа является длина нити в петле, которая оказывает существенное влияние на поверхностную плотность сетеполотна.

Разработанное сетеполотно представляет одинарное комбинированное филейное переплетение, состоящее из десяти петель переплетения «цепочка» и двух петель «сукно», повторяющихся в каждом петельном столбике. Таким образом, для такого полотна необходимо определить длину нити в петлях «цепочки»  $l_{ц}$  и петлях «сукно»  $l_{с}$ .

Для определения экспериментальных значений  $l_{ц}$  использовался метод вырезания из полотна столбиков «цепочки», состоящих из десяти петель, роспуск этих «цепочек» и замер длины нити на десять петель, затем выполнялся расчет длины нити в одной петле [73].

Замеры выполнялись по десять раз, затем находилось значение длины нити в петле для каждого замера и среднее значение длины нити в петле  $l_{ц}$ . Данные по определению длины нити в петле «цепочки» представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Показатели экспериментальных измерений длины нити в петле «цепочки»

образец	Длина нити в десяти петлях, мм	Длина нити в одной петле $l_{ц}$ , мм	Среднее значение $l_{ц\text{ ср}}$	Дисперсия $\sigma^2\{l_{ц}\}$	Среднее квадратическое отклонение $\sigma\{l_{ц}\}$	Значения резко выделяющихся экспериментальных данных	
						$V_{R\text{ max}}$	$V_{R\text{ min}}$
1	40	4	4,11	0,0322	0,59	2,49	1,95
2	42	4,2					
3	41	4,1					
4	42,5	4,25					
5	40,5	4,05					
6	40	4					
7	42	4,2					
8	41	4,1					
9	40	4					
10	42	4,2					

Так как  $V_{R\max} > V_T = 2,29$  при уровне значимости  $\alpha=0,05$ , но  $V_{R\max} < V_T = 2,54$  при  $\alpha=0,01$ , то полученное значение можно считать не резко выделяющимся из данных выборки и оставить в дальнейшей обработке.  $V_{R\min} < V_T$ , как при  $\alpha=0,05$ , так и при  $\alpha=0,01$ , что подтверждает допустимость оставить его в дальнейших расчетах.

Анализ известной формулы профессора А.С. Далидовича [32] для расчета длины нити в петле переплетения «цепочка»  $l_{ц}$ , основанной на геометрической модели петли, где:

$$l_{ц} = 3B_{ц} + \pi d_{н} - 3d_{н}, \quad (3.9)$$

показывает, что по мере увеличения высоты петли  $B_{ц}$  длина петли  $l_{ц}$  должна увеличиваться. Однако по мере растяжения трикотажа, высота петли  $B_{ц}$  меняется из-за перетяжки нити из петельных дуг в протяжки, сама же длина нити  $l_{ц}$  в петле переплетения «цепочка» меняться не будет. Так как параметр  $B_{ц}$ , полученный экспериментально, для растянутого трикотажа, даст увеличенное значение  $l_{ц}$ , что недопустимо, следовательно, применение известного расчетного метода определения длины петли  $l_{ц}$  по формуле (3.9) для растянутого сетеполотна применено быть не может.

Для определения высоты петли переплетения «сукно» используем полученные ранее данные длины сторонки ячейки  $l_{ст.}$  (таблица 3.1) и высоты петли  $B_{ц}$  переплетения «цепочка» (таблица 3.2) при удельном нагружении 6 сН/см.

Зная  $l_{ст.}$  и  $B_{ц}$ , а также структуру сторонки трикотажа, рассчитаем высоту петли переплетения «сукно»:

$$B_{с} = \frac{l_{ст.} - n_{ц} \times B_{ц}}{n_{с}}, \quad (3.10)$$

где  $l_{ст.}$  – длина сторонки ячейки, при удельном нагружении 6 сН/см, мм;

$n_{ц}$  – число петель «цепочки» в одной сторонке ячейки;

$B_{ц}$  – высота петли «цепочки» при удельном нагружении 6 сН/см, мм;

$n_{с}$  – число петель «сукно» в одной сторонке ячейки.



При известных значениях, формула (3.10) примет вид:

$$B_c = \frac{16,3-10 \times 1,35}{2} = 1,4 \text{ мм}$$

Определения длины нити в петле переплетения «сукно» представляет достаточные сложности, так как в структуре сторонки ячейки всего две петли, однако длина этих петель несколько больше, чем длина нити петли «цепочки» и их влияние на расход нити может быть весьма значительным.

Для определения длины нити в петлях «сукно»  $l_c$ , используем метод уработки нити в процессе вязания [27].

При уработке определяли длину нити, потребляемой одной иглой за шестьдесят петельных рядов второй Гр2 и третьей Гр3 гребенками. Данные по уработке приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Длина нити, перерабатываемой одной иглой, при вязании 60 петельных рядов

Длина нити перерабатываемой за 60 петельных рядов, мм											Суммарное значение, мм	Длина нити, мм $L_n$	$L_{n \text{ ср.}}$
Гр2	263		264		263		266		262		1318	263,6	263,3
Гр3		265		262		264		262	262	1315	263		

Исходя из среднего значения длины нити, потребляемой одной иглой за 60 петельных рядов, а также зная количество петель «цепочка»  $n_c$  и петель «сукно»  $n_c$  и длину нити в петле «цепочки»  $l_c$ , можно определить длину нити в петле «сукно»  $l_c$ :

$$l_c = \frac{L_{n \text{ ср.}} - n_c \times l_c}{n_c} \quad (3.11)$$

В данном полотне длина нити в петле «сукно» будет:

$$l_c = \frac{263,3 - 50 \times 4,1}{2 \times 5} = 5,83 \text{ мм}$$

Таким образом, все необходимые параметры петель переплетений «сукно» и «цепочка» определены для расчета поверхностной плотности сетематериала растянутого при двухосной удельной нагрузке 6 сН/см.

### 3.2.2 Определение поверхностной плотности сетеполотна

Расчет поверхностной плотности  $\rho$  сетеполотна необходимо определять для трикотажа, находящегося в растянутом состоянии при двухосном натяжении равном 6 сН/см, что в дальнейшем позволит определить расход трикотажного сетеполотна при изготовлении ОП.

Зная массу нити, расходуемую на вязание одной ячейки  $m_{\text{я}}$  и число ячеек в  $1 \text{ м}^2$ , можно определить поверхностную плотность полотна.

В свою очередь масса ячейки  $m_{\text{я}}$  будет равна:

$$m_{\text{я}} = 2(n_{\text{ц}}l_{\text{ц}} + n_{\text{с}}l_{\text{с}})\pi d_{\text{н}}^2 \times \gamma \times 10^3, \quad (3.12)$$

где  $n_{\text{ц}}$  – число петель переплетения «цепочка» в одной сторонке ячейки сетеполотна;

$n_{\text{с}}$  – число петель переплетения «сукно» в одной сторонке ячейки сетеполотна;

$l_{\text{ц}}$  – длина нити в петле переплетения «цепочка», мм;

$l_{\text{с}}$  – длина нити в петле переплетения «сукно», мм;

$d_{\text{н}}$  – диаметр нити, мм;

$\gamma$  – удельный вес молибдена, г/см<sup>3</sup>.

Число ячеек  $N_{\text{я}}$  в  $1 \text{ м}^2$  растянутого сетеполотна, выражается как:

$$N_{\text{я}} = \frac{1000^2}{l_{\text{д}}^2} = \frac{10^6}{l_{\text{д}}^2}, \quad (3.13)$$

где  $l_{\text{д}}$  – длина диагонали квадратной ячейки сетеполотна в растянутом состоянии при удельной нагрузке 6 сН/см, мм.

$$l_{\text{д}} = \sqrt{l_{\text{ст.}}^2 + l_{\text{ст.}}^2} = \sqrt{16,3^2 + 16,3^2} = 23 \text{ мм},$$

где  $l_{\text{ст.}}$  – длина сторонки квадратной ячейки сетеполотна в растянутом состоянии при удельной нагрузке 6 сН/см, мм.

При известных значениях числа ячеек  $N_{\text{я}}$  в  $1 \text{ м}^2$  сетематериала и массы одной ячейки, определим поверхностную плотность  $\rho$  трикотажа разработанной структуры:

$$\rho = m_{\text{я}} \times N_{\text{я}}, \quad (3.14)$$

Подставив известные значения параметров формул (3.12) и (3.13) в формулу (3.14), получим:

$$\rho = \frac{2(10 \times 4,1 + 2 \times 5,8)3,14 \times 0,02^2 \times 10,2 \times 10^3}{23^2} = 2,55 \text{ г/м}^2$$

Полученное значение поверхностной плотности трикотажного крупноячеистого сетеполотна в растянутом состоянии при удельной нагрузке 6 сН/см позволит в дальнейшем определить массу ОП.

### 3.2.3 Определение светопропускной способности сетеполотна

Светопропускная способность сетематериала в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к ОП, должна составлять не менее 96%. Прозрачность сетематериала зависит от: структуры полотна, диаметра используемой нити, длины нитей в петлях сетеполотна и длины перекрытий нитей в раппорте переплетения [31].

Светопропускная способность сетеполотна, состоящего из ячеек, сторонки которых образованы двумя петельными столбиками переплетения «цепочка», соединенных петлями «сукно» в участках связок, характеризуется площадью просвета  $S_{\text{пр.}}$ , которая определяется разностью площади ячейки  $S_{\text{я}}$  и площади проекций нитей  $S_{\text{ня}}$ , приходящихся на одну ячейку [53], то есть:

$$S_{\text{пр.}} = S_{\text{я}} - S_{\text{ня}} \quad (3.15)$$

Сумму проекций нитей  $S_{\text{ня}}$ , приходящихся на одну ячейку, с учетом перекрытий можно определить как:

$$S_{\text{ня}} = 4d_{\text{н}}(n_{\text{ц}}l_{\text{ц}} - 3n_{\text{ц}}d_{\text{н}} + n_{\text{с}}l_{\text{с}} - 3n_{\text{с}}d_{\text{н}}), \quad (3.16)$$

где  $n_{\text{ц}}$  и  $n_{\text{с}}$  – количество петель переплетения «цепочка» и переплетения «сукно» в сторонках ячейки;

$l_{\text{ц}}$  и  $l_{\text{с}}$  – соответственно, длина нити в петлях переплетения «цепочка» и переплетения «сукно», из которых выработаны сторонки ячеек, мм;

$d_n$  – диаметр нити используемой для выработки сетеполотна, мм.

Площадь ячеей  $S_{я}$  можно определить как произведение длин сторон квадратной ячейки, растянутой при двухосной нагрузке 6 сН/см:

$$S_{я} = l_{ст.}^2 \quad (3.17)$$

Используя данные таблицы 3.1, получим:

$$S_{я} = 16,3^2 = 260,8 \text{ мм}^2$$

Для определения длины нити расходуемой при вязании одной ячейки, используем особенности структуры трикотажа, в которой в каждом петельном столбике число петель «цепочка»  $n_{ц} = 10$ , а число петель «сукно»  $n_{с} = 2$ , в свою очередь длина нити в петле переплетения «цепочка»  $l_{ц} = 4,1$  мм, а в переплетении «сукно»  $l_{с} = 5,8$  мм.

Подставив известные значения в формулу (3.16), получим:

$$S_{ня} = 4,15 \text{ мм}^2$$

В соответствии с формулой (3.15), площадь просвета будет равна:

$$S_{пр.} = 260,8 - 4,15 = 256,65 \text{ мм}^2$$

В свою очередь светопропускная способность  $K_{пр.}$  для разработанного сетеполотна, растянутого при двухосном растяжении и удельной нагрузке 6 сН/см, будет равен:

$$K_{пр.} = \frac{S_{пр.}}{S_{я}} 100\% \quad (3.18)$$

Подставив соответствующие значения  $S_{пр.}$  и  $S_{я}$  в формулу (3.18), получим:

$$K_{пр.} = \frac{256,65}{260,8} 100\% = 98,4\%$$

Расчеты светопропускной способности  $K_{пр.}$  сетематериала разработанной структуры квадратной ячейки со сторонами состоящих из десяти петель «цепочка» показало достаточно высокие значения. В соответствии с требованиями, предъявляемым к ОП, расчетное значение светопропускной способности  $K_{пр.}$  разработанного сетеполотна, соответствует заданному.

Интерес представляет посмотреть изменение показателей светопропускной способности и поверхностной плотности для структур сетеполотен, имеющих

меньшее число петель переплетения «цепочка» в сторонах ячеек при двухосном растяжении сетематериала с усилием 6 сН/см. Полученные значения представлены в таблице 3.6 и на графиках рисунков 3.13 и 3.14.

Таблица 3.6 - Значения светопропускной способности  $K_{пр.}$  для сетеполотен с различным размером ячеек

Число петель в стороне ячейки $n_{ц}$	Длина стороны ячейки, мм $l_{ст.}$	Площадь ячейки, мм <sup>2</sup> $S_{я}$	Сумма проекций систем нитей приходящихся на ячейку, мм <sup>2</sup> $S_{ня}$	Площадь просвета, мм <sup>2</sup> $S_{пр.}$	Светопропускная способность, % $K_{пр.}$	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup> $\rho$
3	6,85	46,92	1,88	45,03	95,97	6,52
4	8,2	67,24	2,21	65,02	96,71	5,34
5	9,55	91,2	2,53	88,66	97,22	4,51
6	10,9	118,81	2,85	115,95	97,59	3,9
7	12,25	150,06	3,18	146,87	97,88	3,44
8	13,6	184,96	3,5	181,45	98,1	3,07
9	14,95	223,5	3,82	219,67	98,28	2,78
10	16,3	260,8	4,15	256,65	98,4	2,55

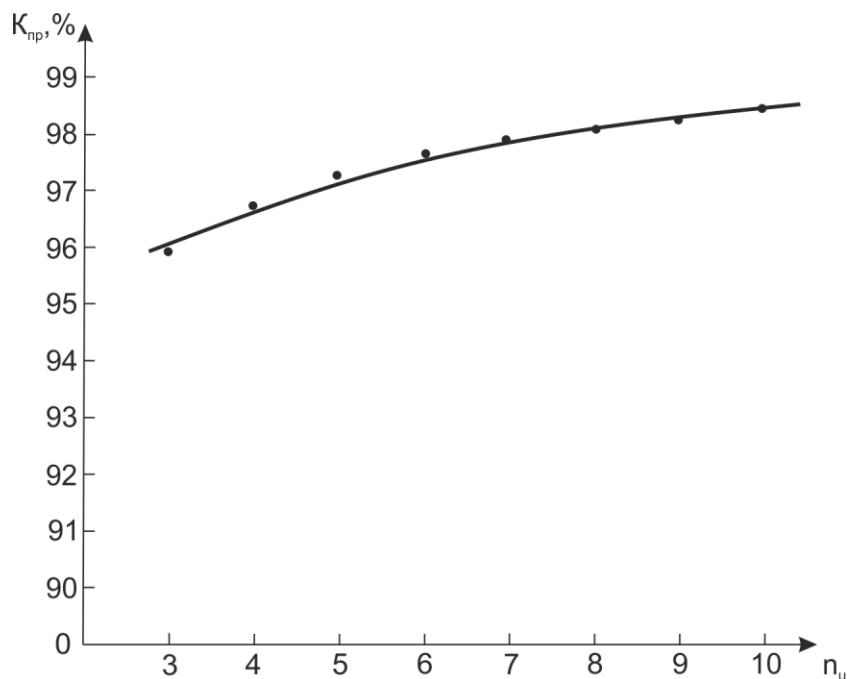


Рисунок 3.13 – Изменение светопропускной способности сетеполотна от числа петель переплетения «цепочка» в сторонах ячеек

Как видим, светопропускная способность сетеполотна увеличивается вместе с увеличением числа петель в сторонках ячеек. Показателями светопропускной способности свыше 96% обладают структуры сетематериалов, сторонки ячеек которых состоят из четырех и более петель.

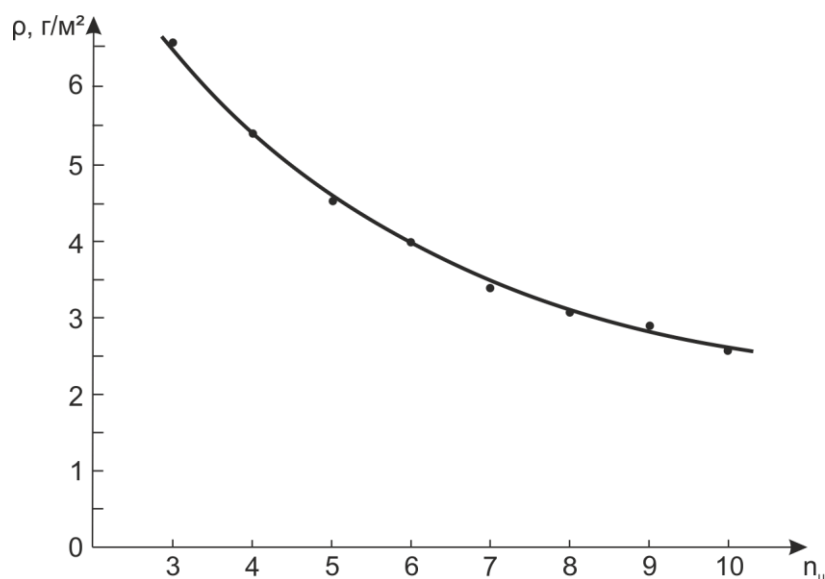


Рисунок 3.14 – График зависимости поверхностной плотности сетеполотна от количества петель переплетения «цепочка» в сторонке ячейки

Как показано на графике рисунка 3.14, значение поверхностной плотности сетематериала  $\rho$  увеличивается с уменьшением числа петель в сторонках полотна с 10 до 3 петель более чем в два раза. Полученные результаты исследования подтверждают, что показатель поверхностной плотности трикотажного полотна крупноячеистой структуры в значительной степени зависит от количества петель переплетения «цепочка» в сторонке ячейки.

Полученные значения светопропускной способности и поверхностной плотности сетеполотна, являются наиболее значимыми показателями, характеризующими сетематериал используемый для изготовления ОП. Так как данные показатели ограничены строгими требованиями.

### Выводы по третьей главе

1. Установлено, что параметры трикотажного сетеполотна, предназначенного для изготовления ОП рефлекторов антенн, должны определяться только при рабочем двухосном удельном растяжении сетематериала.
2. Для определения параметров трикотажного сетеполотна было использовано специальное устройство для двухосного растяжения материала, оснащенное фотоаппаратом с макрообъективом.
3. Исследование изменения относительного удлинения от удельной нагрузки при двухосном растяжении разработанного сетеполотна показало, что усилие удельного растяжения, равное 6 сН/см, обеспечивает образование четких квадратов на сетчатом полотне, не искажает форму петель и не дает остаточных деформаций при снятии нагрузки.
4. Эксперименты, выполненные с использованием метода исключения резко выделяющихся экспериментальных данных, позволили определить параметры полотна в условиях двухосного растяжения: длины нити в петле, высоты и ширины петли базового переплетения цепочка.
5. Расчеты поверхностной плотности для разработанного сетеполотна, с использованием экспериментальных значений длин петель и учетом особенностей структуры полотна, показали относительно низкие значения:  $\rho=2,55 \text{ г/м}^2$ .
6. Исследование изменений поверхностной плотности полотна в зависимости от числа петель переплетения цепочка в сторонках ячеек колеблется в пределах от 2,55 до 6,52  $\text{г/м}^2$  при варьировании числа петель в сторонке ячеек базового переплетения цепочка, соответственно, в пределах от 10 до 3.
7. Расчетным способом установлено, что изменение числа петель в сторонках ячеек переплетения «цепочка» значительно влияет на светопропускную способность, так при изменении петель переплетения «цепочка» в сторонке ячейки от 10 до 3, прозрачность  $K_{\text{пр}}$  изменяется в пределах от 98,4% до 95,97%.

#### **4 ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ТРИКОТАЖНОГО СЕТЕПОЛОТНА ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Одна из основных задач, решаемых в процессе проектирования и изготовления ОП для трансформируемых рефлекторов большого диаметра, является создание устойчивой пространственной формы изделия из плоскостного материала, каким является трикотажное сетеполотно.

Придание необходимой формы ОП обеспечивает силовой каркас рефлектора, на который при заданном уровне натяжения, крепится сетеполотно. Для разработанного сетеплотно величина оптимального усилия натяжения будет равна 6 сН/см. Заготовка ОП должна быть натянута равномерно, без провисания. Выполнение этого условия во многом зависит от количества и точности распределения точек крепления сетеплотно на силовом каркасе рефлектора [68].

Независимо от геометрических характеристик пространственной формы и конструктивных решений рефлектора при формировании трикотажного сетематериала для изготовления ОП необходимо учитывать следующее:

- ОП в рабочем развернутом состоянии должна находиться под постоянным двухосным натяжением, причем величина натяжения должна быть такой, которая исключит провисание сетематериала и обеспечит распрямление складок, образующихся при складывании антенны;
- натяжение сетеплотно в рабочем состоянии на всех участках поверхности должно быть одинаковым, что позволит обеспечить одинаковые площади, одинаковую форму и линейные размеры ячеек, образующих структуру сетеплотно.

Получить сложную объемно-пространственную форму из трикотажного сетематериала для ОП перспективных крупногабаритных трансформируемых антенн возможно несколькими способами.



#### **4.1 Способы изготовления отражающих поверхностей крупногабаритных трансформируемых рефлекторов антенн**

Первый и самый распространенный способ – конструктивный. Конструктивный способ формообразования предполагает получение развертки поверхности и его полного или частичного членения на детали с последующим их соединением. При этом, чем чаще будет выполнено членение, тем точнее будет воспроизведена геометрическая форма пространственной поверхности. Количество соединительных швов здесь будет зависеть от конструктивных особенностей антенны.

Данный способ успешно был реализован в работе Рытиковой И. В. [62], где была разработана технология проектирования ОП для самораскрывающейся параболической антенны. Конфигурация ОП на виде сверху представляла собой сложный эллипсообразный контур с размерами: большая ось которого была равна 14747 мм, а малая – 12000 мм. ОП рефлектора была сформирована из основязаного трикотажного сетеполотна, члененного на 50 плоскостных деталей различных размеров и конфигураций. Раскрой деталей и последующее их соединение осуществлялись при постоянном заданном двухосном натяжении с применением вспомогательного элемента - ленты-контакт.

Конструктивный способ формообразования ОП позволяет получать высокую точность воспроизведения и устойчивое закрепление деталей практически любой формы. Причем, при повреждении отдельных элементов ОП имеется возможность их замены. Но данный вариант, из-за технологической сложности соединения деталей и длительности процесса изготовления, не подходит для тонкостенных крупногабаритных поверхностей с крупноячеистой структурой.

Вторым способом изготовления ОП является технологический, основанный на использовании особенностей структуры, свойств трикотажа и возможностей вязального оборудования.

При выработке трикотажного сетеполотна для использования в качестве ОП

заданная форма может быть достигнута на стадии вязания путем изменения параметров и вида петельной структуры при использовании следующих технологических приемов:

- изменения плотности вязания;
- перехода на выработку трикотажа другого вида переплетения на разных участках полотна;
- изменения числа петель в соответствующих рядах трикотажного сетеполотна.

Такой способ возможно использовать только при ограниченных размерах ОП, так как изменение числа петель в соответствующих рядах трикотажного полотна можно получить только на плосковязальных или специальных кругловязальных машинах с реверсивным движением за счет частичного вязания, однако, такие вязальные машины имеют ограничения по ширине. Однако изменение плотности или структуры сетеполотна может негативно сказаться на радиоотражающих характеристиках ОП, поэтому данный способ не может быть использован при изготовлении ОП [21].

Для получения высокоточной ОП заданной пространственной формы предложен третий способ, согласно которому формообразование сетематериала достигается путем крепления полотна под натяжением на поверхность силового каркаса рефлектора.

В данном варианте пространственная форма сетематериала достигается без его членения на отдельные детали. Геометрию ОП в этом случае формирует силовой каркас рефлектора за счет крепления обозначенных точек заготовки ОП к опорным точкам на каркасе.

Основной задачей данного способа является разработка высокоточной заготовки ОП. Что подразумевает точный расчет формы ОП и местоположений точек соединения, как на поверхности выработанного сетеполотна, так и на конструкции каркаса рефлектора.

Точки соединения на сетеполотне рассчитываются с учетом необходимого натяжения, что при орбитальном положении рефлектора обеспечит равномерное

натяжение по всей его поверхности. Точность формы достигается путем выбора необходимого количества точек крепления, причем, чем больше их количество, тем точнее будет воспроизведена заданная форма ОП. Количество соединительных швов при изготовлении заготовки ОП определяется шириной трикотажного полотна, его растяжимостью, а также геометрическими параметрами рефлектора. При ограниченных габаритах рефлектора возможно полное отсутствие швов соединения.

При помощи каркаса решаются следующие задачи:

- придание заготовке ОП заданной пространственной формы;
- фиксация ОП с заданным поверхностным натяжением;
- исключение возможности взаимного зацепления и запутывания между собой сетематериала в процессе изменения положения работы рефлектора.

Достоинствами данного способа являются: во-первых, минимальная трудоемкость при соединении трикотажных полотен за счет исключения членения сетеполотна на детали; во-вторых, возможность точного инженерного расчета точек крепления сетематериала на поверхность рефлектора с учетом двухосного натяжения трикотажа.

Применение предлагаемого способа ускорит процесс настроек и регулировок устройства формирования пространственной поверхности, позволит получить ОП рефлектора наиболее приближенной к теоретической, и, следовательно, сократит цикл и стоимость его изготовления [7].

Известны различные пространственные формы рефлектора [79, 81, 83], на силовой каркас которого крепится ОП из трикотажного сетеполотна. Ниже будут рассмотрены способы проектирования ОП для сферических и параболических форм крупногабаритного трансформируемого рефлектора.

## 4.2 Проектирование отражающей поверхности из трикотажного основовязаного сетеполотна для рефлектора сферической формы

Известно, что конструкция рефлектора современной космической антенны может иметь весьма разнообразную форму, в том числе сферическую. Как уже отмечалось ранее, эффективность формообразования сетематериала, используемого в качестве ОП, будет зависеть от количества и местоположения точек крепления ОП к опорным стойкам на силовом каркасе рефлектора [94].

Для решения данной задачи предложена методика расчета, которая позволяет с высокой степенью точности определить местоположения контактных точек на поверхности ОП и рефлекторе сферической формы.

Если предполагаемая поверхность покрытия имеет правильную форму полусферы, имеющую оси координат  $X, Y, Z$  с центром  $O$  (рисунок 4.1), высота  $H$  полусферы будет равна радиусу  $R$ .

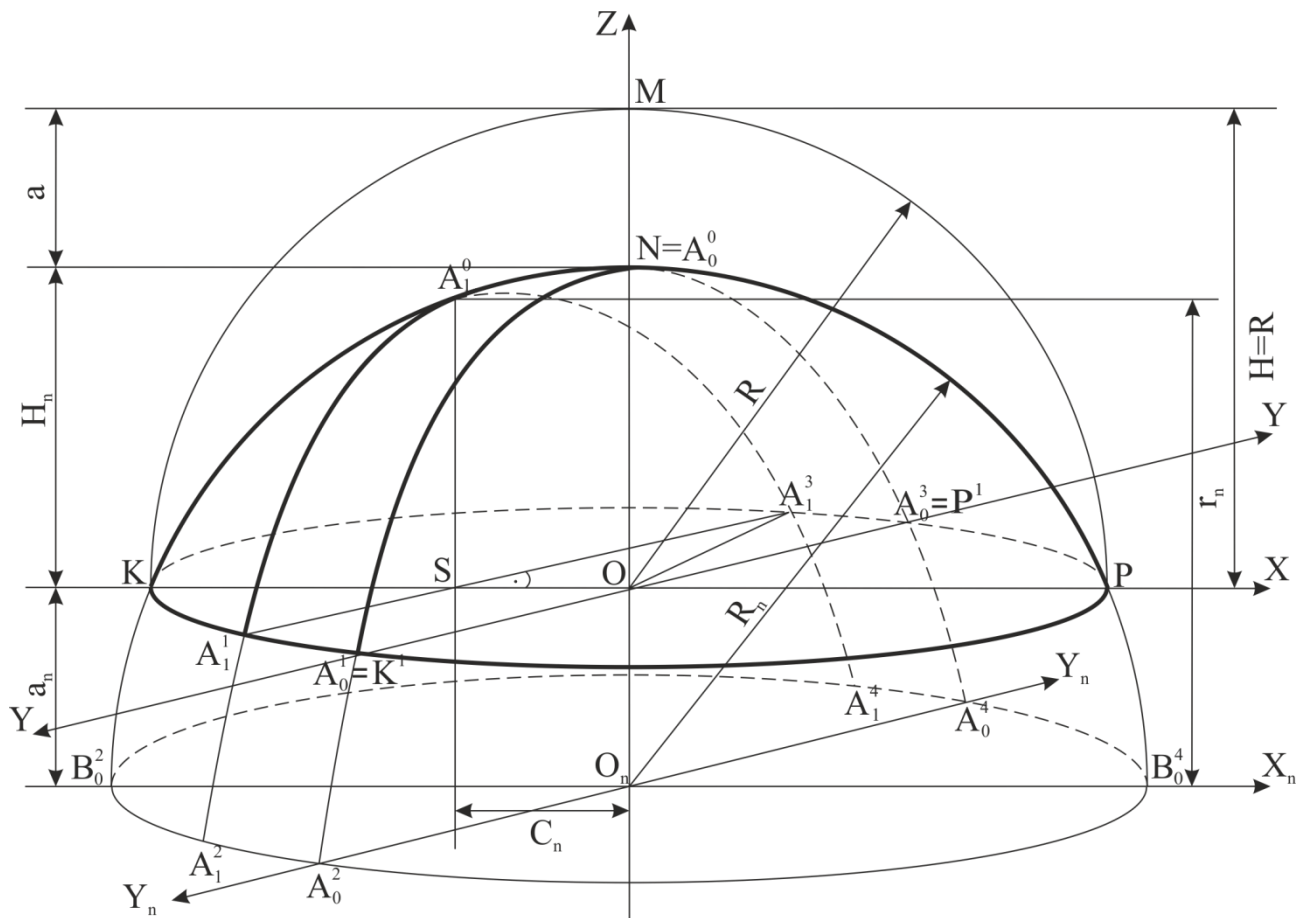


Рисунок 4.1 – Сферическая поверхность покрытия каркаса рефлектора

При известном значении диаметра  $D$ , можно записать [23]:

$$H = R = D/2 \quad (4.1)$$

Для расчета ОП из трикотажного сетеполотна для покрытия поверхности рефлектора сферической формы, рассеком данную поверхность плоскостью  $ZOX$  (рисунок 4.1), в которой вычертим окружность рассчитываемой сферы  $KMP$ , где  $M$  является вершиной.

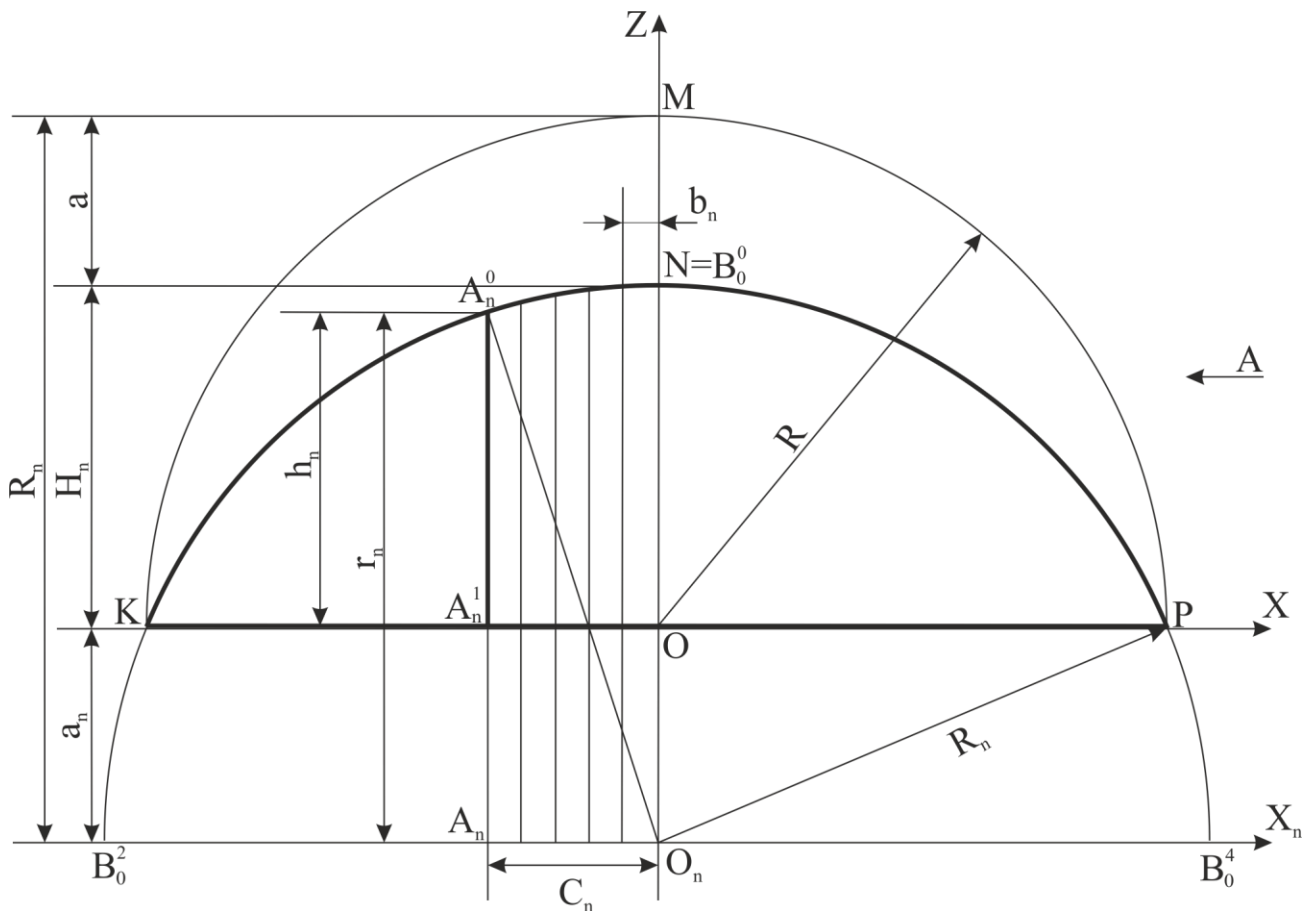


Рисунок 4.2 – Плоскости сечений  $ZOX$  сферической поверхности

Если поверхность покрытия имеет сферическую форму, что может быть при уменьшении высоты  $H$  сферы до высоты  $H_n$  при сохранении величины диаметра  $D$  основания рефлектора, то в этом случае радиус  $R_n$  будет больше радиуса  $R$  сферы. Окружность, в этом случае, будет проходить через точки  $KNP$ , а центр этой окружности будет находиться в точке  $O_n$ .

Для нахождения радиуса  $R_n$  новой окружности из точки  $M$  (рисунок 4.2) по

оси  $OZ$  опустим перпендикуляр  $MO$  и обозначим точку  $N$ , находящуюся в вершине новой окружности. Отрезок  $a_n$ , характеризует величину  $OO_n$  опускания центра окружности сферической поверхности, а величина  $MN$  определяет опускание вершины  $N$  сферы относительно вершины  $M$ .

Новая окружность  $B_o^2NB_o^4$  должна проходить через точки  $KNP$ , где  $N$  – вершина новой окружности, а  $R_n$  ее радиус. Центр  $O_n$  этой окружности должен находиться ниже центра  $O$  на величину  $a_n = OO_n$ . Рассчитаем значение радиуса  $R_n$  новой окружности и опускание центра  $O_n$ , относительно центра  $O$ , то есть значение  $a_n$ .

$$O_nN = R_n = (R - a) + a_n, \quad (4.2)$$

где  $a$  – расстояние между вершинами окружностей, или  $a = MN$ .

Из  $\triangle OPO_n$  следует:

$$R_n^2 - a_n^2 = R^2 \quad (4.3)$$

Из уравнения (4.2):

$$a_n = R_n - (R - a) \quad (4.4)$$

Подставив это значение в уравнение (4.3), получим:

$$\begin{aligned} R_n^2 - [R_n - (R - a)]^2 &= R^2 \\ R_n^2 - R_n^2 + 2R_n(R - a) - (R - a)^2 &= R^2 \\ 2R_n(R - a) &= R^2 + (R - a)^2 \\ R_n &= \frac{R^2 + (R - a)^2}{2(R - a)} = \frac{R^2 + R^2 - 2Ra + a^2}{2(R - a)} = \frac{2(R^2 - Ra) + a^2}{2(R - a)} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Радиусом  $R$  и параметром  $a$  задаемся.

Используя уравнение (4.5), можно рассчитать радиусы  $R_n$  других новых сферических поверхностей, а из уравнения (4.4) найти новые центры  $O_n$ , их расположения при любом заданном диаметре рефлектора и любом опускании вершины сферы.

Для определения местоположений точек крепления и количества сетематериала, требуемого для покрытия поверхностей сферической формы с диаметром основания  $D$ , рассечем сферу  $KMP$  или  $KNP$  плоскостями перпендикулярными плоскости  $XOZ$ , расположенными на расстоянии  $b_n$  друг от

друга [33].

От размера  $b_n$  зависит ширина полотна между точками его крепления на каркасе. Величиной  $b_n$  задаемся, исходя из геометрических параметров рефлектора и размера ячеек, образующих структуру сетеполотна. Для повышения качества покрытия поверхности, то есть получения более точной заданной сферической формы поверхности рефлектора, размер  $b_n$  должен быть по возможности минимальным.

Каждая из плоскостей  $A_n A_n^0 A_n$  (рисунок 4.2), рассекающих полусферы  $KNP$  или  $KMP$ , образуют окружности определенных радиусов  $r_n$ .

Для нахождения радиусов  $r_n$  окружностей, расположенных в рассекающих плоскостях  $A_n^1 A_n^0 A_n^3$ , параллельных плоскости  $ZOY$  (рисунок 4.1), опустим перпендикуляр  $A_n^0 A_n^1$  (рисунок 4.2) из точки  $A_n^0$  на ось  $OX$ . Обозначим отрезок  $A_n^0 A_n^1$  через радиус  $r_n$ , тогда из  $\Delta A_n A_n^0 O_n$  можно определить катет  $A_n^0 A_n$ , который будет соответствовать  $r_n$ :

$$r_n = \sqrt{R_n^2 - C_n^2}, \quad (4.6)$$

где  $R_n$  - радиус окружности, проведенной через точки  $B_0^2 N B_0^4$ ;

$C_n$  - расстояние от оси  $ZO_n$  (рисунок 3.1; 3.2) до плоскости  $A_n B_n$ .

Величиной  $C_n$  задаемся:

$$C_n = b_n n,$$

где  $b_n$  - расстояние между плоскостями  $A_n^0 A_n^1 A_n$ ;

$n$  – порядковый номер плоскости, начиная от оси  $ZO$ .

Зная радиус  $r_n$  каждой окружности, расположенной в плоскостях  $A_n^0 A_n^1 A_n$  и величину опускания центра  $O_n$  относительно центра  $O$ , то есть величину  $a_n$ , можно определить высоту  $h_n$ , сферической поверхности в каждом сечении  $A_n B_n A_n$  (рисунок 4.2):

$$h_n = A_n^0 A_n^1 = r_n - a_n \quad (4.7)$$

На рисунке 4.3 изобразим вид по стрелке А из рисунка 4.2 дуги окружности диаметром  $d_n = 2r_n$ , расположенной в плоскости  $A_n^0 A_n^1 A_n$ .

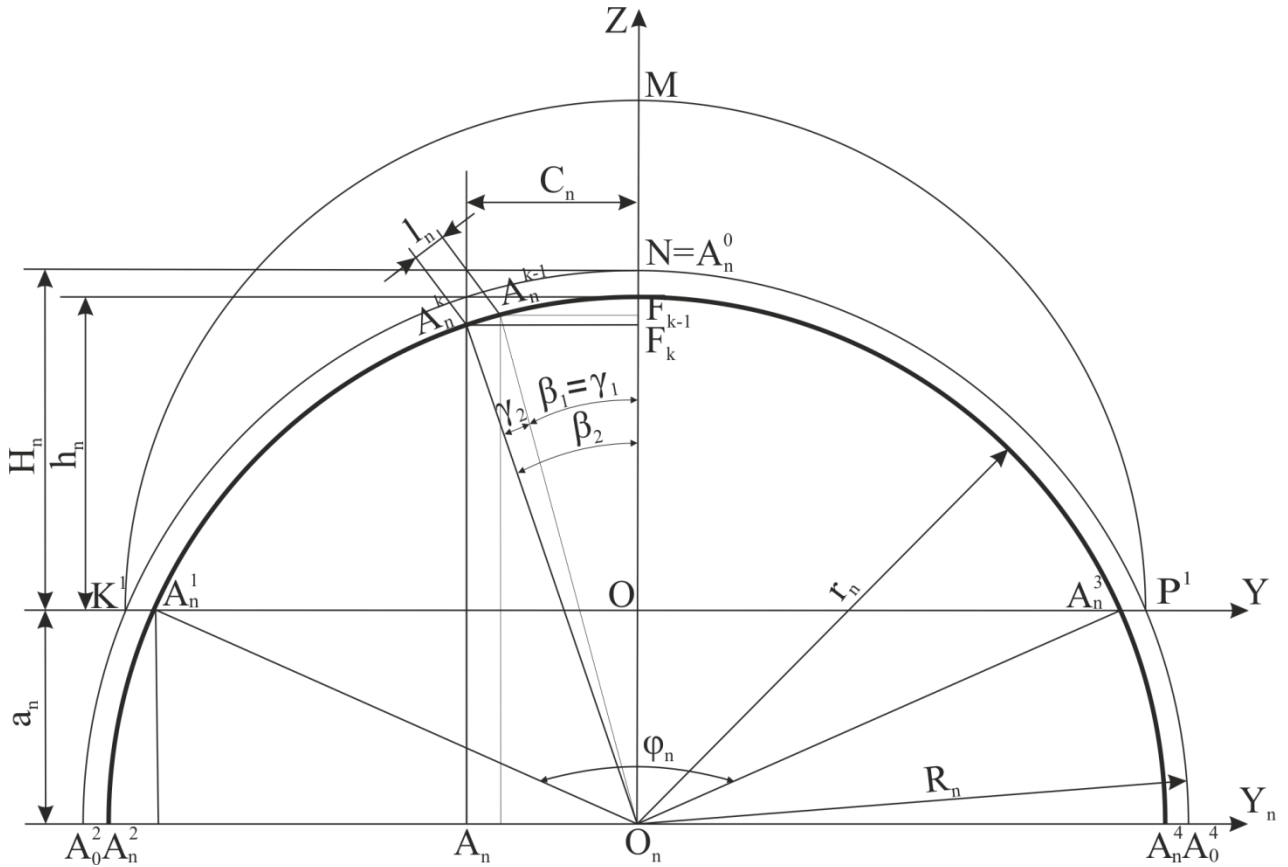


Рисунок 4.3 – Вид по стрелке А

Определим длину дуги параллельной плоскости  $ZOY$   $A_n^1 A_n^0 A_n^3$  (рисунок 4.3) с радиусом  $r_n$  и углом  $\varphi_n$ , соответствующим этой дуге.

Обозначим длину дуги  $A_n^1 A_n^0 A_n^3$  через  $L_{r_n}$ , тогда можно записать [19]:

$$L_{r_n} = \frac{\pi d_n}{360} \varphi_n = \frac{2\pi r_n}{360} \varphi_n, \quad (4.8)$$

где угол  $\varphi_n$  соответствует дуге  $A_n^1 A_n^0 A_n^3$ , а диаметр  $d_n$  соответствует диаметру этой дуги.

В свою очередь из  $\Delta A_n^1 O O_n$  угол  $\varphi_n$  будет равен:

$$\begin{aligned} \frac{\varphi_n}{2} &= \arccos \frac{a_n}{r_n}; \\ \varphi_n &= 2 \arccos \frac{a_n}{r_n}, \end{aligned} \quad (4.9)$$

тогда длина дуги  $L_{r_n}$  будет равна:

$$L_{r_n} = \frac{2\pi r_n}{360} \varphi_n \quad (4.10)$$

Длины дуг  $A_n^k A_n^{k-1}$  определяют длину полотна между точками крепления в



каждом из сечений  $A_n^2 A_n^0 A_n^4$ . Однако известно, что при креплении на спицы каркаса рефлектора, полотно между точками натягивается и образует хорды. Поэтому между точками  $A_n^k A_n^{k-1}$  будем определять длины хорд.

Для определения длин хорд на каждом из участков  $A_n^k A_n^{k-1}$ , разделим каждую дугу  $A_n^1 A_n^0 A_n^3$  (рисунок 4.3) плоскостями перпендикулярными плоскости  $XOY$ , проведенными через расстояние  $b_n$ , то есть параллельными плоскости  $XOZ$ .

Затем для соответствующих дуг  $A_n^k A_n^{k-1}$  из  $\Delta O_n A_n^k F_k$  сначала определим значения углов  $\beta_n = \angle O_n A_n^k F_n$ .

$$\beta_n^k = \arcsin \frac{nb_n}{r_n} \quad (4.11)$$

где  $n$  – порядковый номер плоскости  $A_n^k A_n$  от оси  $ZO$ ;

$r_n$  – радиус окружности.

Затем определим углы  $\gamma_n$  соответствующие дугам  $A_n^k A_n^{k-1}$ .

Угол  $\gamma_n^k$  будет равен:

$$\gamma_n^k = \beta_n^k - \beta_n^{k-1}, \quad (4.12)$$

а соответствующая этому углу длина хорды  $l_n$  равна:

$$l_n^k = 2r_n \sin \frac{\gamma_n^k}{2} \quad (4.13)$$

Общая длина  $L_n$  каждой дуги с использованием выполненных расчетов длин хорд в действительности будет равна сумме длин хорд:

$$L_n = \sum_o^k l_n^k \quad (4.14)$$

и будет меньше длины дуги  $L_{r_n}$ , рассчитанной по формуле (4.10).

Для высокоточного формообразования материала, используемого в качестве ОП, местоположение контактных точек на силовом каркасе рефлектора заданного размера можно определять, используя значения  $L_n$  и  $l_n^k$ . Число контактных точек и расстояние между ними может изменяться в зависимости от геометрических параметров рефлектора.

Расчетные данные для сферической поверхности с диаметром основания  $D = 40$  м и высотой  $H_n = 5$  м представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Расчетные данные длин участков ОП между точками крепления для сферической поверхности

Условные точки	Расстояние от оси $ZO_n$ до плоскости $A_nB_n, C_n$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Значения длин участков между точками, $l_n$									
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001
4	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003
5	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005
6	1,008	1,008	1,008	1,008	1,008	1,008	1,008	1,008	1,008	1,008
7	1,011	1,011	1,011	1,011	1,012	1,012	1,012	1,012	1,012	1,012
8	1,015	1,015	1,015	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016
9	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,021	1,021	1,021	1,021
10	1,025	1,025	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,027
11	1,031	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,034	1,033
12	1,038	1,038	1,038	1,038	1,039	1,039	1,039	1,039	1,04	1,04
13	1,046	1,046	1,046	1,046	1,046	1,046	1,047	1,047	1,048	1,048
14	1,054	1,054	1,054	1,054	1,055	1,055	1,055	1,056	1,056	1,057
15	1,063	1,063	1,063	1,064	1,064	1,064	1,065	1,065	1,066	1,067
16	1,073	1,074	1,074	1,074	1,074	1,075	1,075	1,076	1,077	1,077
17	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,086	1,087	1,087	1,088	1,089
18	1,097	1,097	1,097	1,097	1,098	1,098	1,099	1,1	1,101	-
19	1,110	1,110	1,111	1,111	1,111	1,112	1,113	-	-	-
20	1,125	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Длина дуги, $L_n$	20,822	19,697	19,698	19,701	19,704	19,708	19,712	18,604	18,61	17,513

Продолжение таблицы 4.1

Условные точки	Расстояние от оси $ZO_n$ до плоскости $A_nB_n, C_n$									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Значения длин участков между точками, $l_n$									
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,002	1,002	1,002	1,002
4	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,004	1,004	1,004
5	1,005	1,006	1,006	1,006	1,006	1,006	1,006	1,006	1,006	1,007
6	1,008	1,009	1,009	1,009	1,009	1,009	1,009	1,01	1,01	1,01
7	1,012	1,012	1,012	1,013	1,013	1,013	1,013	1,014	1,014	-
8	1,016	1,017	1,017	1,017	1,017	1,018	1,018	1,019	1,019	-
9	1,021	1,022	1,022	1,022	1,023	1,023	1,024	1,024	-	-
10	1,027	1,027	1,028	1,028	1,029	1,029	1,03	1,031	-	-
11	1,033	1,034	1,034	1,035	1,036	1,036	1,037	-	-	-
12	1,041	1,041	1,042	1,043	1,043	1,044	1,045	-	-	-
13	1,049	1,049	1,05	1,051	1,052	1,053	-	-	-	-
14	1,058	1,058	1,059	1,06	1,061	-	-	-	-	-
15	1,067	1,068	1,069	1,071	-	-	-	-	-	-
16	1,078	1,079	1,081	-	-	-	-	-	-	-
17	1,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Длина дуги, $L_n$	17,52	16,435	16,441	15,366	14,3	13,243	12,193	10,112	8,058	6,025

Предложенная методика расчета, позволяет определить местоположение точек крепления на сетематериале для формирования заготовки ОП сферической формы. Расчетные данные, представленные в таблице 4.1, показывают значения длины сетематериала между точками крепления, а также общую длину сетематериала на каждой заданной дуге поверхности. Полученные данные, для покрываемой поверхности сферической формы, в дальнейшем позволят определить необходимое для выработки число сетеполотен и их параметры для изготовления ОП.

### 4.3 Проектирование отражающей поверхности из трикотажного основовязаного сетеполотна на каркас рефлектора параболической формы

Наиболее часто каркас трансформируемого крупногабаритного рефлектора имеет параболическую форму. Для обеспечения эффективного формообразования заготовки ОП для покрытия такого каркаса, необходимо определить местоположение точек крепления сетематериала на параболическую поверхность каркаса рефлектора [86, 88, 91].

На рисунке 4.4 изображена параболическая поверхность силового каркаса рефлектора, где каждая плоскость, параллельная плоскости  $XOY$ , пересекает ее по окружностям. Например, на максимальной высоте  $OO_1$ , равной  $h_1$  образуется окружность с центром  $O_1$  и максимальным заданным радиусом  $R_1$  параболической поверхности  $O_1A_2$ .

В соответствии с каноническим уравнением параболы уравнение максимальной параболы  $A_1OA_2$  можно записать в виде [52]:

$$Z_n = k_1 Y_n^2 \quad (4.15)$$

где  $Y_n$  – максимальный радиус  $R_1$  заданной параболической поверхности;

$Z_n$  – максимальная высота  $h_1$  параболической поверхности.

То есть уравнение (4.15) можно записать в виде:

$$h_1 = k_1 R_1^2 \quad (4.16)$$

При известных геометрических параметрах параболической поверхности из формулы (4.16) можно определить коэффициент  $k_1$  максимальной параболы  $A_1OA_2$ :

$$k_1 = h_1 / R_1^2 \quad (4.17)$$

Для дальнейших расчетов необходимо определить уравнения парабол, находящихся в плоскостях параллельных плоскости  $A_1OA_2$  и расположенных на определенном заданном расстоянии  $m_1$  от плоскости  $A_1OA_2$ . Например, такой плоскостью может быть плоскость, проходящая через точки  $B_1B_2B_3B_4B_5$ .

Парабола  $B_1B_4B_2$ , находящаяся в плоскости  $B_1B_2B_3B_4B_5$ , будет иметь

максимальную ширину  $B_1B_2$ , а ее вершина  $B_4$  будет приподнята относительно плоскости  $XOY$  на величину  $p_2$ .

Для всех рассчитываемых парабол, находящихся в плоскостях параллельных плоскости  $A_1OA_2$  (рисунок 4.4), сначала найдем уравнения парабол, а затем координаты  $y_n$  и  $z_n$  точек, расположенных на этих параболах.

В общем виде уравнение парабол, находящихся в плоскостях параллельных плоскости  $A_1OA_2$  можно записать в виде [48]:

$$Z_n - p_n = k_k Y_n^2 \quad (4.18)$$

где  $p_n = h_z$  – величина, на которую приподнята вершина любой из этих парабол относительно плоскости  $XOY$ .

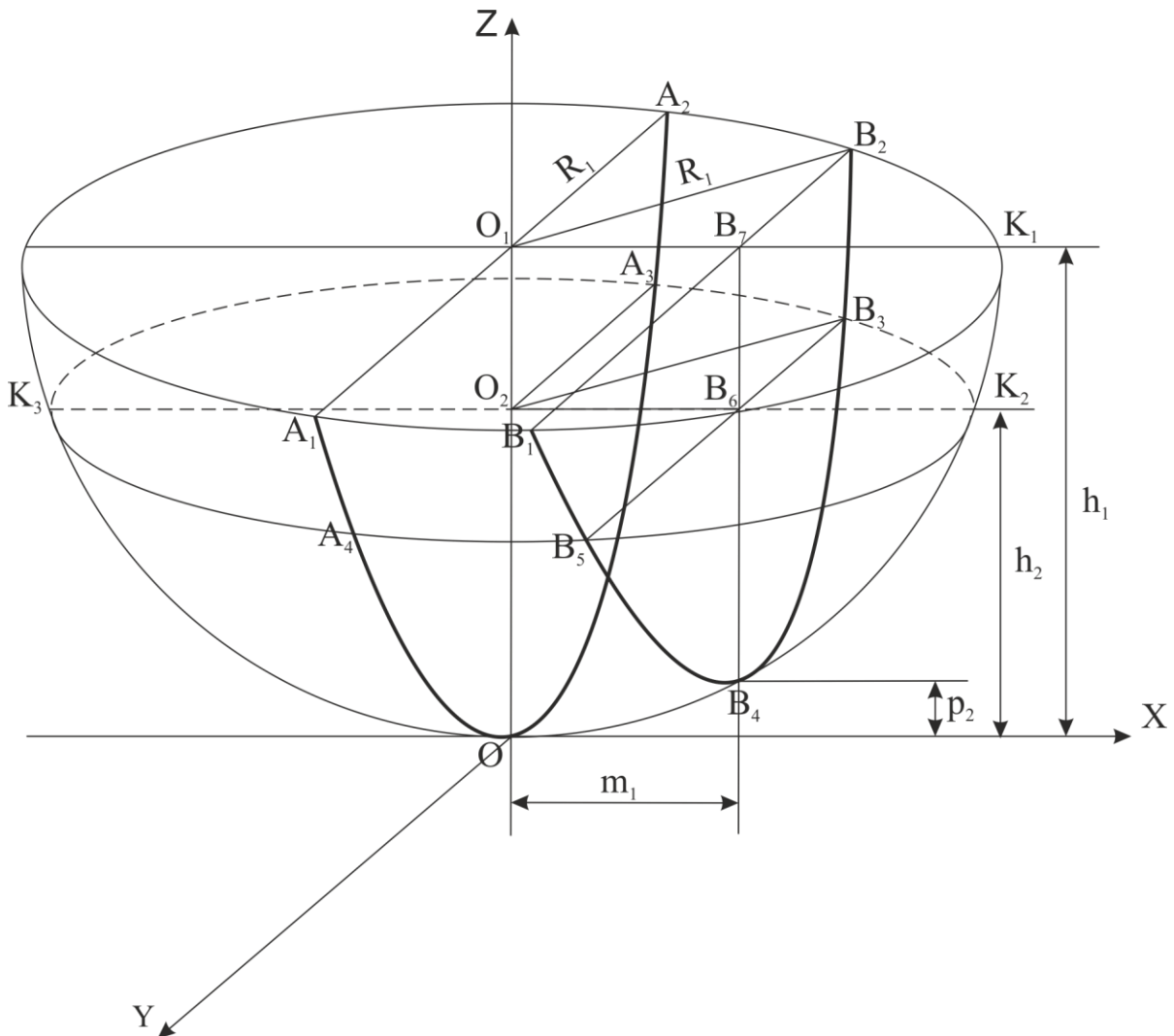


Рисунок 4.4 – Параболическая поверхность покрытия каркаса рефлектора

Каждая точка, находящаяся, например на параболе  $B_1B_4B_2$  имеет свои координаты. Так координата точки  $B_2$  будет иметь  $Y_1$  – равной максимальной ширине этой параболы, а высотой точки  $B_2$  относительно плоскости  $XOY$ , в данном случае будет  $Z_1 = h_1$ .

Анализируя уравнение (4.19), видим, что известным может быть только  $Z_1$ , а  $Y_1$  можно определить из  $\Delta O_1B_2B_7$ :

$$B_2B_7 = Y_1 = \sqrt{R_1^2 - m_1^2} \quad (4.19)$$

Два других параметра в уравнении (4.18)  $p_n$  и  $k_n$  являются неизвестными. Так как они принадлежат второй параболы  $B_1B_4B_2$ , назовем их соответственно  $p_2$  и  $k_2$ .

Для нахождения значений  $p_2$  и  $k_2$  зададимся точкой  $B_3$ , расположенной на той же параболы  $B_1B_4B_2$ , но на высоте  $h_2$ , равной  $Z_2$ . Причем,  $h_2 < h_1$ , например, на 1 метр, тогда  $Z_2 = h_2 = Z_1 - 1$ .

Составив два уравнения для точек  $B_2$  и  $B_3$ , лежащих на параболы  $B_1B_4B_2$ , получим систему двух уравнений, имеющих два неизвестных [44]:

$$\begin{cases} Z_1 - p_2 = k_2 Y_1^2 \\ Z_2 - p_2 = k_2 Y_2^2 \end{cases} \quad (4.20)$$

где  $Z_2 = Z_1 - 1$ .

Так как в данном случае для точки  $B_2$ ,  $Z_1 = h_1$ , а  $Z_2 = Z_1 - 1$ , то систему (4.19) можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} Z_1 - p_2 = k_2 Y_1^2 \\ (Z_1 - 1) - p_2 = k_2 Y_2^2 \end{cases} \quad (4.21)$$

где  $Y_2$  равен радиусу  $R_2$  окружности, расположенной в плоскости  $A_4B_5K_2B_3A_3$  с центром  $O_2$ , параллельной плоскости  $A_1B_1K_1A_2$  с центром  $O_1$ .

Так как плоскость  $A_4B_5K_2B_3A_3$  пересекается с известной параболы  $Z_n = k_1 Y_n^2$  в точке  $A_3$ , то зная коэффициент  $k_1$  параболы  $A_1OA_2$  и высоту расположения плоскости  $A_4B_5K_2B_3A_3$ , можно определить  $Y_2$  – для точки  $A_3$ , из уравнения (4.23):

$$Y_2 = \sqrt{Z_2/k_1} \quad (4.22)$$

или

$$Y_2 = \sqrt{\frac{Z_1 - 1}{k_1}},$$

причем  $Y_2 = R_2$  - радиусу окружности  $K_3A_4B_5K_2B_3A_3$  с центром  $O_2$ .

Затем из  $\Delta O_2B_3B_6$  определим значение  $B_6B_3 = Y_2$  для точки  $B_3$ , находящейся на параболе  $B_1B_4B_2$ :

$$Y_2 = \sqrt{(O_2B_3)^2 - m_1^2} = \sqrt{R_2^2 - m_1^2} \quad (4.23)$$

Подставив известные значения  $Z_2$  и  $Y_2$  в систему уравнений (4.20), можно найти значения  $k_2$  и  $p_2$ .

Из уравнения  $Z_1 - p_2 = k_2 Y_1^2$

$$k_2 = \frac{Z_1 - p_2}{Y_1^2} \quad (4.24)$$

Подставив значение  $k_2$  во второе уравнение системы (4.20), получим:

$$\begin{aligned} Z_2 - p_2 &= \frac{Z_1 - p_2}{Y_1^2} Y_2^2 \\ Z_2 Y_1^2 - p_2 Y_1^2 &= Z_1 Y_2^2 - p_2 Y_2^2 \\ Z_2 Y_1^2 - Z_1 Y_2^2 &= p_2 (Y_1^2 - Y_2^2) \\ p_2 &= \frac{Z_2 Y_1^2 - Z_1 Y_2^2}{Y_1^2 - Y_2^2}, \end{aligned} \quad (4.25)$$

где  $Z_2 = Z_1 - 1$ .

Зная величину  $p_2$  из уравнения  $(Z_1 - 1) - p_2 = k_2 Y_2^2$ , можно найти  $k_2$ :

$$k_2 = \frac{(Z_1 - 1) - p_2}{Y_2^2} \quad (4.26)$$

Аналогично можно найти уравнения и для других парабол, расположенных в плоскостях, параллельных плоскостям  $A_n O_n A_n$ , удаленных от плоскости  $A_1 O A_2$  на расстояние  $m_n$ .

Зная значение  $p_n$  и  $k_n$  парабол  $Z_n - p_n = k_n Y_n^2$ , задаваясь значениями координат  $Z_n$ , например через 1 метр, можно найти соответствующие им значения координат  $Y_n$ , для любой точки, расположенной на параболе, а затем через полученные координаты точек определить длины хорд  $N_n N_{n-1}$  на каждой параболе:

$$N_n N_{n-1} = \sqrt{(Y_n - Y_{n-1})^2 + (Z_n - Z_{n-1})^2}, \quad (4.27)$$

где  $Y_n; Y_{n-1}; Z_n; Z_{n-1}$  - координаты точек  $N_n N_{n-1}$  расположенных на параболах. Сумма длин участков хорд  $\sum_1^n N_n N_{n-1}$  каждой  $k$  параболы соответствует длине параболы  $L_k$  и определяет длину материала по каждой параболе, то есть:

$$L_k = \sum_1^n N_n N_{n-1} = \sum_1^n \sqrt{(Y_n - Y_{n-1})^2 + (Z_n - Z_{n-1})^2} \quad (4.28)$$

Зная длину материала  $L_k = \sum_1^n N_n N_{n-1}$  на каждой хорде параболы и относительное расположение парабол, можно получить развертку конструкции ОП и общий расход сетематериала для ее изготовления.

Расчетные значения длин хорд между точками крепления, расположенные на каждой параболе представлены в Таблице 4.2. Расчеты выполнены для параболической поверхности, имеющей основание диаметра 40 м и высоту 5 м.

Таблица 4.2 – Расчетные данные длин участков ОП между точками крепления для параболической поверхности

Условные точки	Расстояние $m_n$ от плоскости $A_1 O A_2$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Значения длин участков между точками, $N_n N_{n-1}$									
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1,001	1,001	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1,003	1,001	1,001	1	1	1	1	1	1	1,001
4	1,003	1,003	1,002	1,001	1,001	1,001	1,002	1,004	1,001	1,004
4	1,006	1,006	1,002	1,003	1,003	1,001	1,007	1,009	1,001	1,007
6	1,014	1,011	1,007	1,006	1,007	1,001	1,012	1,014	1,001	1,011
7	1,019	1,011	1,009	1,012	1,011	1,001	1,017	1,019	1,001	1,017
8	1,023	1,014	1,014	1,017	1,015	1,002	1,025	1,021	1,001	1,022
9	1,029	1,019	1,019	1,021	1,021	1,003	1,032	1,024	1,001	1,025
10	1,038	1,029	1,026	1,029	1,021	1,008	1,045	1,024	1,001	1,027
11	1,046	1,038	1,036	1,031	1,022	1,009	1,064	1,026	1,001	1,032
12	1,059	1,063	1,045	1,039	1,023	1,009	1,069	1,029	1,001	1,037
13	1,065	1,068	1,057	1,043	1,025	1,009	1,077	1,031	1,001	1,043
14	1,073	1,076	1,065	1,048	1,026	1,012	1,082	1,035	1,001	1,047
15	1,078	1,078	1,071	1,054	1,031	1,015	1,087	1,39	1,001	1,05
16	1,086	1,078	1,073	1,056	1,035	1,016	1,092	1,044	1,001	1,053
17	1,089	1,078	1,073	1,057	1,036	1,015	1,094	1,043	1,001	1,054
18	1,091	1,079	1,075	1,059	1,038	1,019	1,094	1,045	1,001	1,056
19	1,091	1,08	1,079	1,061	1,041	1,022	1,094	1,049	1,004	-
20	1,092	1,086	1,08	1,063	1,042	1,036	-	-	-	-
Длина дуги $L_k$	20,874	20,835	20,754	20,619	20,429	20,184	19,901	19,463	19,036	18,49



Продолжение таблицы 4.2

Условные точки	Расстояние $m_n$ от плоскости $A_1OA_2$									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Значения длин участков между точками, $N_n N_{n-1}$									
1	1,001	1	1	1,001	1,002	1,001	1,001	1,001	1,049	1,04
2	1,004	1,001	1,001	1,002	1,004	1,003	1,004	1,007	1,054	1,043
3	1,011	1,001	1,003	1,009	1,012	1,006	1,009	1,017	1,058	1,045
4	1,014	1,003	1,008	1,016	1,019	1,011	1,012	1,022	1,059	1,049
5	1,026	1,006	1,01	1,021	1,025	1,018	1,018	1,025	1,065	1,051
6	1,034	1,009	1,014	1,023	1,029	1,021	1,019	1,027	1,073	1,054
7	1,042	1,011	1,019	1,034	1,035	1,041	1,019	1,029	1,079	-
8	1,049	1,012	1,025	1,041	1,063	1,061	1,021	1,032	1,08	-
9	1,054	1,013	1,033	1,046	1,069	1,065	1,025	1,037	1,084	-
10	1,059	1,014	1,041	1,057	1,073	1,071	1,029	1,047	1,089	-
11	1,066	1,015	1,045	1,061	1,079	1,076	1,034	1,053	-	-
12	1,074	1,016	1,05	1,064	1,083	1,079	1,037	-	-	-
13	1,08	1,021	1,053	1,071	1,089	1,081	-	-	-	-
14	1,084	1,023	1,057	1,077	1,096	-	-	-	-	-
15	1,097	1,024	1,059	1,079	-	-	-	-	-	-
16	1,104	1,025	1,063	-	-	-	-	-	-	-
17	1,107	1,028	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-							-	-	-
19	-							-	-	-
20	-									
Длина дуги $L_k$	17,921	17,225	16,492	15,611	14,678	13,535	12,23	11,305	10,695	6,286

Предложенной методикой расчета, были определены местоположения точек крепления на сетематериале для формирования заготовки ОП параболической формы. Данные таблицы показывают значения длины сетематериала между точками крепления, а также общую длину сетематериала на каждой заданной параболе рассчитываемой поверхности. В дальнейшем значения, представленные в таблице 4.2, будут использованы для определения числа сетеполотен и их параметры для выработки на вязальной машине.

Так как, формирование ОП предполагается выполнить из плоскостных сетеполотен без их членения на детали, то в таком случае необходимо дать оценку возможности формирования заготовки ОП сферической и параболической форм из разработанного сетематериала.

#### 4.4 Исследование и оценка возможности формирования отражающей поверхности из плоскостного трикотажного сетематериала

Заготовка ОП представляет собой одно или несколько сетеполотен, соединенных между собой в одно изделие. В дальнейшем заготовку крепят на каркас рефлектора, соединяя точки крепления, тем самым ОП должна максимально повторить заданную форму рефлектора [17]. Развертка ОП в проекции будет иметь вид круга, который рассечен взаимно перпендикулярными прямыми линиями, соответствующими плоскостям, для которых рассчитывались длины хорд образующих дуги.

Для того чтобы оценить возможность формирования ОП сферической и параболической форм из плоскостного трикотажного сетематериала, был проведен анализ размеров противоположных сторон квадратов, вершины которых являются условными точками крепления ОП к каркасу рефлектора и определено процентное отклонение длин противоположных сторон квадратов.

Рассчитав все значения длин хорд для каждой из дуг, расположенных между условными точками крепления, можно сравнить их длины, находящиеся в каждой зоне между собой и оценить их процентное отклонение противоположных сторон, образующихся условных квадратов при креплении сетеполотна.

Для оценки длин сторон, образующих в проекции квадраты (рисунок 4.5а), обозначения каждого квадрата будем представлять в виде четырех сторон, условно обозначив их цифрами 1, 2, 3, 4 (рисунок 4.4 б). Очевидно, что для оценки правильности квадрата необходимо сравнивать длины противоположных сторон, то есть 1 с 3 и 2 с 4.

Следует учесть, что длины хорд, образованные с одинаковыми цифровыми значениями одинаковы. Поэтому в таблицах 4.1 и 4.2 произведены расчеты только по плоскостям, параллельным плоскости  $ZOY$ , а значения хорд на плоскостях, параллельных плоскости  $ZOX$ , имеющие одинаковые цифровые значения будут одинаковы.

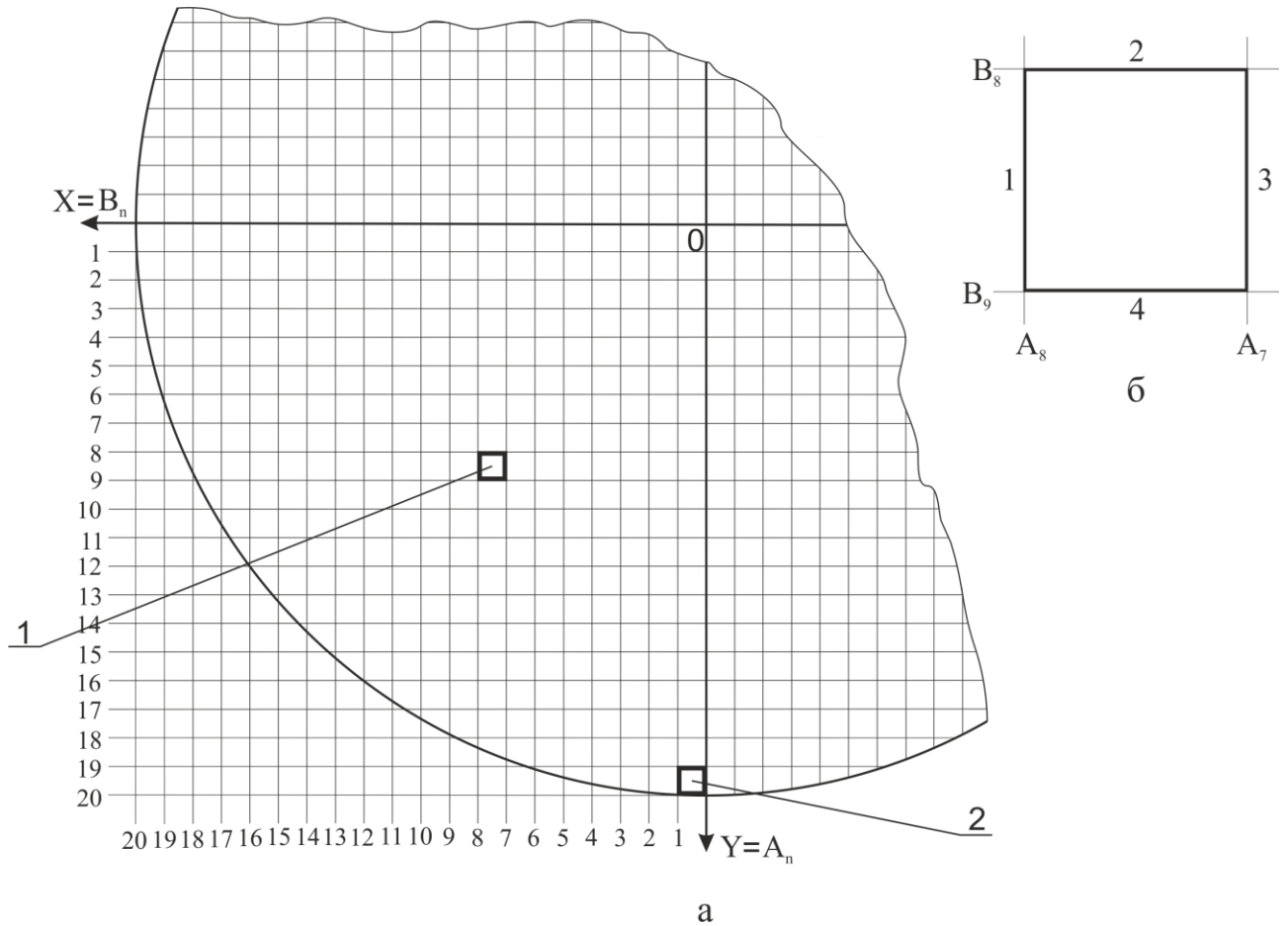


Рисунок 4.5 – Вид сверху на покрываемую поверхность в плоскости  $XOY$

По данным таблицы 4.1 получена проекция ОП на плоскости и показаны участки отклонения сетеполотна от заданной формы для каркаса рефлектора сферической формы с диаметром основания 40 м и высотой 5 м, чертеж данной конструкции представлен на рисунке 4.6. Для построения проекции ОП и определения отклонения сетеполотна от поверхности для рефлектора параболической формы, имеющего аналогичные размеры диаметра и высоты, были использованы данные таблицы 4.2, данная проекция представлена на рисунке 4.7.

Сравнивая рисунки 4.6 и 4.7 видим, что на ОП рефлектора сферической формы, отклонение размеров сторон квадратов образуется только по краям и составляет менее 1,5%, что практически не повлияет на форму ОП.

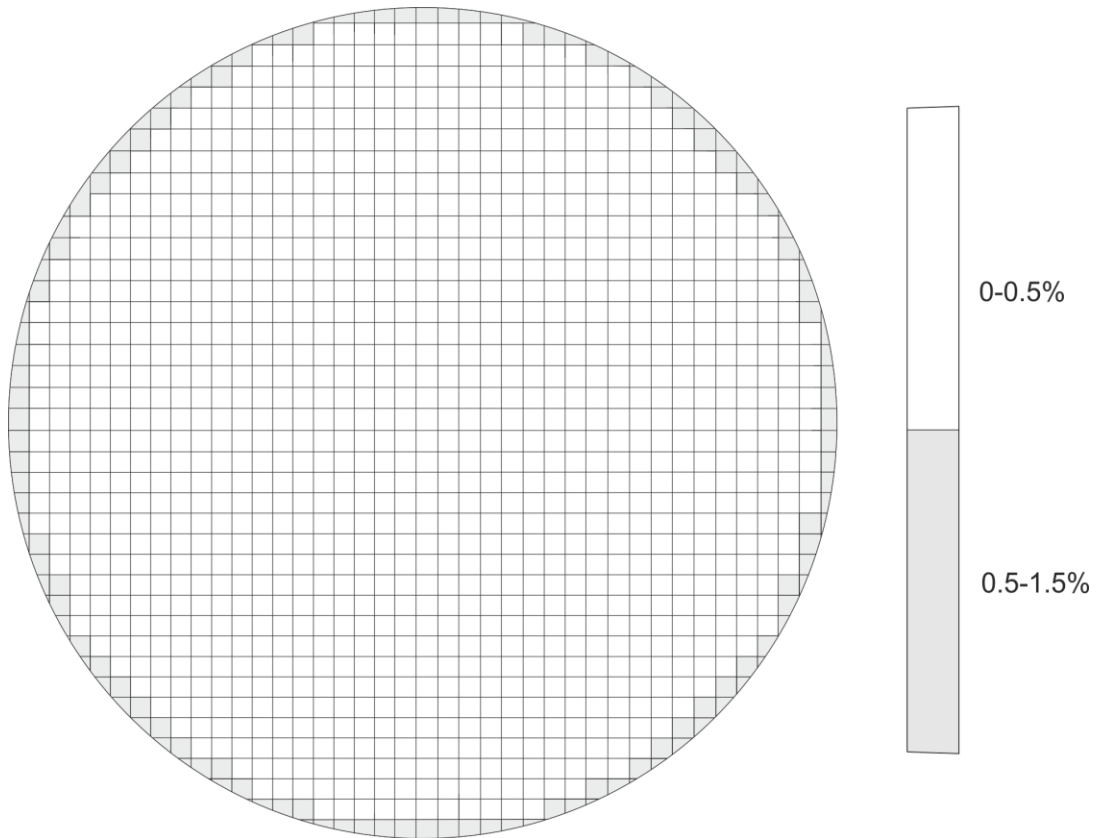


Рисунок 4.6 – Проекция ОП сферической формы на плоскость

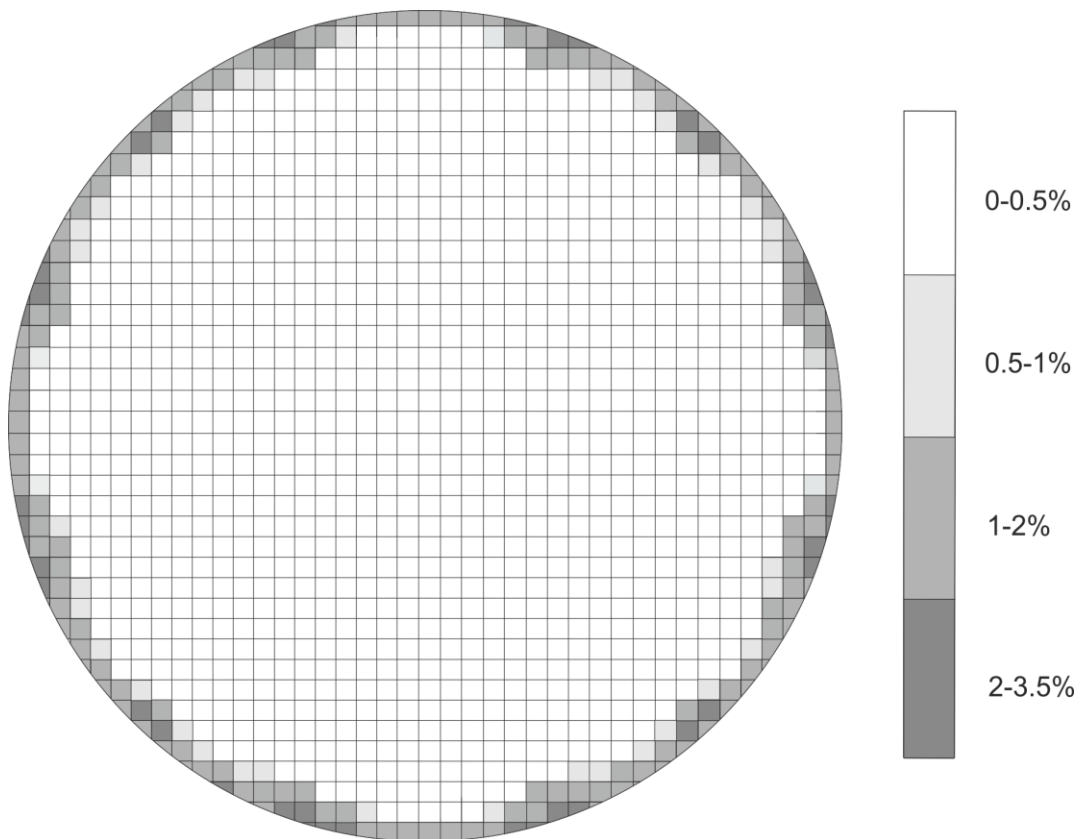


Рисунок 4.7 – Проекция ОП параболической формы на плоскость

ОП рефлектора параболической формы, как видно из рисунка 4.7, дает более высокие показатели отклонения сетематериала от заданной формы каркаса рефлектора и местами достигает до 3,5%. Для того что бы снизить данные показатели, необходимо уменьшить расстояние между точками крепления на участках показывающих наибольшее отклонение, либо изменить их местоположение. Необходимо отметить, что если каркас рефлектора будет иметь другую форму параболоида, то значения показателей отклонений будут также другими.

Данные значения характеризующие отклонение сетематериала от заданной формы являются допустимыми, тем самым подтверждая возможность изготовления ОП заданных пространственных форм из разработанного плоскостного трикотажного сетематериала без его членения на детали и правильность решения при выборе способа формирования ОП.

### Выводы по четвертой главе

1. На основе проведенного анализа способов формообразования крупногабаритных изделий сложноконструктивной формы из плоскостного трикотажного сетематериала, установлено, что для формирования ОП наиболее оптимален способ, согласно которому пространственная форма сетематериала достигается путем его крепления на каркас рефлектора без членения сетеполотна на отдельные детали.
2. Разработана методика расчета, позволяющая определить размеры заготовки и местоположения точек крепления для формирования ОП сферической формы с учетом рабочего натяжения сетематериала.
3. Разработана методика расчета для формирования заготовки ОП рефлектора параболической формы, позволяющая с достаточной точностью определить размеры заготовки и точки крепления сетематериала на ОП при ее изготовлении из трикотажного крупноячеистого плоскостного сетематериала.
4. Предложена методика оценки условных квадратов, формирующих геометрию ОП, которая позволяет определить зоны отклонения ОП от заданной формы в разных зонах рефлектора.
5. В результате проведенных расчетов установлено, что центральные участки сферической поверхности имеют меньшее отклонение – до 0,5%, максимальное отклонение длин сторон условных квадратов имеют удаленные участки от центра, значение отклонений составляет не более 1,5%. Расчеты заготовки ОП параболической формы показали, что для выбранной параболической формы, отклонение сторон условных квадратов на удаленных участках от центра имеют достаточно высокие, но допустимые значения, до 3,5%. Данные показатели позволяют утверждать о возможности использования плоскостных крупноячеистых материалов для проектирования ОП.

## **5 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕФЛЕКТОРА АНТЕННЫ ИЗ ПЛОСКОСТНОГО ТРИКОТАЖНОГО КРУПНОЯЧЕЕСТОГО СЕТЕПОЛОТНА**

Заключительный этап изготовления ОП для крупногабаритного трансформируемого рефлектора можно условно разделить на три основные задачи:

- во-первых, определение числа сетеполотен, необходимых для формирования заготовки ОП с учетом натяжения сетематериала на каркас рефлектора антенны, равного  $6 \text{ сН/см}$ ;

- во-вторых, определение числа петельных рядов и количества петельных столбиков для выработки каждого сетеполотна образующего ОП, что будет определяющим показателем материалоемкости и массы готовой ОП;

- в-третьих, разработка технологии соединения сетеполотен для формирования ОП с учетом структуры выработанных полотен трикотажа.

Так как, при изготовлении ОП для крупногабаритного рефлектора антенны, необходимо максимально сохранить целостность структуры трикотажа, то заготовка ОП будет формироваться из сетеполотен без их членения на детали. В данном случае при проектировании заготовки ОП из плоскостных высокорастяжимых трикотажных сетеполотен, необходимо учитывать величину удельного натяжения полотна равную  $6 \text{ сН/см}$ . Таким образом, заготовка будет иметь меньшие размеры по сравнению с размерами ОП в условиях эксплуатации.

### **5.1 Определение расхода сетематериала для формирования отражающей поверхности рефлектора антенны**

Одной из главных задач, решаемых в процессе проектирования ОП для крупногабаритных рефлекторов, является определение расхода сетематериала для изготовления заготовки ОП. Так как заготовка ОП формируется из целых полотен трикотажного сетематериала, то в первую очередь необходимо определить число

петельных рядов образующих длину сетеполотна и число таких полотен приходящихся на ширину заготовки ОП для их выработки на основовязальной машине.

Поскольку сетематериал, используемый для изготовления ОП, имеет сложную крупноячеистую структуру, то для определения расхода сетематериала, принимаем за единицу измерения элемент, образующий макроструктуру сетеполотна – ячейку. Расчеты необходимо выполнять, используя значение длины диагонали  $d_p$  ячейки при двухосном натяжении трикотажного сетеполотна под нагрузкой 6 сН/см. Размер диагонали  $d_p$  ячейки по выработанному полотну в растянутом состоянии равен 23 мм, для дальнейших расчетов будем считать этот параметр заданным.

При известных значениях длин дуг  $L_k$  покрываемой поверхности и размеров ячеек  $d_p$ , образующих сетематериал можно определить необходимое количество ячеек  $N_L$ , приходящихся на определенный отрезок длины с учетом деформации сетематериала при получении ячеек квадратной формы.

Число ячеек по длине полотна будет определяться как:

$$N_L = \frac{L_k}{d_p}, \quad (5.1)$$

где  $L_k$  - длина дуги покрываемой поверхности.

Если при вязании одной ячейки необходимо число петельных рядов для одной сторонки  $n$ , то число петельных рядов  $R_L$  для вязания каждой дуги  $L_k$  покрывающей поверхности будет равно:

$$R_L = 2 \frac{L_k}{d_p} n, \quad (5.2)$$

где  $n$  – число петельных рядов в одной сторонке ячейки.

Данные по расчету числа петельных рядов для выработки необходимой длины сетеполотен, предназначенных для изготовления ОП рефлектора сферической и параболической форм представлены в таблице 5.1.



Таблица 5.1 - Результаты расчета числа петельных рядов сетеполотна для покрытия поверхности рефлектора

Дуга	Сферическая форма покрытия			Параболическая форма покрытия		
	Длина дуги, мм $L_k$	Количество ячеек $N_L$	Число петельных рядов $R_L$	Длина дуги, мм $L_k$	Количество ячеек $N_L$	Число петельных рядов $R_L$
1	41644	1810	43440	41748	1815	43560
2	39394	1712	41088	41670	1811	43464
3	39396	1712	41088	41508	1804	43296
4	39402	1713	41112	41238	1792	43008
5	39408	1713	41112	40858	1776	42624
5	39416	1713	41112	40368	1755	42120
7	39424	1714	41136	39802	1730	41520
8	37208	1617	38808	38926	1692	40608
9	37220	1618	38832	38072	1655	39720
10	35026	1523	36552	36980	1607	38568
11	35040	1522	36528	35842	1558	37392
12	32870	1429	34296	34450	1497	35928
13	32882	1429	34296	32984	1434	34416
14	30732	1336	32064	31222	1357	32568
15	2864	1243	29832	29374	1277	30648
16	26486	1151	27624	27070	1176	28224
17	24386	1060	25440	24460	1063	25512
18	20224	879	21096	22610	983	23592
19	16116	700	16800	21390	930	22320
20	12050	523	12552	12572	546	13104

Ширина трикотажного сетеполотна, в отличие от длины, зависит от числа игл, имеющих на основовязальной машине и числа игл в заправке. Число игл в заправке  $I_3$  всегда меньше числа игл  $I$ , установленных на машине, то есть:

$$I_3 < I$$

При вязании сетеполотен на основовязальной машине типа «вертелка» «Кокетт-4» с числом игл  $I=2000$ , число игл в заправке  $I_3$  должно быть меньше 2000.

Для того чтобы определить требуемое количество полотен для формирования ОП, необходимо определить общее число игл в вязании всей ширины ОП.

В данном случае размер заготовки ОП по ширине  $Ш_L$  соответствует длине центральной дуги  $L_k$ . Следовательно, число ячеек по ширине заготовки  $N_{Ш}$ , будет также соответствовать числу ячеек по длине  $N_L$ , то есть:

$$N_{Ш} = N_L = \frac{Ш_L}{d_p}, \quad (5.3)$$

Для образования каждой ячейки требуется четыре иглы, следовательно число игл  $I_{Ш}$  для вязания необходимой ширины полотна будет равно:

$$I_{Ш} = N_{Ш} \times I_{я}, \quad (5.4)$$

где  $I_{я}$  - число игл для образования одной ячейки, равное четырем.

Так как вязальная машина имеет ограниченное число игл, то для выработки полной ширины заготовки ОП необходимо выработать количество  $K$  полотен сетематериала:

$$K = \frac{I_{Ш}}{I_3} \quad (5.5)$$

Число ячеек  $N_{Ш_1}$  по ширине полотна будет определяться как:

$$N_{Ш_1} = \frac{N_{Ш}}{K} \quad (5.6)$$

Число игл для выработки одного полотна с кромками по краям будет равно:

$$I_3 = N_{Ш_1} \times I_{я} + 2 \times I_K, \quad (5.7)$$

где  $I_K$  – число игл для образования кромки сетеполотна.

Ширина полотна будет определяться как:

$$Ш_k = I_3 \times d_p + 2Ш_K \quad (5.8)$$

Расчеты количества необходимых полотен для формирования заготовки ОП сферической и параболической форм и числа игл для выработки каждого сетеполотна представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Расчет параметров для выработки сетеполотен

Наименование параметра	Для заготовки ОП сферической формы	Для заготовки ОП параболической формы
Заданная ширина заготовки $Ш_L$ , мм	41644	41748
Длина диагонали ячейки $d_p$ , мм	23	23
Число ячеек в ширине заготовки $N_{Ш}$	1810	1815
Число игл для выработки одной ячейки $I_{я}$	4	4
Число игл для выработки необходимой ширины заготовки $I_{Ш}$	7240	7260
Число игл на о/в машине $I$	2000	2000
Число полотен для формирования ОП $K$	4	4
Число ячеек в каждом полотне вдоль петельных рядов $N_{Ш_1}$	453	454
Число игл для выработки кромки полотна $I_K$	6	6
Число игл для выработки полотна с учетом кромок по краям $I_3$	1824	1828
Ширина одного полотна $Ш_k$ , мм	10439	10462
Ширина заготовки ОП после соединения сетеполотен $Ш_{ОП}$ , мм	41756	41798

Как видно из таблицы 5.2 для формирования ОП для рефлектора, диаметр которого равен 40 м, как для сферической формы, так и для параболической необходимо выработать четыре сетеполотна.

## 5.2 Определение массы заготовки отражающей поверхности рефлектора

Важнейшим показателем, характеризующим ОП, является масса готового изделия.

Зная необходимое количество полотен для изготовления ОП, и определив массу одного полотна, можно рассчитать массу сетематериала с учетом отходов, требуемого для формирования ОП.

Так как, сторонки ячеек образованы петлями переплетения «цепочка», соединенных между собой в участках связок петлями переплетения «сукно», расположенных в определенной последовательности, то для определения массы одного полотна необходимо определить массу одного ряда содержащего в себе только петли «цепочка»  $M_{ц}$  и массу одного петельного ряда содержащего в себе только петли переплетения «сукно»  $M_c$ .

Таким образом, масса петельного ряда, образованного петлями переплетения «цепочка», с учетом кромок по краям полотна будет определяться как:

$$M_{ц} = \pi r^2 \gamma (l_{ц} I_{я} N_{ш_1} + 2l_c I_K), \quad (5.9)$$

где  $r$  – радиус нити;

$\gamma$  – удельный вес молибдена;

$l_{ц}$  – длина нити в петле переплетения «цепочка»;

$I_{я}$  – число игл, вырабатывающих одну ячейку;

$N_{ш_1}$  – число ячеек по ширине одного полотна;

$l_c$  – длина нити в петле переплетения «сукно»;

$I_K$  – число игл, вырабатывающих одну кромку.

Масса петельного ряда, содержащего только петли переплетения «сукно», будет равна:

$$M_c = \pi r^2 \gamma (l_c I_{я} N_{ш_1} + 2l_c I_K) \quad (5.10)$$

Так как, при вязании одной ячейки необходимо выработать двадцать

петельных рядов переплетением «цепочка» и четыре ряда переплетением «сукно», тогда масса одного ряда ячеек полотна будет определяться как:

$$M_{\text{я}} = 20M_{\text{ц}} + 4M_{\text{с}} \quad (5.11)$$

Подставив формулы (5.9) и (5.10) в (5.11), получим:

$$M_{\text{я}} = 4\pi r^2 \gamma [I_{\text{я}} N_{\text{ш}_1} (5l_{\text{ц}} + l_{\text{с}}) + 12l_{\text{с}} I_{\text{к}}] \quad (5.12)$$

При известных значениях количества ячеек  $N_L$  образующих длину полотна и массы одного ряда ячеек с учетом кромок  $M_{\text{я}}$ , можно определить массу одного полотна  $M_{\text{п}}$ :

$$M_{\text{п}} = 4N_L \times \pi r^2 \gamma [I_{\text{я}} N_{\text{ш}_1} (5l_{\text{ц}} + l_{\text{с}}) + 12l_{\text{с}} I_{\text{к}}] \quad (5.13)$$

Подставив в формулу (5.13) значения параметров, получим массу одного полотна, выработанного для ОП рефлектора сферической формы:

$$M_{\text{п}} = \frac{4 \times 1810 \times 3,14 \times 0,01^2 \times 10,2 [453 \times 4(5 \times 4,11 + 5,83) + 12 \times 5,83 \times 6]}{1000 \times 1000} = 1,118 \text{ кг}$$

Масса одного сетеполотна выработанного для формирования заготовки ОП рефлектора параболической формы:

$$M_{\text{п}} = \frac{4 \times 1815 \times 3,14 \times 0,01^2 \times 10,2 [454 \times 4(5 \times 4,11 + 5,83) + 12 \times 5,83 \times 6]}{1000 \times 1000} = 1,123 \text{ кг}$$

Так как заготовку ОП формируют четыре выработанных полотна, то масса заготовки ОП с учетом отходов будет равна:

$$M_{\text{оп}} = 4M_{\text{п}} \quad (5.14)$$

Из формулы (5.14) масса заготовки ОП с учетом отходов для сферической формы равна:

$$M_{\text{оп}} = 4 \times 1,118 = 4,472 \text{ кг};$$

для параболической:

$$M_{\text{оп}} = 4 \times 1,123 = 4,492 \text{ кг}$$

Определить массу сетематериала для изготовления ОП возможно и другим способом. При известном значении поверхностной плотности сетематериала  $\rho$ , масса заготовки ОП без учета кромок по краям сетеполотен будет равна:

$$M_3 = \rho \times \text{Ш}_3 \times D_3, \quad (5.15)$$

где  $\text{Ш}_3$  – значение размера заготовки ОП по ширине;

$D_3$  – значение размера заготовки ОП по длине.

Размер заготовки ОП по ширине определяется как:

$$Ш_3 = N_{III} \times d_p$$

Таким образом, исходя из данных таблицы 5.2, масса заготовки без учета кромок полотна для ОП рефлектора сферической формы будет равна:

$$M_3 = 2,55 \times 41,63 \times 41,63 = 4,41 \text{ кг};$$

для ОП рефлектора параболической формы:

$$M_3 = 2,55 \times 41,74 \times 41,74 = 4,44 \text{ кг}$$

В свою очередь, масса ОП будет определяться как:

$$M = \pi r^2 \rho \quad (5.16)$$

Подставив известные значения в формулу (5.16), получим для ОП рефлектора сферической формы:

$$M = 3.14 \times 20,82^2 \times 2,55 = 3,47 \text{ кг};$$

для ОП рефлектора параболической формы:

$$M = 3.14 \times 20,87^2 \times 2,55 = 3,48 \text{ кг}$$

Как видим, значение массы заготовок ОП, рассчитанных с учетом кромок сетеполотна, выполненных переплетением «сукно-сукно» и без учета кромок, используя значение поверхностной плотности сетематериала практически одинаковы. Следовательно, для определения массы заготовки ОП с учетом отходов можно использовать как формулу (5.14), так и формулу (5.15). Масса ОП в готовом виде, то есть без отходов, рассчитанные по формуле (5.16) показали значения 3,47 кг для сферической поверхности покрытия и 3,48 для параболической.

### **5.3 Определение оптимальных параметров технологии соединения крупноячеястых сетеполотен для изготовления отражающей поверхности**

Заключительным этапом изготовления ОП для крупногабаритного трансформируемого рефлектора, является сборка заготовки ОП, то есть соединение выработанных трикотажных сетеполотен. Так как, трикотажные

полотна выработаны из металлических нитей малого диаметра (0,02 мм) и имеют сложную крупноячеистую структуру, процесс их соединения значительно усложняется и требует разработки особенной технологии соединения.

При разработке технологии соединения сетеполотен, необходимо решить следующие задачи:

- изучить существующие способы соединения деталей текстильных изделий;
- определить оптимальный способ соединения трикотажных крупноячеистых сетеполотен ограниченной ширины, для получения ОП заданных размеров;
- определить вид соединительного шва, который обеспечит минимальное изменение структуры полотна в местах соединений;
- разработать технологический режим изготовления ОП для крупногабаритного рефлектора [6].

Известно, что сборочные операции могут быть выполнены различными способами соединения: ниточный, клеевой, сварной, заклепочный и комбинированный. Выбор способа соединения деталей зависит от структуры и типа соединяемых материалов, назначения и требований к выполнению соединительного шва.

В таблице 5.3 представлены различные способы соединения, отмечены достоинства и недостатки каждого из них.

Низкая прочность и получаемая жесткость не позволяет применять клеевой способ для соединения деталей ОП.

Сварной способ при использовании соединения эластичных материалов обеспечивает соединительный шов с минимальной надежностью в условиях эксплуатации ОП из металлического сетематериала, а также для реализации данного способа потребуются дорогостоящие установки и высокие температурные режимы. Заклепочный способ также неприменим, так как приведет к увеличению материалоемкости, а наличие фурнитуры окажет негативное влияние на светопропускную и радиоотражающую способности ОП.

Таблица 5.3 - Способы соединения деталей [25]

Способ соединения	Скрепляющие факторы	Достоинства метода	Недостатки метода
Ниточный	стежки и строчки, образованные одной или несколькими нитями	универсальность, разнообразие методов соединения, прочность	материалоемкость (нити, припуски), отсутствие герметичности
Клеевой	взаимодействие клеящего вещества (порошка, нитки, пленки) со склеиваемым материалом посредством химического или термического воздействия	придание формоустойчивости, незаметно с лицевой стороны	малая прочность на расслаивание, высокие температуры обработки, жесткость соединительного шва
Сварной	доведение соединяемых поверхностей в зоне контакта до вязкотекучего состояния, сдавливание с последующей фиксацией и затвердеванием расплава	минимальная материалоемкость, высокая прочность и герметичность соединения	высокая стоимость и повышенная опасность установок, возможность сваривать материалы только из синтетических волокон, ограниченная область применения
Заклепочный	с помощью специальной фурнитуры, посредством механического или термического воздействия	прочность и декоративность соединения, возможность соединять разнородные материалы	повышенная материалоемкость за счет фурнитуры, ограниченная область использования
Комбинированный	сочетание нескольких разных способов	достижение прочных и герметичных соединений и дополнительных декоративных свойств	дополнительный расход материалов, временные затраты



Исходя из заданных технологических требований, назначения выработанных сетеполотен и вида используемого материала, соединение может быть выполнено только ниточным способом.

Ниточные соединения имеют достаточную прочность, эластичность и эстетичный внешний вид. Процесс соединения ниточным способом сравнительно прост и максимально обеспечен технологическим оборудованием. Этот способ соединения наиболее универсален и позволяет соединять все виды материалов, используемых как в легкой, так и в других отраслях промышленности. Современное оборудование для реализации ниточного способа позволяет соединять материалы в широком диапазоне по толщине (от 0,1 до 10 мм и более), использовать длину стежка (скрепляющего элемента) от 1 до 10 мм. Элементами ниточных соединений является стежок, строчка и шов, ГОСТ 12807-2003 [24].

По способу выполнения ниточные стежки подразделяются на ручные и машинные, которые за счет модификаций переплетений нити отличаются сравнительно большим разнообразием, благодаря чему позволяет их использование при соединении крупноячеистых трикотажных сетеполотен, выработанных из металлических нитей малого диаметра, предназначенных для изготовления ОП рефлектора.

При выборе вида ниточной строчки соединительного шва для сборки полотен из металлотрикотажного сетеполотна, необходимо учитывать следующие требования:

- шов должен иметь такую же растяжимость, как и основное полотно;
- прочность шва должна быть не ниже прочности самого сетематериала;
- увеличение материалоемкости ОП за счет применения соединительных швов должно быть минимальным;
- строчка должна максимально сохранить петельную структуру трикотажа в месте соединения;
- соединительный шов должен способствовать полному раскрытию ячеек, входящих в структуру основного сетеполотна [71].

Ниточный способ соединения может быть выполнен как ручным, так и

машинным способом. От качества выполнения ручных или машинных стежков и строчек зависит качество соединительного шва, его эластичность, материалоемкость и др.

#### **5.4 Ручной способ соединения трикотажных крупноячеистых сетеполотен для изготовления отражающей поверхности**

Ручные стежки применяются только в тех случаях, когда выполнение операции машинным способом не представляется возможным. Если металлотрикотажные крупноячеистые сетеполотна, выработанные для изготовления ОП рефлектора, не имеют кромок по краям полотна, или ширина кромки недостаточна для соединения машинным способом, то в таком случае для сборки полотен возможен только ручной способ соединения.

Для ручного способа соединения разработано трикотажное сетеполотно, по краям которого расположены кромки, образованные двумя петельными столбиками переплетения «цепочка», соединенными связками переплетения «сукно» с основным полотном. Такая петельная структура предотвратит сброс краевых петель основного полотна и создаст кромку минимально возможного размера по ширине.

В настоящее время насчитывается огромное количество различных видов ручных стежков с разнообразными свойствами и переплетением нитей, имеющих различное назначение. В зависимости от расположения нитей на поверхности и внутри материала, в соответствии с ГОСТ 12807-2003, существует классификация ручных стежков, в основу которой положен характер переплетения нитей и расположение стежков на материале (прямые, косые, крестообразные, петлеобразные, петельные), а строчки, выполняемые с применением указанных стежков, названы по своему назначению: стачные, разметочные, подшивочные и др.

Так как выработанные трикотажные полотна имеют крупноячеистую сетчатую структуру и будут использованы для изготовления заготовки ОП, к

которой предъявляются специфические физико-механические требования, то соединение таких полотен может быть выполнено с помощью комбинации основных видов ручных стежков, что позволит удовлетворить заявленные требования, предъявляемые к соединительным швам при изготовлении ОП.

Соединение сетеполотен, имеющих структуру с увеличенными размерами ячеек и кромками, образованными двумя петельными столбиками «цепочка» по краям полотна, возможно различными способами с применением ручных стежков, основными из которых являются: шворочный шов и его разновидности, съячеивание сетеполотен и соединение сетеполотен методом «встык».

Шворочные швы осуществляются при прокладывании соединительной нити в ячейки, прихваченных с каждой стороны кромки сетеполотен (рисунок 5.1а). Число захватываемых ячеек в каждом стежке должно быть одинаковым. Для того чтобы шов не распадался при рабочем натяжении сетеполотна, стежки необходимо выполнять на каждом участке связок ячеек, а через 10-20 см производить закрепление соединительной нити с образованием выбленочного узла (рисунок 5.1б).

Нить для шворочного шва должна быть в 2-3 раза прочнее нити сетчатого полотна, так если металлическая нить имеет диаметр 0,02 мм, то соединительная нить должна иметь диаметр 0,04 ÷ 0,05 мм.

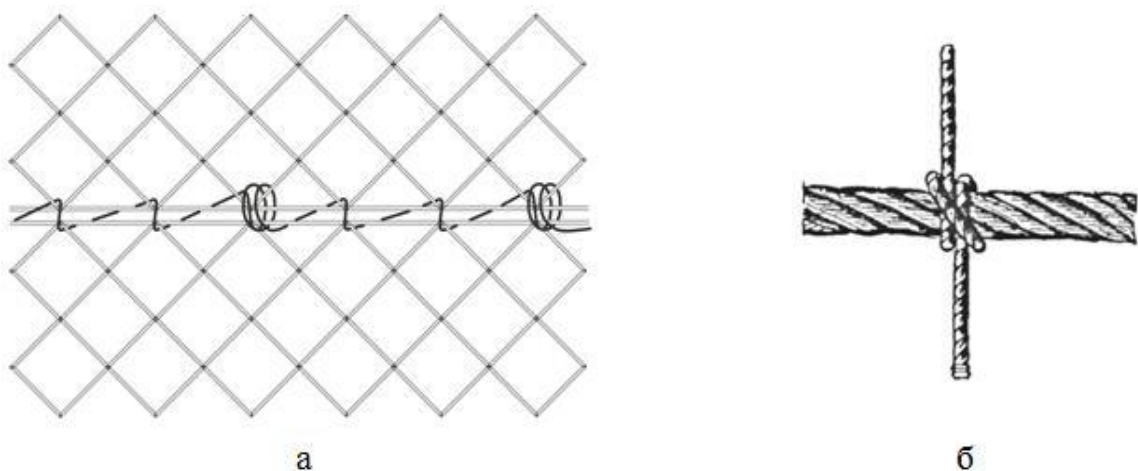


Рисунок 5.1 – Шворочный шов:  
а – ход нити в шворочном шве;  
б – выбленочный узел

Для более надежного соединения используют частый шворочный шов, где кромки сетеполотен соединяются выбленочными узлами, проложенными на каждом участке связок ячей (рисунок 5.2).

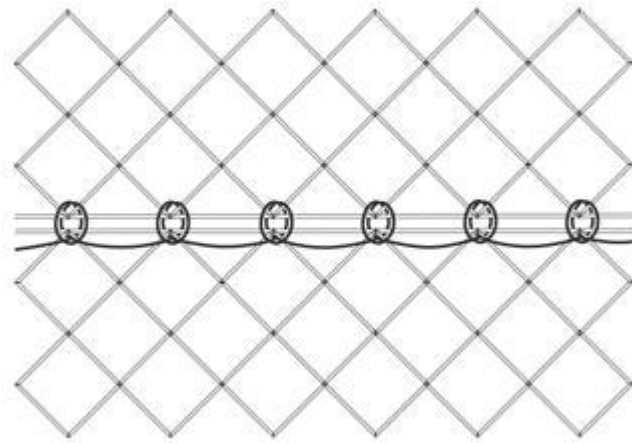


Рисунок 5.2 - Частый шворочный шов

Шворочные швы хорошо противостоят продольным нагрузкам. Такими швами просто и быстро можно соединять полотна любой длины с разным шагом ячеей. Недостатками являются слабая устойчивость к поперечным нагрузкам, швы очень заметны, что может повлиять на однородность структуры заготовки ОП и изменению светопропускной способности сетеполотна.

Разновидностью шворки является соединение кромок распускным швом. Существуют два вида распускных швов: простой, изображенный на рисунке 5.3 и петлевой, на рисунке 5.4.

При простом распускном шве (рисунок 5.3) соединительная нить пропускается без завязки узлов через кромочные ячейки соединяемых сетеполотен.

При петлевом шве (рисунок 5.4) соединяемые кромки располагают параллельно. Нить изгибают петлей, которую протаскивают в ячейю и вытягивают до следующего ряда ячеек. Конец соединительной нити, находящийся у второй кромки, складывают петлей, протягивают через следующие ячейки обеих кромок, продевают через первую петлю и вытягивают до следующего ряда ячеек.

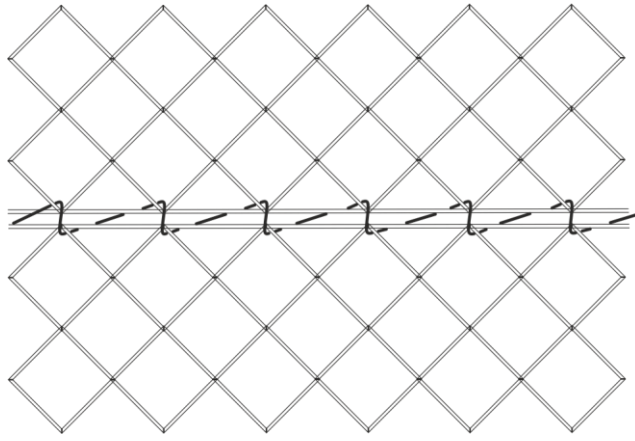


Рисунок 5.3 – Простой распускной шов

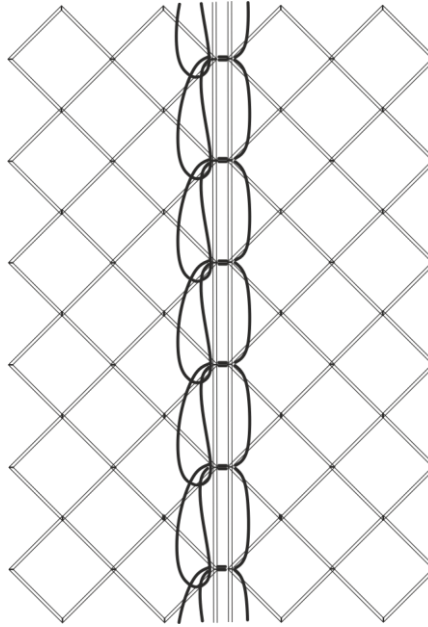


Рисунок 5.4 – Петлевой шов

При простом распускном шве (рисунок 5.3) соединительная нить пропускается без завязки узлов через кромочные ячейки соединяемых сетеполотен.

На конце нити опять образуют петлю, которую протягивают через третью пару ячеек и вторую петлю, далее вытягивают до четвертой пары ячеек. Таким образом, кромки стягиваются шворочной нитью, образующей систему петель, последовательно входящих одна в другую.

Данные швы применяются для быстрого соединения и отсоединения

полотен или их частей. Оба эти шва имеют общий и весьма существенный недостаток - при обрыве соединительной нити весь шов распускается. Частично этот минус можно компенсировать применением более прочной соединительной нитью.

Более совершенный метод соединения - это съячеивание, представленный на рисунке 5.5, то есть навязывание дополнительного ряда полуячей между сшиваемыми кромками. Данный способ позволяет соединять сетеполотна как с одинаковыми, так и с разными размерами ячеек.

Съячеивание может быть выполнено по простому циклу, то есть ячейка в ячейку (рисунок 5.5 а) и по сложному, когда на одну ячейку верхней кромки приходится две и более, ячеек нижней кромки (рисунок 5.5 б).

Съячеивание - очень надежный способ соединения сетеполотен, хорошо выдерживающий нагрузки любых направлений. Однако его выполнение трудоемко и требует высокой квалификации. Ввиду большой трудоемкости, полотна с ячейками размер сторон которых менее 20 мм съячеиванию не подлежат.

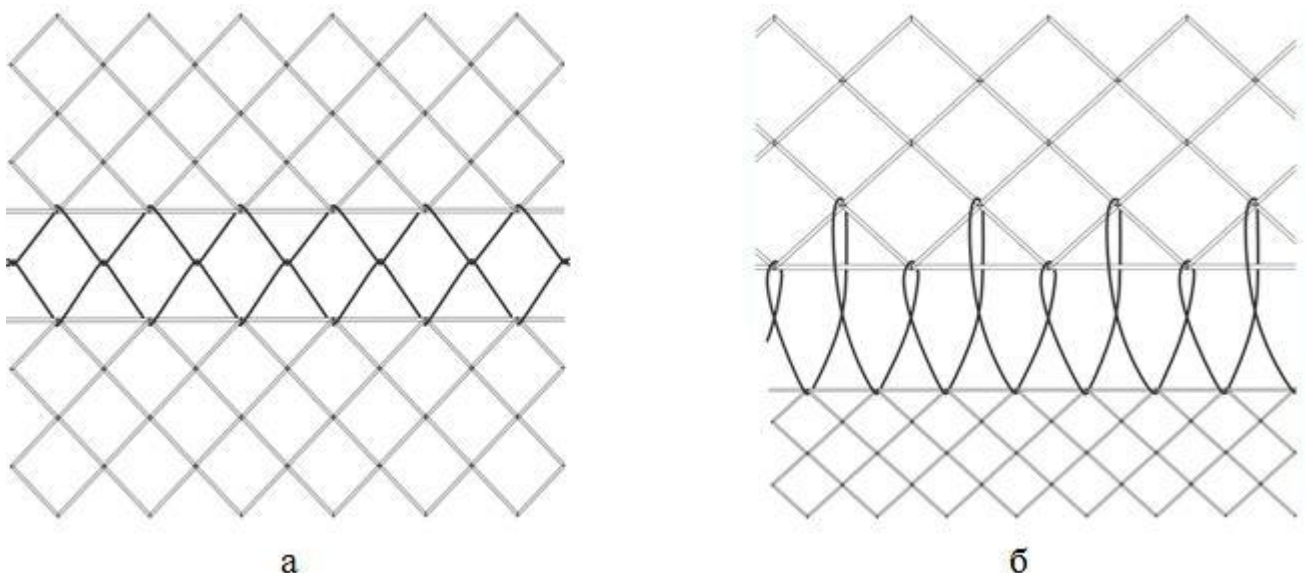


Рисунок 5.5 – Съячеивание сетеполотен:

а – съячеивание полотен с одинаковыми размерами ячеек;

б – съячеивание полотен с разным шагом ячеек

В том случае, если кромки сетеполотен имеют одинаковую длину, а ячейки, входящие в структуру этих сетеполотен, имеют одинаковые размеры, то применяют более быстрый способ соединения – «встык». Данный способ представлен на рисунке 5.6 а, сетеполотна стыкуются участками связок ячеек друг к другу и на каждом участке выполняется соединительный узел. Обычно при соединении сетеполотен встык используют простой петлевой узел (рисунок 5.6 б). Такой метод соединения отличается высокой производительностью, поскольку требует вдвое меньшего числа узлов, чем при съичеивании, однако при использовании данного способа для соединения сетеполотен с размерами сторонok ячеек менее 20 мм, выработанных из тонких металлических нитей, процесс соединения становится достаточно трудоемким.

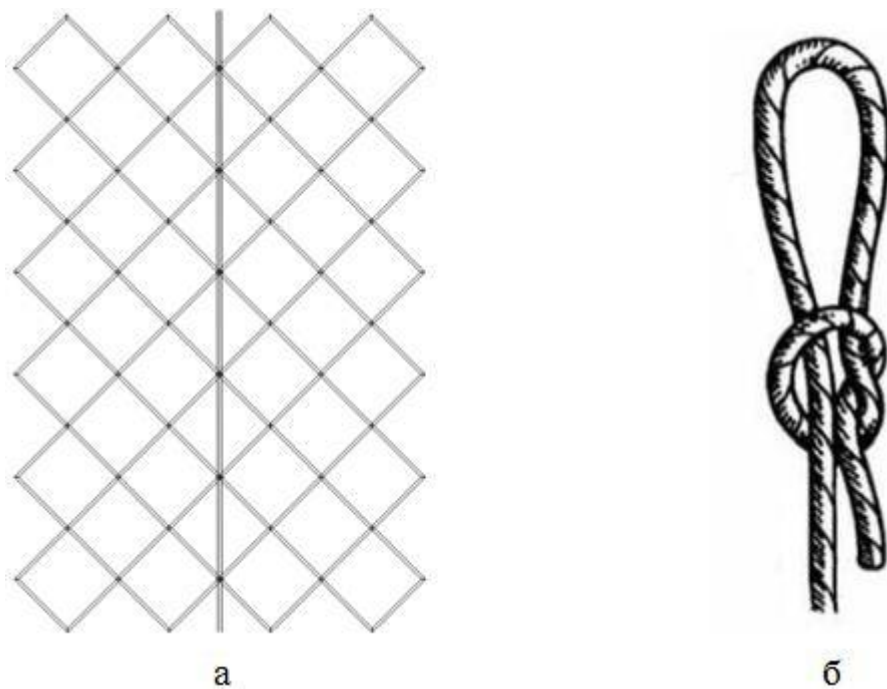


Рисунок 5.6 – Сращивание сетеполотен встык:

а – сращивание сетеполотен с одинаковыми размерами ячеек;

б – простой петлевой узел

Проведенный анализ соединения сетеполотен ручным способом показал, что наиболее эффективным и надежным является способ соединения сетеполотен встык, представленный на рисунке 5.6, но, необходимо отметить, что растяжимость такого соединительного шва меньше растяжимости основного

полотна, что является существенным недостатком.

Следует отметить, что все вышерассмотренные способы соединения рекомендованы для сетеполотен с размерами ячеек более 20 мм.

Таким образом, применение ручного способа соединения трикотажных сетеполотен целесообразно только в том случае, если выработанное полотно не имеет по краям кромок достаточной для соединения машинным способом ширины и использование машинного способа невозможно.

### **5.5 Машинный способ соединения сетеполотен крупноячеистой структуры для изготовления отражающей поверхности**

Машинный способ соединения деталей является более производительными, а стежки и строчки более прочными, чем ручные. В соответствии с международной классификацией многообразие машинных стежков и строчек классифицируют по следующим признакам:

- вид переплетения: челночный и цепной;
- внешний вид с лицевой стороны: видимые (сквозные) и потайные (несквозные);
- направление расположения стежков в строчке: продольное, поперечное (зигзагообразная строчка), огибающее края (обметочная строчка);
- количество нитей в строчке: одно-, двух-, трехлинейная и многолинейная строчка;
- назначение строчки: стачивающая, подшивочная, петельная и другие.

Для прочного и эластичного соединения высокорастяжимых материалов – типа трикотажного полотна, чаще всего применяют машинные строчки цепного стежка. Учитывая особенности структуры сетеполотна и предъявляемые требования к соединительным швам для изготовления ОП, соединение сетеполотен предложено выполнять с использованием трехниточной двухлинейной (рисунок 5.7 а) или четырехниточной трехлинейной (рисунок 5.7 б) строчками.



Такие виды строчек применяют для соединения основных швов, подвергающихся в процессе эксплуатации большим нагрузкам и значительному растяжению.

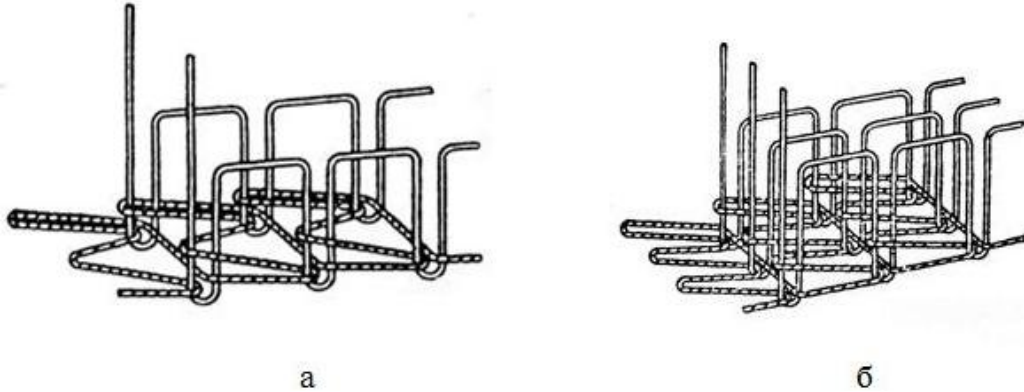


Рисунок 5.7 – Многониточные цепные стежки:  
а – трехниточный двухлинейный;  
б – четырехниточный трехлинейный

Для сборки заготовки ОП машинным способом были выработаны сетеполотна крупнаячейстой структуры со стороной ячейки равной 16,3 мм и диагональю 23 мм из молибденовой нити диаметром 0,02 мм, по краям которых расположены кромки, равные шести петельным столбикам с каждой стороны полотна, выработанных переплетением сукно-сукно со сложной проборкой.

Так как структура кромок по своему строению отличается от основного сетеполотна, то при соединении полотен возникла необходимость в принудительной деформации кромки до размера равного длине основного полотна с учетом его растяжения до полного раскрытия ячеек. На первом этапе было необходимо определить величину деформации кромки до размера основного полотна.

### **5.5.1 Определение величины необходимой продольной деформации кромок разработанного крупнаячейстого сетеполотна**

При вязании на основовязальной машине трикотажных сетеполотен, разработанного переплетения с крупнаячейстой структурой, одновременно с

кромкой, имеющей мелкоряпортную структуру, представляет интерес определить длину кромки и основного сетеполотна и оценить возможность соединения прямолинейных деталей по кромкам.

При вязании сетеполотен с увеличенными ячейками, для закрытия свободных краевых петель были выработаны кромки с образованием на шести иглах комбинированным переплетением на базе «сукно» для машинного способа соединения.

При этом число петельных рядов в кромке  $n_k$  на участке, соответствующем диагонали ячейки, равно сумме петельных рядов  $\Sigma n_c$  в двух сторонках и связке.

Для образования ячеек квадратной формы основное сетеполотно должно растянуться в ширину и при этом уменьшиться в длину, при этом длина кромки остается неизменной. Очевидно, что при соединении сетеполотен по кромкам потребуется ее усадка. Определим необходимую усадку кромки, образованной переплетением «сукно».

Известно, что соединение ячеек полотна с кромкой выполняется за счет петель связок в точках  $A$  и  $C$  (рисунок 5.8), при этом в каждой сторонке ячейки полотна провязывается десять петельных рядов «цепочки» и два ряда связки переплетением «сукно». Таким образом, сумма петельных рядов в двух сторонках ячейки  $\Sigma n_c$  будет равна 24, то есть:  $\Sigma n_c = 24$  рядам.

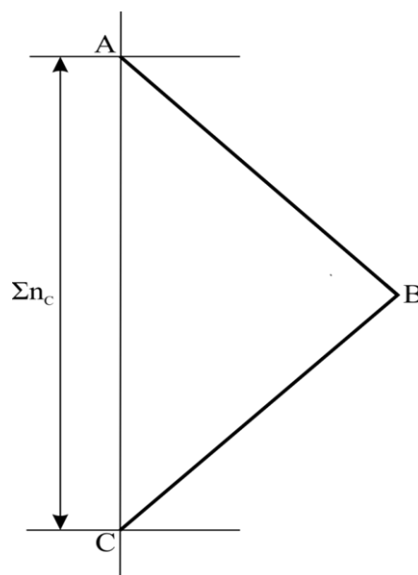


Рисунок 5.8 – Участок соединения кромки с ячейкой основного полотна

При вязании сторонки ячейки  $AB$  и  $BC$  на участках кромки  $AC$  будет выработано  $n_k$  петельных рядов, равное числу петельных рядов в двух сторонках ячейки с учетом связки между ними, то есть:  $n_k = \Sigma n_c = 24$  рядам.

Исходя из размеров высоты петли переплетения «цепочка»  $B_u$  и высоты петли переплетения «сукно»  $B_c$ , сравним длину кромки  $AC_{(к)}$ , выработанную переплетением «сукно» и длину диагонали  $AC_{(д)}$ . Известно, что каждая сторонка  $AB$  и  $BC$  ячейки образована десятью рядами переплетения «цепочка» и двумя рядами «сукна». При растяжении полотна, диагональ ячейки будет иметь длину  $AC_{(д)}$  равную 23 мм. Длина же кромки полотна  $AC_{(к)}$  будет равна:

$$AC_{(к)} = n_k \times B_c, \quad (5.17)$$

где  $B_c$  - высота петли переплетения «сукно»;

$n_k$  - число петельных рядов в кромке.

При известных значениях высоты петли переплетения «сукно»  $B_c = 1,75$  мм и количестве петель в кромке полотна на участке  $AC$ , равном  $n_k = 24$  петли, длина кромки будет равна:

$$AC_{(к)} = 24 \times 1,75 = 42 \text{ мм}$$

Как видим, длина кромки  $AC_{(к)}$  равная 42 мм значительно больше длины диагонали  $AC_{(д)}$  ячейки равной 23 мм, что может вызвать искажение формы каждой ячейки примыкающей к кромке и удлинить полотно в местах соединений. Чтобы исключить данные недостатки, необходимо выполнить усадку кромки.

Зная разницу длин кромки  $AC_{(к)}$  на участке одной диагонали и длину самой диагонали ячейки  $AC_{(д)}$ , определим необходимый процент усадки кромки  $y_k$ , выработанной переплетением «сукно-сукно»:

$$y_k = \frac{AC_{(к)} - AC_{(д)}}{AC_{(к)}} 100\% \quad (5.18)$$

Подставив известные значения  $AC_{(к)}$  и  $AC_{(д)}$  в уравнение (5.18), получим значение необходимой усадки кромки  $y_k$ :

$$y_k = \frac{42 - 23}{42} 100\% = 45\%$$

Таким образом, при соединении деталей по кромкам крупноячеистого полотна, для изготовления ОП, требуется принудительная усадка кромок равная 45%. Такой показатель необходимой усадки кромки является весьма значительным, соответственно данная усадка кромки должна быть выполнена до заключительной операции соединения сетеполотен.

Для выполнения поставленной задачи требуется разработка принципиально нового технологического процесса соединения крупноячеистых сетеполотен, структура кромок которых отличается от структуры основного полотна.

### **5.6 Разработка технологии соединения крупноячеистых сетеполотен для изготовления отражающей поверхности**

Структура сетеполотен, разработанных для изготовления ОП, является сложной по своему строению. Сложность эта обусловлена и тем, что структуры кромок и основного сетеполотна различны по своему строению. Результаты расчетов, приведенных выше, показали значительную длину принудительной усадки кромки для получения равномерной структуры по всей поверхности сетематериала при заданном двухосном натяжении ОП [89]. Чтобы обеспечить выполнение требований, предъявляемым к соединительным швам, используемых при изготовлении ОП, до заключительной операции соединения полотен необходимо выполнить усадку кромки равную 45%.

Учитывая особенности структуры строения сетематериала, для выполнения необходимой усадки кромки предложено два способа:

- при помощи уточных нитей, заранее проложенных при вязании кромки;
- при помощи двухлинейной четырехниточной строчки челночного стежка.

В первом случае необходимая усадка и ее фиксация может быть достигнута при помощи вытягивания предварительно проложенных уточных нитей в структуру кромок сетеполотна. Различные виды структур кромок трикотажного сетеполотна с дополнительными уточными нитями представлены на рисунке 5.9.

В данном случае необходимая усадка кромки обеспечивается за счет

стягивания уточных нитей до необходимой длины кромки.

Усадка кромки по данному способу выполняется на каждом полотне по отдельности, путем стягивания уточных нитей до необходимой величины.

После усадки кромок сетеполотна накладываются друг на друга таким образом, что на лицевую сторону одного полотна накладывается другое полотно изнаночной стороной, при этом необходимо максимально совместить края комки между собой. Полотна в таком виде фиксируются лапкой машины и далее следует заключительная операция стачивания.

Такой способ фиксации усадки кромки больше рекомендован для сетеполотен с меньшим размером ячеек и необходимой предварительной усадкой кромки не более чем на 20%. Так как, при предварительной усадке отдельных полотен возникает сложность при совмещении краев кромок между собой и при большой усадке нет возможности контролировать исключение зацепов на нижнем полотне при заключительной операции соединения. Эту проблему возможно решить только при добавлении дополнительной операции, которая будет фиксировать усадку, равномерное распределение ячеек и точное соединение краев кромок между собой.

Необходимо отметить, что способ соединения сетеполотен с уточными нитями провязанных в кромках, требует дополнительную, по крайней мере, одну гребенку на основовязальной машине, а стягивание уточных нитей на каждом выработанном полотне увеличит время процесса сборки ОП.

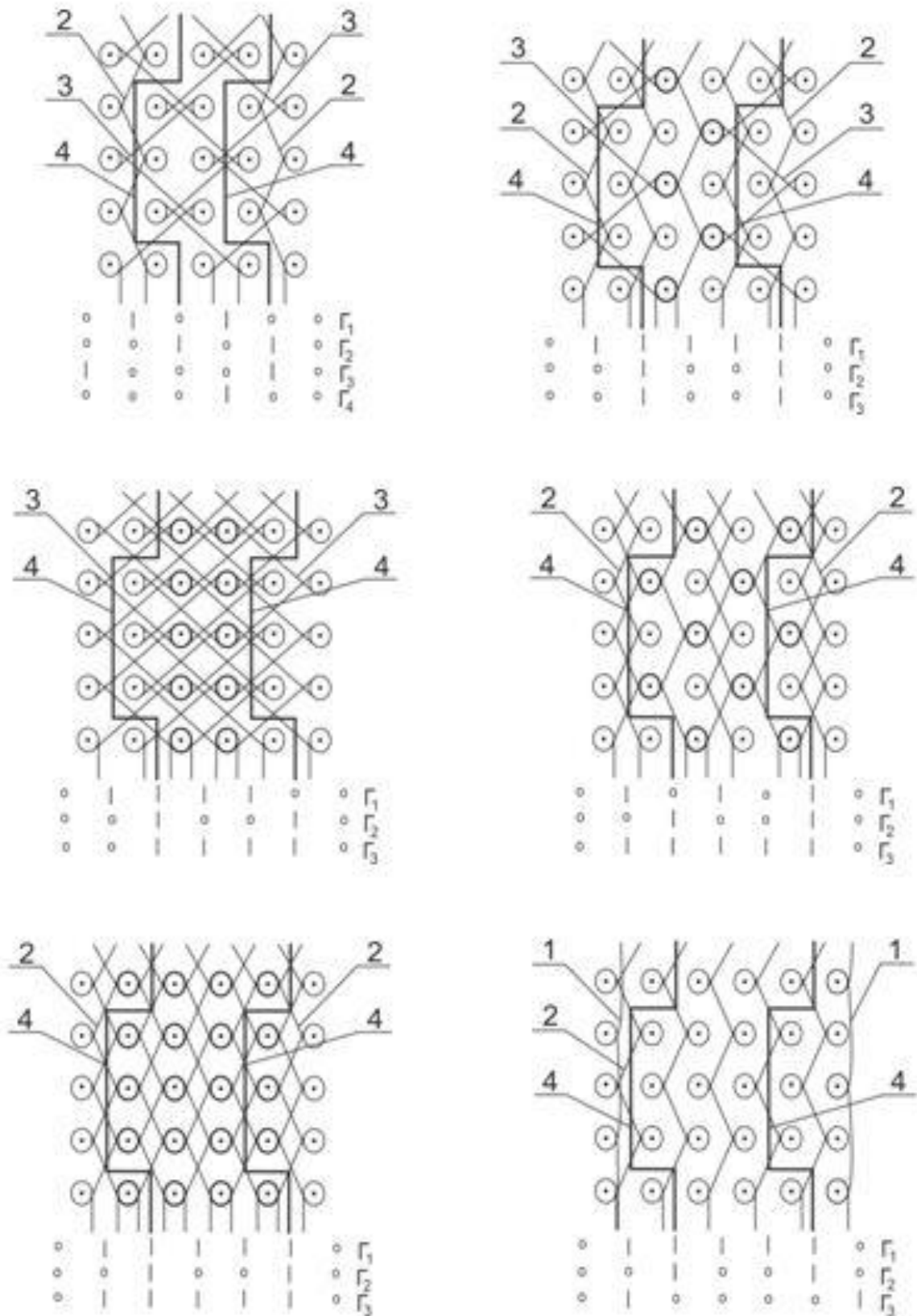


Рисунок 5.9 – Графическая запись кромок сетеполотна с уточными нитями:  
1 – «цепочка»; 2 – «трико»; 3 – «сукно»; 4 – «уточная нить»

По второму способу необходимая усадка кромки и ее фиксация может быть достигнута при помощи прокладывания двухлинейной машинной строчки челночного стежка, графическая схема которой изображена на рисунке 5.10.

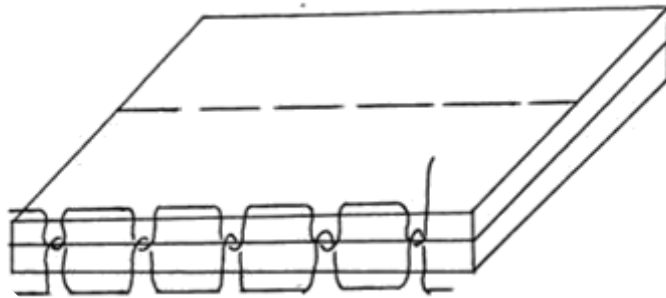


Рисунок 5.10 – Двухлинейная четырехниточная строчка челночного стежка

Такая строчка может быть выполнена на двухигольной машине, прокладывающей одновременно две параллельные прямые строчки. Ширина стежка и натяжение нитей при необходимости может регулироваться. Расстояние между иглами на такой машине составляет 6 мм, что меньше выработанной ширины кромки равной 8 мм, что позволяет проложить строчку только в месте расположения кромки, не заходя на основное полотно.

Для выполнения данной операции была использована двухигольная машина челночного стежка «Juki LH-3188GF BB», с установленными иглами № 60 с округлыми концами для исключения прорубки трикотажа.

Операция прокладывания двух параллельных строчек выполняет несколько функций:

- проложенные строчки предварительно соединяют сетеполотна между собой;
- возможность совмещения раппорта ячеек каждого сетеполотна в месте соединения;
- при стягивании двух нитей, расположенных с изнанки полотна, достигается необходимая усадка кромки для подготовки к последующей заключительной фиксации.

При выполнении данной операции сетеполотна накладываются друг на друга таким образом, что на лицевую сторону одного полотна накладывается другое полотно изнаночной стороной, при этом совмещая края кромок. Полотна фиксируются лапкой машины и далее выполняется двухлинейная четырехниточная строчка 1. При стачивании необходимо контролировать совмещение раппорта ячеек.

После того как полотна соединены между собой, необходимо обеспечить усадку. Две нити, расположенные с изнаночной стороны сетеполотен, подающиеся челноком, с одного края перед вытягиванием необходимо закрепить в узел между собой, для того чтобы предотвратить роспуск шва. Вытягивание нитей будет выполняться с противоположного края, длину, на которую необходимо вытянуть нить необходимо периодически контролировать линейкой. При вытягивании нитей происходит деформация структуры кромки, то есть петли «сукна», образующие кромки под давлением стягивающей нити уменьшаются в длину, при этом увеличиваясь по ширине (рисунок 5.11). Тем самым кромка, принимает меньшие значения по длине, увеличиваясь в ширину, что позволит в дальнейшем избежать зашипов и складок в местах соединения.

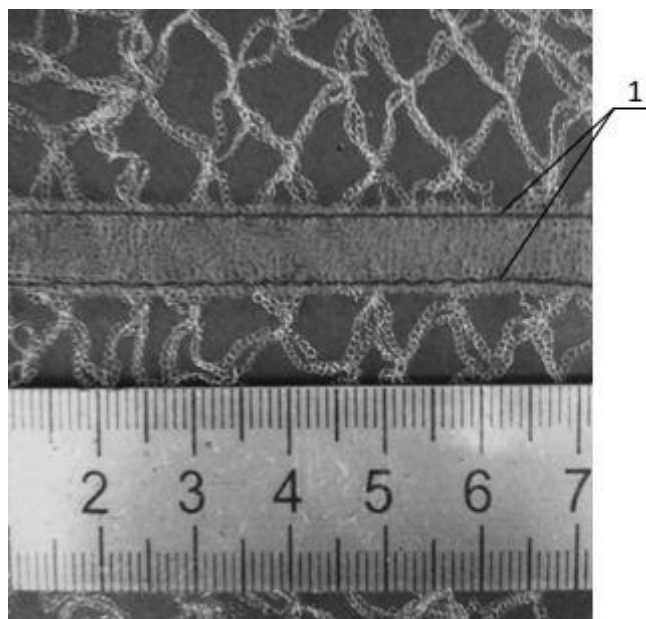


Рисунок 5.11 – Фотография полотна после выполнения фиксации усадки кромки



После того как сетеполотна соединены между собой и необходимая усадка в местах соединения зафиксирована, следует операция заключительного соединения сетеполотен между собой эластичной четырехниточной трехлинейной строчкой 2, изображение данной операции представлено на рисунке 5.12.

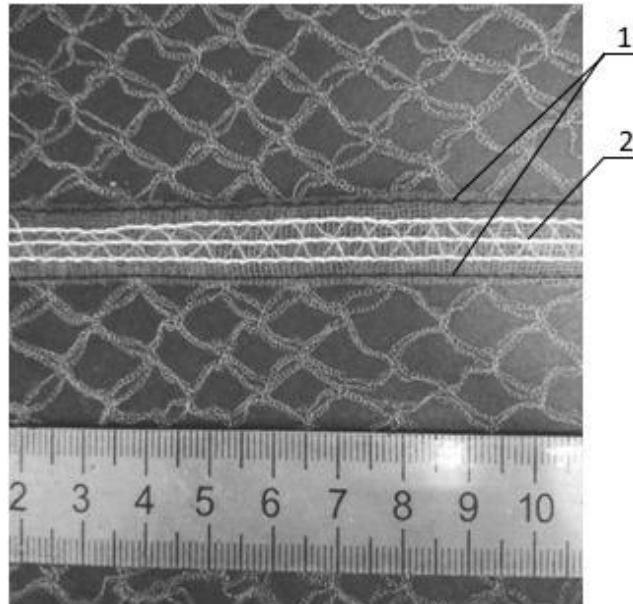


Рисунок 5.12 – Фотография полотна после заключительной операции стачивания

Операция заключительного соединения была выполнена на трехигольной четырехниточной плоскошовной машине с плоской платформой «Aurora A-500-01». Расстояние между крайними иглами на машине составило 6,4 мм, установленная длина стежка равна 2 мм.

Заключительным этапом при сборке ОП является удаление нитей 1, фиксирующих усадку кромки. После удаления нитей 1 в месте соединения полотен остается трехлинейный эластичный шов 2, который одновременно соединяет сетеполотна с учетом необходимой усадки, при этом обеспечивает необходимую эластичность места соединения. При растяжении сетематериала, петли сукна, образующие кромку полотен, вытянутся вдоль петельных столбиков, тем самым кромка полотна будет иметь меньший размер по ширине, чем в процессе фиксации усадки. Фотография полотна после заключительной операции стачивания представлена на рисунке 5.13.

Исходя из фотографии, представленной на рисунке 5.13, видно, что при растяжении сетематериала, ячейки, расположенные вдоль кромки, принимают правильную форму квадрата. Это свидетельствует о том, что соединительный шов, достаточно фиксирует заданную длину кромок сетеполотен и способствует полному раскрытию прилегающих к кромкам ячеек.

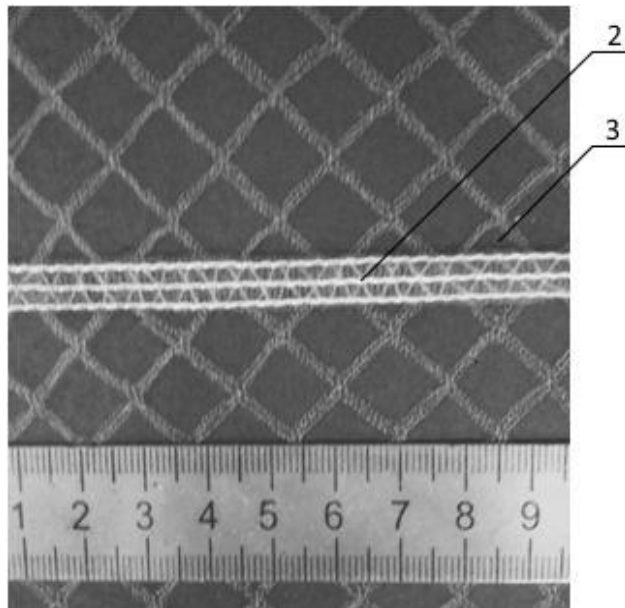


Рисунок 5.13 – Фотография полотна при растяжении после удаления фиксирующих усадку нитей

Таким образом, разработанная технология машинного способа соединения сетеполотен с кромками, отличающимися по структуре от основного полотна, включает следующие операции:

- предварительное соединение сетеполотен по кромкам двухлинейной четырехниточной строчкой челночного стежка;
- выполнение усадки кромки за счет вытягивания нитей до необходимой длины;
- заключительное соединение сетеполотен прокладыванием четырехниточной трехлинейной строчки;
- удаление фиксирующих нитей.

Данный способ был успешно реализован в лаборатории предприятия ООО «ТРИИНВЕСТ», что подтвердило возможность достижения необходимой усадки кромок при сохранении квадратной формы ячеек.

## Выводы по пятой главе

1. Определен расход сетематериала, с учетом его рабочего натяжения равным 6 сН/см, для изготовления отражающих поверхностей заданных форм рефлекторов, а также число петельных рядов образующих длину сетеполотна и число петельных столбиков по ширине каждого полотна для выработки на вязальной машине.
2. Предложено два способа определения массы заготовки ОП: с учетом кромок сетеполотна, выполненных переплетением «сукно-сукно» и без учета кромок, используя значение поверхностной плотности сетематериала. Расчетные данные по обоим способам показали значения массы с минимальным расхождением, что свидетельствует о том, что наличие кромок практически не влияет на показатели массы ОП. Определена масса заготовок ОП с учетом выработанных кромок на полотне, которая составила 4,47 кг для сферической формы рефлектора и 4,49 кг для параболической.
3. На основе выполненного анализа существующих способов соединения деталей текстильных изделий, установлено, что для формирования ОП из высокорастяжимого крупноячеистого трикотажного сетематериала наиболее оптимален ниточный способ соединения.
4. Для изготовления ОП разработана технология ниточного соединения сетеполотен без кромок ручным способом.
5. Для изготовления ОП разработана технология ниточного соединения сетеполотен с кромками машинным способом. Проверка разработанной технологии была проведена в лабораторных условиях предприятия ООО «ТРИИНВЕСТ» и подтвердила возможность получения соединительного шва машинным способом при необходимой усадке кромки на 45%, соответствующего заявленным требованиям.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана структура трикотажного сетеполотна с увеличенными размерами ячеек из одиночных нитей малого диаметра для изготовления отражающей поверхности крупногабаритных трансформируемых рефлекторов антенн.
2. Для крупноячеистых сетеполотен разработаны мелкоряпортные структуры кромок, обеспечивающие закрытие краевых петель основного полотна и возможности реализации машинного ниточного способа соединения для изготовления крупногабаритной заготовки ОП.
3. Предложена методика расчета параметров заправки на вязальной машине, исходя из особенностей структуры полотна и числа игл на машине, обеспечивающая получение заготовки ОП из минимально возможного числа полотен при максимально возможной заправке машины.
4. Установлено, что необходимое усилие удельного натяжения, при котором заготовка монтируется на каркас рефлектора, для разработанной структуры сетеполотна должно быть не более 6 сН/см
5. Разработана методика определения параметров и свойств сетеполотен с крупноячеистой структурой при двухосном растяжении полотна. Определены важнейшие показатели, характеризующие ОП: масса ОП рефлектора из разработанного сетематериала составит менее 4,5 кг; поверхностная плотность полотна равна 2,5 г/м<sup>2</sup>; светопропускная способность имеет значение 98%.
6. На основе сравнительного анализа изменения длин сторон условных квадратов, образующих ОП, монтируемую на силовой каркас рефлектора, было показано, что изменение условных квадратов в центре ОП составляет 0-0,5%, а по краям достигает 1,5% при сферической форме рефлектора и 3,5% при параболической, что показало возможность использования плоскостного сетематериала в качестве ОП пространственных форм.
7. Разработаны технологии ручного и машинного способов соединения крупноячеистых сетеполотен, выработанных из одиночных молибденовых

золоченых нитей диаметром 20 мкм для изготовления ОП заданных размеров. Экспериментальная проверка машинного способа соединения полотен подтвердила возможность получения заданной усадки кромки до 45%, необходимой для ликвидации деформации ячеек по краям полотна.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бабкова, Е. С. Металлотрикотажные сетчатые полотна крупноячеистой структуры / Е. С. Бабкова, Е. Н. Колесникова, Н. В. Заваруев // Сборник стендовых докладов. Международный косыгинский форум – 2019 «Современные задачи инженерных наук». - Москва: РГУ им. А.Н.Косыгина. - 2019. – С. 15-16.
2. Бабкова, Е. С. Проектирование трикотажных сетчатых материалов технического назначения / Е. С. Бабкова // Сборник XXVI Международной научно-практической конференции «Вопросы современных научных исследований». – 2018. - №6-3(21). – С. 432-433.
3. Бабкова, Е. С. Трикотаж в космосе / Е. С. Бабкова // Сборник статей XI Международной научно-практической конференции «EVASIASCIENCE». – 2017. – С. 88-90.
4. Бабкова, Е. С. Прогнозирование светопропускной способности трикотажного сетематериала с увеличенными размерами ячеек / Е. С. Бабкова, В. А. Заваруев, Е. Н. Колесникова // Сборник Международной научно-практической конференции «Эргодизайн как инновационная технология проектирования изделий и предметно-пространственной среды: инклюзивный аспект «Сборник научных трудов Ч.-2». – 2019. – С. 102-106.
5. Бабкова, Е. С. Исследование и оценка свойств металлического трикотажного сетеполотна / Е. С. Бабкова, Е. Н. Колесникова // Сборник материалов XXII Международного научно-практического форума SMARTEX-2019 «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы Ч.-2». – 2019. – С. 105-109.
6. Бабкова Е. С. Соединение трикотажных сетеполотен крупноячеистой структуры / Е. С. Бабкова, В. А. Заваруев, Е. Н. Колесникова // Научное издание V Всероссийской научной конференции с участием молодых ученых «Инновационные материалы и технологии в дизайне». – 2019. – С. 125-126.

7. Бабкова, Е. С. Формообразование пространственных поверхностей из трикотажного сетематериала / Е. С. Бабкова, В. А. Заваруев, Е. Н. Колесникова // Сборник Международной научно-практической конференции «Эргодизайн как инновационная технология проектирования изделий и предметно-пространственной среды: инклюзивный аспект «Сборник научных трудов Ч.-1». – 2019. – С. 56-60.
8. Бабкова, Е. С. Теоретическое исследование трикотажного сетчатого материала с целью расчета и прогнозирования светопропускной способности / Е. С. Бабкова, В. А. Заваруев, Е. Н. Колесникова, О. П. Фомина // Дизайн и технологии. – 2018. – №68 (110). – С. 70-73.
9. Бабкова, Е. С. Разработка технологии проектирования трикотажных сетчатых материалов технического назначения / Е. С. Бабкова, В. А. Заваруев, О. П. Фомина // Сборник статей IV Всероссийской научной конференции с участием молодых ученых «Инновационные материалы и технологии в дизайне». – 2018. – С. 71-72.
10. Бабкова, Е. С. Проектирование структур трикотажных сетчатых материалов технического назначения / Е. С. Бабкова, Е. Н. Колесникова, О. П. Фомина // Сборник научно-практической международной конференции «Актуальные вопросы современных исследований «Научно-практические исследования». – 2018. - №4 (13). – С. 16-21.
11. Бабкова, Е. С. Проектирование трикотажных сетчатых материалов технического назначения / Е. С. Бабкова, О. П. Фомина // Сборник статей XV Международной научно-практической конференции «EVASIASCIENCE». – 2018. – С. 115-116.
12. Бабкова, Е. С. Проектирование структур вертикальных створок ячеек трикотажных материалов сетчатых структур / Е. С. Бабкова, В. А. Заваруев, О. П. Фомина // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 3 (381). – С. 92-96.
13. Бабкова, Е. С. Проектирование структур участков связок ячеек трикотажных сетчатых материалов / Е. С. Бабкова, В. А. Заваруев, О. П. Фомина, С. И.

- Пивкина // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 2 (380). – С. 102-105.
14. Бабкова, Е. С. Проектирование поверхностей параболических форм из трикотажного сетеполотна / Е. С. Бабкова, В. А. Заваруев, Е. Н. Колесникова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 3 (381). – С. 114-117.
  15. Бабкова, Е. С. Прогнозирование основных показателей трикотажного сетематериала крупноячеестой структуры с использованием метода ризоматической логики / Е. С. Бабкова, Н. В. Заваруев, Е. Н. Колесникова // Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции «Научные исследования в современном мире: теория, методология, практика Ч.-1». –Уфа: НИЦ Вестник науки. - 2019. – С. 56-60.
  16. Баничук, Н. В. Механика больших космических конструкций / Н. В. Баничук. - М.: Факториал, 1997. – 434 с.
  17. Бей, Н. А. Трансформируемые антенны больших размеров для геостационарных космических аппаратов / Н. А. Бей, В. Н. Зимин // Антенны. – 2005. - №10 (101). - С. 24–27.
  18. Беляев, О. Ф. Трикотажные металлические сетеполотна для отражающей поверхности трансформируемых наземных и космических антенн / О. Ф. Беляев О.Ф., В. А. Заваруев, Л. А. Кудрявин, С. Ф. Подшивалов, В. И. Халиманович // Технический текстиль. - 2007. - №16. – С. 47-51.
  19. Бердникова, Н. А. Проектирование крупногабаритного высокоточного рефлектора антенны космического аппарата с контурной диаграммой направленности / Н. А. Бердникова, А. В. Иванов, О. А. Белов, В. Е. Чичурин // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. – 2016. – Т. 17, № 2. – С. 378-387.
  20. Бондарев А. В. Перспективы развития конструкций космических самораскрывающихся антенн на основе ферменно- стержневого каркаса / А.



- В. Бондарев, А. Ф. Блинов, С. В. Артамонов, Е. С. Недашковская // Информация и космос. – 2017. - № 4. – С. 22-26.
21. Бузов, Б. А. Управление качеством продукции, техническое регулирование и технический регламент, стандартизация и сертификация / Б. А. Бузов. - М.: Академия, 2008. — 176 с.
  22. Бухтяк, М. С. Геометрическое моделирование деформации сетеполотна параболического рефлектора / М. С. Бухтяк // Математическое моделирование. – 2016. – Т. 28, № 1. – С. 97-106.
  23. Геворкян, Ю. Л. Основы линейной алгебры и её приложений в технике: учебник / Ю. Л.Геворкян, А. Л.Григорьев. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – 542 с.
  24. ГОСТ 12807-2003 Изделия швейные Классификация стежков, строчек и швов. М.: Стандартиформ, 2005. – 119 с.
  25. ГОСТ 51517-99 Изделия швейные. Метод определения максимальной разрывной нагрузки шва при растяжении пробы полоской. - М.: Издательство стандартов, 2001. - 6 с.
  26. ГОСТ 8845-87 Полотна и изделия трикотажные. Методы определения влажности, массы и поверхностной плотности. М.: Издательство стандартов, 2002. – 8 с.
  27. ГОСТ 8846-87. Полотна трикотажные. Методы определения линейных размеров, перекоса, числа петельных рядов и петельных столбиков и длины нити в петле. М.: Государственный комитет по стандартам, 1987 – 19 с.
  28. ГОСТ 8847-85 Полотна трикотажные. Методы определения разрывных характеристик и растяжимости при нагрузках, меньше разрывных. М.: Издательство стандартов, 1986. – 21 с.
  29. ГОСТ 26006-83 Полотна и изделия трикотажные. Методы определения явной и скрытой прорубки. – М.: Издательство стандартов, 1985. - 15 с.
  30. ГОСТ 8844-75 Полотна трикотажные. Правила приемки и метод отбора проб. – М.: Издательство стандартов, 1995. – 6 с.

31. Гусева, А. А. Общая технология трикотажного производства / А. А. Гусева. М.: Легпромбытиздат, 1987. – 296 с.
32. Далидович, А. С. Основы теории вязания / А. С. Далидович. - М.: Легкая индустрия, 1970. – 433 с.
33. Демидова, Н. Е. Математика. Основы тригонометрии: учебное пособие / Н. Е. Демидова. - Н.Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, - 2011. — 92 с.
34. Денисова, Л. В. Теоретические и экспериментальные исследования режимов сетчатых рефлекторов космических антенн / Л. В. Денисова, Д. Ю. Калинин, С. В. Резник // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2011. - № 1. - С.92-105.
35. Евдокимов, А. С. Компьютерное моделирование механических и радиотехнических характеристик крупногабаритных космических рефлекторов / А. С. Евдокимов, С. В. Пономарев // Вестник НГУ. Физика. – 2007. – Т. 2, № 3. – С. 81-86.
36. Жуков, А. П. Динамика отражающей поверхности крупногабаритного зонтичного рефлектора космического аппарата: дисс. ... канд. физ.-мат. наук: 01.02.04 / Жуков Андрей Петрович. - Томск., 2016. – 156 с.
37. Жуков, А. П. Оценка влияния физико-механических свойств сетеполотна на форму отражающей поверхности рефлектора зонтичного типа / А. П. Жуков, С. В. Пономарев // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2010. - Т. 53, № 12-2. – С. 142-147.
38. Заваруев, В. А. Исследование особенностей переработки металлических мононитей на вязальных машинах с целью получения полотен технического назначения: дисс. ... канд. тех. наук: / Заваруев Владимир Андреевич. - М., 1980. – 396 с.
39. Заваруев, В. А. Разработка технологии производства металлотрикотажных сетеполотен для изделий космической и наземной систем связи: дисс. ... д-ра тех. наук: 05.19.02 / Заваруев Владимир Андреевич. - М., 2006. – 466 с.

40. Заваруев, В. А. Исследование влияния типов петель основовязаного трикотажа из металлических нитей на его физико-механические и электрофизические свойства / В. А. Заваруев, О. С. Котович // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007. - №3. – С. 91-93.
41. Ильин, В. А. Линейная алгебра: учебник для вузов / В. А.Ильин, Э. Г. Позняк. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. — 280 с.
42. Керимов, С. Г. Стандартные методы испытаний текстильных материалов технического назначения: сборник ГОСТов / С. Г. Керимов, Л. Н. Попов. – Ярославль: ОАО «НИИТТ», 2007. – 346 с.
43. Кисанов, Ю. А. Материалы для отражательных поверхностей космических складных антенн (КСА) / Ю. А. Кисанов, Н. М. Фейзула, Л. А. Кудрявин, В. А. Заваруев // Антенны. – 1981.- № 29. – С.20-25.
44. Кобляков, А. И. Структура и механические свойства трикотажа / А. И. Кобляков. – М.: Легкая индустрия, 1973. - 240с.
45. Кобляков, В. А. Некоторые особенности моделирования структуры трикотажа / В. А. Кобляков, А. С. Лукин. - М.: Экон-Информ, 2013. – 116с.
46. Колесникова, Е. Н. Основы автоматизированных методов проектирования технологии петлеобразования / Е. Н.Колесникова. - М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2000. – 240 с.
47. Колесникова Е.Н. Основы проектирования технологии петлеобразования: дисс. ... д-ра тех. наук: 05.19.02 / Колесникова Елена Николаевна. – М., 2001. – 342 с.
48. Королев, Ю. И. Начертательная геометрия: учебник для вузов. 2-е издание / Ю. А. Королев. – СПб.: Питер, 2010. – 256 с.
49. Кудрявин, Л. А. Основы теории строения, свойств и процессов выработки сетеизделий трикотажных переплетений: дисс. ... д-ра тех. наук: 05.19.03 / Кудрявин Лев Александрович. - М., 1975. – 313 с.
50. Кудрявин, Л. А. Основы технологии трикотажного производства: учебное пособие для вузов / Л. А. Кудрявин, И. И. Шалов. — М.: Легпромбытиздат, 1991. — 496 с.

51. Кудрявин, Л. А. Методы проектирования и оценка основных свойств поверхностей технического назначения с ячейками различных размеров и конфигураций на базе структур трикотажа / Л. А. Кудрявин, О. Ф. Беляев, С. И. Пивкина, Н. В. Заваруев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 2016. - №2. - С. 139-143.
52. Кузютин, В. Ф. Геометрия: учебник для вузов / В. Ф. Кузютин, Н. А. Зенкевич, В. В. Еремеев. – СПб.: Лань, 2003. – 415 с.
53. Кукин, Г. Н. Текстильное материаловедение: учебник для вузов по спец. "Прядение натуральных и химических волокон" / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобляков; под ред. Г. Н. Кукина. - М.: Легпромбытиздат, 1985. – 214 с.
54. Лазаренко, В. М. Процессы петлеобразования / В. М. Лазаренко. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 136 с.
55. Лопатин, А. В. Обзор конструкций современных трансформируемых космических антенн (часть 1) / А. В. Лопатин, М. А. Рутковская // Вестник СибГАУ. – 2007. - № 2 (15).- С. 51-57.
56. Лопатин, А. В. Обзор конструкций современных трансформируемых космических антенн (часть 2) / А. В. Лопатин, М. А. Рутковская // Вестник СибГАУ. – 2007. - № 3 (16). - С. 78-81.
57. Михайлов, К. Д., Харитонов Л.Ф., Гусева А.А. Технология трикотажа: учебное пособие для текстильных вузов / К. Д. Михайлов, Л. Ф. Харитонов, А. А. Гусева. – М: Гизлегпром, 1956 г. – 826 с.
58. Морозова, Л. В. Методологические основы прогнозирования базовых структур основовязанных переплетений / Л. В. Морозова. - М.: РГУТиС, 2007. - 184 с.
59. Нешатаев, А. А. Художественное проектирование трикотажных полотен / А. А. Нешатаев, Г. М. Гусейнов, Г. Г. Савватеева. М.: «Легкая промышленность и бытовое обслуживание», 1986. – 271 с.
60. Оффеман, П. Основы технологии трикотажного производства / П. Оффеман, Х. Тауш-Мартын. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 215 с.

61. Патент №2198453 / Российская Федерация / Отражательная вязаная сетчатая поверхность антенны и способ её выработки / Кудрявин Л. А., Заваруев В. А., Беляев О. Ф., 2003 г.
62. Патент №2245405 / Российская Федерация / Способ соединения деталей из высокоэластичного полотна / Кудрявин Л. А., Заваруев В. А., Фомина О. П., Рытикова И. В., Подшивалов С. Ф., 2003 г.б
63. Подшивалов, С. Ф. «Текстиль» на службе космосу / С. Ф. Подшивалов // Информационные спутниковые системы. – 2012. - №13. – С. 18-19.
64. Пономарев, В. С. Напряженно-деформированное состояние антенных рефлекторов космических аппаратов при нестационарных тепловых воздействиях: дисс. ... канд. физ.-мат. наук: / Пономарев Виктор Сергеевич. - Томск., 2015. – 139 с.
65. Рытикова, И. В. Разработка технологии формирования сложноконструктивных изделий из металлических трикотажных полотен технического назначения: дисс. ... канд. тех. наук: 05.19.02 / Рытикова Ирина Валерьевна. – М., 2005. – 253 с.
66. Севостьянов, А. Г. Методы и средства исследования механикотехнологических процессов текстильной промышленности / А. Г. Севостьянов. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 392 с.
67. Стигене, Л. Я. Разработка структур трикотажных полотен технического назначения из металлических нитей с целью оптимизации их физико-механических характеристик: автореф. дисс. ... канд. тех. наук: 05.19.03 / Стигене Лаймуте Яронимовна. – М., 1990. – 18 с.
68. Сухарев, Е. Н. Метод определения натяжения сетеполотна антенн на основе распознавания образов / Е. Н. Сухарев, Ю. В. Козловский // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. – 2006. - № 1 (8). – С. 96-100.
69. Торкунова, З. А. Испытания трикотажа / З. А. Торкунова. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 200с.

70. Шалов, И. И. Проектирование трикотажного производства / И. И. Шалов. - М.: Легкая индустрия, 1977. – 296 с.
71. Шаньгина, В. Ф. Оценка качества соединений деталей одежды / В. Ф. Шаньгина. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. - 128 с.
72. Шарков, В. Ф. Ризоматическая логика – инструмент для построения новой научной парадигмы / В. Ф. Шарков // Актуальные проблемы современной науки. - 2007. – № 6. – С. 47-49.
73. Щербаков, В. П. Прикладная механика нити / В. П. Щербаков. - М.: РИО МГТУ им. А. Н. Косыгина, - 2001. – 301 с.
74. Akira, M. In-orbit deployment performance of large satellite antennas / M. Akira // Spacecraft and Rockets. - 1996. - № 2 (33). - P. 222-227.
75. Barho, R. Investigations into deployment complications of the ERS-I SAR antenna / R. Barho // 5th European Space Mech and Tribol. Symposium, Noordwijk, 28-30 Oct., 1992. Paris. - 1993. – P. 61-64.
76. Buhl, T. Shape optimization of cover plates for retractable roof structures / T. Buhl, F. V. Jensen, S. Pellegrino // Computers and Structures. – 2004. - № 82. – P.1227-1236.
77. Chodimella, S. P. Design evaluation of a large aperture deployable antenna / S. P. Chodimella [at ai.] // AIAA Papers. – 2006. - № 1603. – P.1-20.
78. David Gross. Tricot Cloth Vital to Lunar Mission // Knitted outerwear Times. – 1969. - № 3- P. 34-37.
79. Gantes, C. J. Geometric design of arbitrarily curved bi-stable deployable arches with discrete joint size / C. J. Gantes, E. Kontitopoulou // International Journal of Solids and Structures. – 2004. - № 41. – P. 5517-5540.
80. Gross, D. Tricot Cloth Vital to Lunar Mission / D. Gross // Knitted outerwear Times. – 1969. - № 3- P. 34-37.
81. Guest, S. D. A new concept for solid surface deployable antennas / S. D. Guest, S. Pellegrino // Acta astronautica. – 1996. - № 2. – P. 103-113.
82. Hyperboloid deployable space antenna. Patent 4825225 USA, MKU<sup>4</sup> H 01 Q1/08, N6741. 25.04.89. HKU 343/881.

83. Imbriale, W. Spaseborne Antennas for Planetary Exploration / W. Imbriale / NJ.: John Wiley and Sons, 2006. – 592 p.
84. Jensen, F. Expandable structures formed by hinged plates / F. Jensen, S. Pellegrino // 5th International Conference on Space Structures: University of Surrey. UK. 19-21 August. – 2002. – P. 1-10.
85. Keller, P. N. Development of Elastic Memory Composite Stiffeners for Flexible Precision Reflector / P. N. Keller [et al.] //47th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference. Newport, Rhode Island. 1-4 May. – 2006. - № 2179. - P. 1-11.
86. Kunito, O. Development of a precision large deployable antenna for the space VLBI / O. Kunito [et al.] // 14th International Communication Satellite Systems Conference and Exhibit. Washington, D. C. 22-24 March. – 1992. – P. 1552-1559.
87. Lai, C.-Y. Deployable membrane reflectors with offset configuration / C.-Y. Lai, S. Pellegrino // AIAA Papers. – 2002. - № 1368. – P.1-11.
88. Mahaney J, Thornton E.A. Self-Shadowing Effects on the Thermal-Structural Response of Orbiting Trusses // Journal of Spacecraft and Rockets. – 1987. – Vol. 24, №4. – P. 342–348.
89. Meguro, A. Key technologies for high-accuracy large mesh antenna reflector / A. Meguro, S. Harada, M. Watanabe // Acta Astronautica. – 2003. – № 53. – P. 899-908.
90. Misawa, M. Deployment reliability prediction for a large satellite antennas driven by spring mechanisms / M. Misawa // J. Spacecraft and Rockets. – 1994. - № 5. – P. 878-882.
91. Shintate, K. Large Deployable Reflector (LDR) / K. Shintate [et al.] // Journal of the National Institute of Information and Communications Technology. – 2003. – Vol. 50, № 3/4. - P. 33-39.
92. Soykasap, O. Tape Spring Large Deployable Antenna / O. Soykasap [et al.] // 47th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and

- Materials Conference. – Newport, Rhode Island. 1-4 May. – 2006. – № 1601. - P. 1-12.
93. Tan, L. T. Stiffness design of spring back reflectors / L. T. Tan // 43th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference. Denver, CO. 22-25 April. – 2002. - № 1498. P. 1-11.
  94. Tankersley, B. C. Tracking and Data Relay Satellite Single Access Deployable Antenna // B. C. Tankersley, H. E. Bartlett // NTC'77 Conf. Record. New York. - 1977. – V. 2. – P. 41–46.
  95. Thomson, M. W. The AstroMesh deployable reflector / M.W. Thomson // 6th International Mobile Satellite Conference. Ottawa. June. – 1999. - P. 230-233.
  96. Thomson, M. W. The AstroMesh deployable reflector for KU- and KA-band commercial satellites / M.W. Thomson // AIAA Papers. – 2002. - № 2032 – P.1-9.
  97. Tibert, A. G. Furlable reflector concept for small satellites / A. G. Tibert, S. Pellegrino // AIAA Papers. – 2001. - № 1261. – P. 1-11.
  98. Tibert, A. G. Optimal design of tension truss antennas / A. G. Tibert // AIAA Papers. – 2003. - № 1629 – P.1-11.
  99. You, Z. Cable-stiffened pantographic deployable structures: P.2. Mesh reflector / Z. You, S. Pellegrino // AIAA Papers. – 1997. – Vol.50, № 8. – P. 1348-1355.
  100. Решение СЛАУ методом Гаусса. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://math.semestr.ru/>