

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ СФЕРЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА
(ФИЛИАЛ)
ФГБОУ ВПО «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

БЫРДИНА МАРИНА ВЛАДИМИРОВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
ФОРМЫ ОДНОСЛОЙНЫХ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

05.19.04 – «Технология швейных изделий»

Диссертация на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук,
доцент Назаренко Е.В.

Шахты – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ	
1.1 Тенденции дизайна современной одежды.....	10
1.2 Характеристика способов формообразования швейных изделий.....	13
1.3 О приближенной развертке поверхности тела человека.....	17
1.4 Анализ методов получения разверток поверхности одежды.....	20
1.5 Анализ факторов, влияющих на формообразование материалов в одежде.....	24
1.6 Анализ способов определения драпируемости материалов.....	28
1.7 Анализ исследований в области моделирования пространственной формы швейных изделий.....	35
1.8 Современные САПР трехмерного проектирования одежды	40
1.9 Анализ работ по рациональному использованию материалов.....	45
Выводы по главе 1.....	48
ГЛАВА 2. НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПРОЕКТИРОВА- НИЯ КОНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ И НАХОЖДЕНИЕ ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОРМЫ АНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ	
2.1 Проектирование разверток изделий конической формы, ограничен- ных спиралевидными кривыми.....	50
2.2 Развертка конических изделий в виде одной полосы.....	56
2.3 Математическое моделирование пространственной формы однослой- ных швейных изделий конической формы	
2.3.1 Понятие тонкой оболочки.....	64
2.3.2 Моделирование замкнутого элемента тонкой оболочки.....	65
2.3.3 Приближенное решение вариационной задачи.....	71
2.3.4 Построение срединной поверхности изделия конической формы.....	78

2.3.5 Моделирование изделия с соединительными швами как тонкой оболочки с ребрами жесткости.....	79
2.3.6 Аналитическое исследование влияния швов на жесткость материалов.....	85
2.3.7 Приближенное решение для замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом соединительных швов.....	93
2.3.8 Моделирование поверхности однослойных конических швейных изделий с учетом соединительных швов.....	97
Выводы по главе 2.....	99
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОРМЫ ОДНОСЛОЙНЫХ КОНИЧЕСКИХ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ	
3.1 Разработка методики проведения эксперимента.....	101
3.2 Усовершенствование прибора для определения драпируемости материалов дисковым методом.....	102
3.3 Обоснование выбора факторов методом экспертных оценок.....	107
3.4 Применение теории подобия для сокращения количества проводимых опытов.....	110
3.5 Использование планирования эксперимента для исследования пространственной формы замкнутого элемента тонкой оболочки.....	113
3.6 Исследование пространственной формы модели юбки с использованием планирования эксперимента второго порядка.....	121
3.7 Сопоставление результатов теоретического расчета и экспериментальных исследований по определению пространственной формы замкнутого элемента тонкой оболочки и формы модели юбки.....	126
3.8 Обсуждение результатов экспериментальных исследований жесткости тканей со швами.....	129
Выводы по главе 3.....	134

ГЛАВА 4. ПОСТРОЕНИЕ ПЛОТНОЙ РАСКЛАДКИ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОДНОСЛОЙНЫХ КОНИЧЕСКИХ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ	
4.1 Построение плотной раскладки спиральных разверток юбок.....	135
4.2 Разработка программы визуализации пространственной формы одно- слойных конических швейных изделий	
4.2.1 Назначение программы и ее информационное обеспечение.....	145
4.2.2 Основные команды и функции, реализующие работу программы	146
4.2.3 Алгоритм построения модели поверхности конической юбки.....	147
4.2.4 Структуризация построения манекена и поверхности юбки.....	151
4.3 Разработка модельной конструкции конической юбки со спиралевид- ными линиями членений.....	155
4.4 Практические рекомендации по изготовлению конических однослой- ных швейных изделий со спиралевидными линиями членения.....	157
Выводы по главе 4.....	160
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	161
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	163
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	175

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетной задачей развития современного общества является обеспечение населения России высококачественной одеждой отечественного производства, снижение материалоемкости и себестоимости швейных изделий, постоянное обновление и расширение ассортимента одежды, а также ее соответствие последним модным тенденциям.

При проектировании моделей одежды используют различные методы конструирования, которые принято разделять на приближенные и инженерные. Более точными являются инженерные методы конструирования одежды, но высокая трудоемкость и сложность получения разверток деталей одежды ограничивает их практическое применение. Создание эксклюзивных моделей одежды, отвечающих требованиям перспективного направления моды, и воспроизведение их в условиях массового производства требуют совершенствования методов проектирования одежды. Поэтому возникает объективная необходимость пересмотра традиционных принципов формообразования одежды и изыскание научно обоснованных, достаточно точных и удобных способов построения разверток деталей одежды, так как от точности их построения существенно зависит расход материалов, эстетические и эксплуатационные свойства изделий.

Традиционно высоким спросом пользуются изделия из натуральных кожевенных материалов, ассортимент которых динамично развивается, что требует использования новых технологий раскроя, изготовления изделий и соответственно разработки новых способов их проектирования. Вместе с тем высокая стоимость изделий остро ставит задачу рационального использования кожевенных материалов, доля затрат на которые составляет 80-90% себестоимости готовой продукции.

При проектировании новых моделей одежды важно знать, какой будет их объемно-пространственная форма в зависимости от конструктивного решения и свойств применяемых материалов. В настоящее время процесс проектирования швейных изделий не является полностью формализованным из-за недостаточного объема информации о поведении материалов в готовом изделии.

Исследование и моделирование объемно-пространственной формы одежды предлагается в работах отечественных ученых И.С. Зак, О.Д. Марченко, Р.И. Сизовой (ЦНИИШП), А.И. Мартыновой, Е.Г. Андреевой, Е.В. Лаврис, И.А. Петросовой, М.А. Гусевой, Ю.В. Линник, М.В. Киселевой, Л.О. Гальцовой (МГУДТ), Н.Н. Раздомахина, Е.Я. Сурженко, А.Г. Басуева (СПбГУТД), В.Е. Кузьмичева (ИГТА), Д.А. Васильева, А.Е. Гореловой, Е.С. Давыдовой, Н.Л. Корниловой (ИВГПУ), В.Д. Фроловского, Д.В. Фроловского, В.В. Ландовского, И.Е. Ландовской (НГТУ), а также зарубежных ученых K.Y.Sze, X.H. Liu (Китай), N. Magnenat-Thalmann, P. Volino, F. Cordier, U. Bonnany, I.R. Summers, M. Bergamsco, F. Salsedo (Швейцария), B. Thomaszewski, M. Wacker, W. Straber (Германия), D. Baraff, A. Witkin, U. Ascher, E. Boxerman, J. Eischen (США), D.E. Pea, P.F. Whelan (Ирландия), A. Taylor, E. Unver (Великобритания) и др.

Приведенный обзор отечественных и зарубежных исследований свидетельствует об актуальности разработки теоретических основ виртуального представления объемно-пространственной формы одежды. Создание адекватной модели пространственной формы швейного изделия с учетом свойств материалов и конструктивного решения изделия требует решения задачи о нахождении формы поверхности одежды аналитическим способом, построении математической модели пространственной формы изделия и ее последующей компьютерной визуализации.

Цель диссертационной работы заключается в исследовании и моделировании пространственной формы однослойных швейных изделий на основе построения математических моделей геометрии их поверхности, создании программного обеспечения визуализации пространственной формы изделий.

В соответствии с целью работы поставлены следующие задачи:

- построить математические модели пространственной формы однослойных швейных изделий с учетом жесткости и поверхностной плотности материалов;
- построить математические модели пространственной формы однослойных швейных изделий заданной жесткости и поверхностной плотности материалов при наличии соединительных швов и отделочных элементов в виде полос;

- провести экспериментальные исследования по определению пространственной формы однослойных конических швейных изделий;
- усовершенствовать дисковый метод определения драпируемости материалов с целью повышения точности результатов исследований;
- разработать программу визуализации формообразования поверхности однослойных швейных изделий конической формы.

Методы и средства исследований. Решение поставленных задач осуществлялось на основе методов вариационного исчисления, дифференциальных уравнений, теории многомерного статистического анализа и теории подобия. Расчет параметров и визуализация формообразования изделий выполнены в средах Maple 9.5, Embarcadero C++ Builder XE5, Excel; использовались программы Coral Draw, Photoshop.

Научная новизна работы заключается в разработке экспериментально-аналитического метода моделирования пространственной формы однослойных швейных изделий конической формы, исходя из принципа минимума потенциальной энергии, с использованием методов вариационного исчисления. В рамках разработанного метода

- получены математические модели, описывающие пространственную форму однослойных швейных изделий с учетом поверхностной плотности и жесткости материалов без швов и с учетом наличия соединительных швов и отделочных элементов в виде полос;
- научно обоснован метод проектирования швейных изделий конической формы, состоящих из одной или нескольких деталей в виде спиральных разверток, построение которых реализуется на основе прикладных пакетов математических программ;
- обоснованы конструкция отделочного элемента в виде перьевой тесьмы, способы определения драпируемости материалов для одежды и программа визуализации формообразования поверхности однослойных швейных изделий конической формы, новизна разработок подтверждена патентами на изобретения и свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ;

– на основе аналитических и экспериментальных исследований установлено, что жесткость составных деталей из анизотропных материалов вдоль шва соединения зависит от жесткости этих материалов как вдоль, так и поперек соединительного шва.

Практическая значимость работы заключается в том, что:

- усовершенствован прибор для определения драпируемости материалов дисковым методом, что позволяет повысить достоверность экспериментальных исследований;
- разработан программный продукт визуализации пространственной формы однослойных конических швейных изделий с учетом поверхностной плотности и жесткости материалов;
- разработана конструкция перьевой тесьмы с целью расширения ассортимента отделочных материалов для эксклюзивных моделей одежды;
- разработана модельная конструкция изделия со спиралевидными линиями членения;
- разработаны практические рекомендации по изготовлению конических швейных изделий со спиралевидными линиями членения;
- установлена взаимосвязь между шириной отделочного элемента и степенью продольной деформации этого элемента по его ширине, что позволяет использовать для изготовления швейных изделий конической формы предварительно деформированные прямолинейные полосы, в частности, из кожевенных материалов.

Апробация результатов работы. Основные теоретические положения и результаты диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку на международных научно-практических и научно-технических конференциях: «Материалы и технологии XXI века» г. Пенза (2011), «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития» г. Одесса (2011, 2012), «Наукоемкие технологии на службе экологии человека» г. Шахты (2012), «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС-2013)»

г. Иваново (2013), «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» г. Москва (2013), «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте» г. Одесса (2013, 2014), «Актуальные проблемы техники и технологии» г. Шахты (2014), «Инновации, экология и ресурсосберегающие технологии» г. Ростов-на-Дону (2014); на всероссийских научно-практических конференциях «Национальное достояние России» г. Москва (2011), «Актуальные проблемы техники и технологии» г. Шахты (2010, 2011, 2013), «Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности» г. Москва (2015), «Юбилейная конференция студентов и молодых ученых» г. Ростов-на-Дону (2015); на межвузовской научно-практической конференции «Развитие инновационных направлений в образовании, экономике, технике и технологиях» г. Ставрополь (2010).

Внедрение результатов работы. Результаты работы внедрены в производственный процесс ООО «Силуэт», ИП «Изотиков И.С.» г. Шахты и в учебный процесс кафедры «Технология изделий легкой промышленности» ИСОиП (филиала) ДГТУ при проведении лабораторных и практических занятий по дисциплинам: «Основы научных исследований в легкой промышленности», «Ресурсосберегающие технологии», «Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности», «Технология одежды из кожи».

Публикации. Основные результаты работы опубликованы в 23 печатных работах, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных экспертным советом ВАК, получено 3 патента на изобретение, 1 патент на полезную модель и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертационной работы. Работа состоит из введения, четырех глав, выводов по работе, списка литературы, включающего 127 источников, и 9 приложений. Диссертация изложена на 195 страницах, содержит 13 таблиц и 76 рисунков.

Работа выполнена в Институте сферы обслуживания и предпринимательства (филиале) ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет» на кафедре «Технология изделий легкой промышленности»

ГЛАВА 1

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ

1.1 Тенденции дизайна современной одежды

В настоящее время индустрия моды представляет собой активно развивающуюся область культурной деятельности общества, так как потребность в одежде испытывает каждый человек независимо от возраста, рода занятий и социального статуса. При этом уровень потребностей возрастает и все больше внимания уделяется качеству швейных изделий, эстетическим показателям и соответствию их направлению моды.

В условиях современного производства одежда производится двумя основными способами: путем массового изготовления или индивидуального пошива. Основной объем одежды выпускается швейными предприятиями в условиях массового производства. При запуске новых моделей одежды в поток учитывают такие показатели как повышение производительности труда, снижение материалоемкости изделий, при этом особое внимание уделяют соответствию конструкции последним модным тенденциям.

Анализ последних модных коллекций одежды показал, что при проектировании эксклюзивных моделей одежды дизайнеры, с целью достижения необходимой объемно-пространственной формы и композиционного замысла изделий, смешивают различные стили, комбинируют разные по фактуре материалы, применяют нетрадиционные способы раскроя и изготовления одежды. Известные дизайнеры Макс Азриа, Камилла и Марк Фримен, Джорджио Армани, Александр Ванг, Алессандро Марчи и Джанфранко Ферре проектируют модели одежды из полос материалов, которые могут располагаться по спирали, под различными углами или переплетаться между собой разными способами [1,2]. Формы одежды как пространственные структуры могут быть самыми разнообразными и отличаться друг от друга как по геометрии поверхности, так и по способу формообразования. В моде остаются расклешенные платья и конические юбки, способные подчеркнуть достоинства и скрыть недостатки

женской фигуры [3].

Для достижения объемно-пространственной формы моделей одежды французского дома моды Herve Leger by Max Azria применяется техника «эффект одежды из полос», благодаря которой бренд Herve Leger получил всемирную известность. Модели женских платьев коллекции «Весна-лето 2014» Herve Leger by Max Azria, изготовленные из полос эластичных материалов, которые, подобно корсету утягивают фигуру человека, подчеркивая ее достоинства и скрывая недостатки, представлены на рис. 1.1 [4].



Рисунок 1.1– Модели одежды коллекции «Весна-лето 2014» бренда Herve Leger

На рис. 1.2 представлены фотографии конической юбки и платья-бюстье из полос натуральной кожи классического австралийского бренда Camilla and Marc. Объемная форма изделий достигается за счет сложного кроя и использования формовочных свойств натуральных кожевенных материалов 1.2 [5, 6].

В одной из последних коллекций дизайнер Джорджио Армани представил вечерние и котейльные платья из струящегося шелка, пространственная форма которых получена за счет драпировок и спиралей из полос ткани. Некоторые модели платьев коллекции «Homage Au Japon» представлены на рис. 1.3 [7].



Рисунок 1.2 – Изделия из полос натуральной кожи бренда Camilla and Marc



Рисунок 1.3 – Коллекция Giorgio Armani «Hommuage Au Japon»

Таким образом, современные эксклюзивные модели одежды отличает сложное конструктивное решение, при этом пространственная форма изделий

достигается за счет использования деталей кроя в виде полос различной ширины, располагающихся по спирали, под различными углами или переплетающихся между собой разными способами.

В отличие от швейных изделий массового производства, эксклюзивная одежда изготавливается единичными экземплярами чаще всего на индивидуального потребителя. На изготовление одной модели изделия требуется длительное время работы, поэтому стоимость эксклюзивной одежды очень высокая. Однако, если выпускать эксклюзивную одежду промышленными способами мелкими сериями, она сохранит свою уникальность, но стоимость и трудоёмкость изготовления изделий значительно снизятся.

1.2 Характеристика способов формообразования швейных изделий

Форма как объемно-пространственный объект имеет сложную структуру, состоящую из нескольких частей, организованных в единое целое. Различают простые и сложные формы одежды: простые формы состоят из одной структурноцелой части, а сложные формы состоят из нескольких частей [8].

Для достижения необходимой объемно-пространственной формы одежды используют три основных способа формообразования: технологический, конструктивный и комбинированный. Применение того или иного способа зависит от характера поверхности изделия, применяемого метода конструирования и формовочных свойств используемых материалов [8-11]. При выборе способа формообразования необходимо учитывать структуру пакета конструкции, которая может быть однослойной, многослойной и комбинированной (на различных участках изделия – разное количество слоев материалов).

Технологический способ основан на использовании формовочных свойств материалов (пластических и термопластических) и предполагает воздействие на материал посредством сутюживания, прессования или оттягивания.

К технологическим средствам формообразования относят:

- деформацию материала по срезам деталей и фиксацию его с помощью влажно-тепловой обработки;

- изменение угла между нитями основы и утка ткани, при этом раскрой выполняется с учетом направления нити основы в деталях изделия;
- использование каркасных элементов: плечевых накладок, кромок, формоустойчивых прокладок.

Одним из перспективных направлений формообразования швейных изделий является метод напыления волокон на определенную форму и последующее закрепление их клеящими веществами, а также формование одежды из расплавов полимеров.

С помощью технологического способа трудно получить одежду сложных форм, что ограничивает область его практического применения.

Конструктивный способ характеризуется тем, что формообразование одежды происходит за счет членения материала на части. При использовании конструктивного способа формообразования обеспечивается возможность инженерного расчета, точного воспроизведения и устойчивого закрепления практически любой формы одежды. Членение изделия на детали обуславливается анатомическими особенностями строения тела человека, поэтому конструктивные линии, в основном, проходят вблизи точек его максимальной кривизны [8].

К конструктивным средствам формообразования одежды относят швы, подрезы, вытачки, сборки, складки и драпировки. Линии членения классифицируют по направлению на вертикальные, горизонтальные и наклонные (диагональные). Вертикальные членения модели изделия позволяют визуально вытянуть фигуру, а горизонтальные подчеркнуть пропорции тела человека. Членения по диагонали нарушают статичность и симметричность формы одежды, и таким образом придают ей эксклюзивный внешний вид.

Характер членения одежды на составные части определяется:

- сложностью поверхности тела человека;
- особенностями конструктивного решения модели;
- требованиями художественной выразительности, так как одежда с помощью удачно выбранных линий членения может подчеркнуть достоинства и

скрыть недостатки фигуры человека, корректировать восприятие пропорций тела человека;

- особенностями технологической обработки изделия;
- шириной и другими свойствами материала: при изготовлении одежды из материалов ограниченной ширины вводятся дополнительные членения модели изделия. При изготовлении одежды из натуральных кожевенных материалов сложная конфигурация, ограниченная площадь и наличие возможных пороков кожи обуславливает членение деталей изделия на составные части.

Комбинированный способ предполагает сочетание технологического и конструктивного способов формообразования. При использовании комбинированного способа формообразования должны быть учтены жесткость, осыпаемость и другие свойства материала, определяющие его способность к формообразованию и формозакреплению, а также особенности конструктивного решения модели изделия.

В отличие от изделий из текстильных материалов, процесс проектирования изделий из натуральной кожи тесно связан с геометрическими размерами и свойствами кож. Натуральные кожевенные материалы характеризуются неоднородностью свойств по топографическим участкам, ограниченностью размеров, наличием пороков, при этом величина межлекальных отходов при раскрое, в зависимости от сорта кожи, может составлять до 46% [12].

С целью применения кож малых размеров и достижения хорошей посадки на фигуре человека, модели изделий из натуральных кожевенных материалов разрабатывают с большим количеством конструктивных членений. Рациональное использование натуральных кож предполагает также применение нетрадиционных способов раскроя кож, то есть модификацию основы (иглопробивание, формование, перфорацию) и разрезание кожи на более мелкие элементы и полосы, которые могут соединяться между собой с помощью плетения, вязания, ткачества, ниточного или клеевого способа [13].

При проектировании одежды из натуральной кожи необходимо использовать ее пластические свойства для придания плоским деталям объемной формы и рационального использования кожевенного сырья. Способность натуральных кож деформироваться в значительных пределах определяется их сетчатым строением. При формовании деталей изделия структура кожи может значительно изменяться в результате деформаций растяжения и изгиба: пучки волокон способны ориентироваться под действием растягивающих нагрузок и упруго изгибаться [14-16].

Способность кожи к удлинению (тягучесть) является основным технологическим критерием возможности ее применения для изготовления изделий [16]. Характеристикой тягучести кожи является удлинение при разрыве, однако, это отражает ситуацию, невозможную в технологии изготовления изделий и нежелательную при их эксплуатации. Поэтому нормируется удлинение ε_y , %, при напряжении 10 МПа. Выбор этого показателя связан с тем, что приблизительно такое напряжение возникает при формовании заготовок верха обуви на колодках [17].

По физико-механическим показателям, в соответствии с ГОСТ 1875-83, кожи для одежды должны соответствовать нормам, указанным в табл. 1.1. [18].

Таблица 1.1 – Показатели физико-механических свойств натуральных кож

Вид кожи	Удлинение кожи при напряжении 10 МПа, %
кожи из шкур овец и коз	30-50
кожи из шкур свиней	25-50

Изменение структуры кожи при растяжении исследовано методами микроскопии, ртутной порометрии и рентгеноструктурного анализа. Метод микроскопии позволил установить, что двухосная деформация выростка хромового дубления, превышающая 20%, приводит к расслаиванию сетчатого и сосочкового слоев кожи, что является причиной снижения формоустойчивости

и износостойкости изделия [19, 20]. Микрорентгеноснимки кожи позволили оценить происходящие в ней структурные изменения при двухосном симметричном растяжении на 0-20%. Установлено, что структурные элементы кожи смещаются более интенсивно при растяжении от 12 до 16%. Несмотря на симметричное растягивающее усилие, структурные элементы смещаются в сторону наибольшей тягучести кожи, то есть к более рыхлой структуре. Смещение структурных элементов тем больше, чем значительнее неоднородность кожи. При растяжении более 16% наблюдается некоторое сокращение кожи, что можно объяснить начинающимся разрывом наиболее напряженных пучков волокон.

Таким образом, в результате анализа изменения структуры кожи при двухосном растяжении установлено, что максимальная деформация при ее формовании не должна превышать 20% [19]. Для правильного проведения технологических процессов формования необходимо учитывать свойства используемой кожи для установления оптимальной деформации, так как возможны необратимые структурные изменения кож, которые могут значительно снизить их прочностные свойства [12].

Операции формования натуральных кожевенных материалов относятся, в основном, к технологическим процессам обувного и кожгалантерейного производства. При проектировании одежды из натуральной кожи для получения объемной формы деталей изделия также необходимо использовать ее пластические свойства с целью достижения художественно-композиционной целостности изделия и рационального использования кожевенного сырья.

1.3 О приближенной развертке поверхности тела человека

Основной целью проектирования швейных изделий является получение объемной формы одежды из плоских деталей, и наоборот, точное геометрическое отображение поверхности деталей одежды на плоскость, то есть получение разверток.

Исходной информацией для проектирования одежды служит антропомет-

рическая характеристика фигуры человека. При создании различных видов одежды инженерными методами конструирования разверток деталей одежды форму ее поверхности можно задавать в виде «скульптурного макета» проектируемого изделия, при этом эта поверхность является неразвертываемой. Получение разверток деталей одежды предполагает членение поверхности и развертывание отдельных ее частей [21].

При проектировании одежды тело человека рассматривают как геометрический объект, который имеет сложную пространственную форму. Так как исследуемые участки могут быть сложными и разнообразными (близкими к поверхностям типа круговых и эллиптических одно- и двуполостных гиперболоидов, круговых и эллиптических параболоидов, эллипсоидов и др.), широко используют аппроксимацию сложных поверхностей частями (отсеками) простых поверхностей [22].

Таким образом, поверхность тела человека условно разбивают на участки, которые приближенно рассматривают как части простых геометрических поверхностей: конуса, цилиндра, сферы, а контуры горизонтальных сечений аппроксимируют окружностями, эллипсами. Исследования в области проектирования одежды подтвердили возможность характеризовать одежды объемными геометрическими формами и рассматривать их как поверхности-оболочки (именно такое заключение дает основоположник теории оболочек д.т.н., профессор В.З. Власов) [22].

В практике конструирования одежды за исходную развертку поверхности швейных изделий принята развертка сглаженной поверхности трехмерного манекена, при этом исследование закономерностей перехода от поверхности манекена к поверхности одежды и ее последующее разворачивание на плоскость являются актуальной задачей при проектировании одежды [23].

Приближенная развертка поверхности манекена, построенная по методике, разработанной в Санкт-Петербургском государственном университете технологии и дизайна, представлена на рис. 1.5 [24].

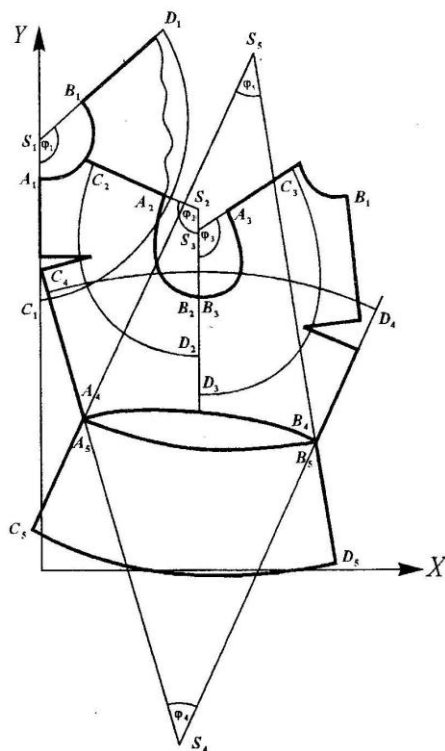


Рисунок 1.5 – Приближенная развертка поверхности манекена

С помощью приемов конструктивного моделирования развертка разделена по линиям талии, середины переда и спинки на три части. В результате анализа формы контуров полученной развертки установлено, что с некоторым приближением она может быть представлена комплексом разверток боковых поверхностей усеченных конусов. При самом простейшем подходе количество таких разверток равно пяти, при этом каждая из них расположена в собственной системе полярных координат [24].

Проектирование одежды является сложным процессом, при этом должны быть решены вопросы как эстетического, так и инженерного характера. Исследованиями в области проектирования одежды выявлена возможность характеристики тела человека объемными геометрическими формами, но не установлена взаимосвязь между первоначальной формой одежды и пространственной формой, которую она принимает на фигуре человека. Поэтому необходимо исследование этой взаимосвязи с учетом конструктивного решения модели изделия и свойств материалов, используемых при его изготовлении.

1.4 Анализ методов получения разверток поверхности одежды

В настоящее время используют различные методы конструирования одежды, которые принято разделять на приближенные и инженерные.

К методам приближенного построения разверток деталей одежды относятся муляжный и расчетно-графический методы.

Создание моделей одежды и получение разверток ее деталей при использовании муляжного метода осуществляется путем макетирования (муляжирования) изделия в соответствии с эскизом на манекене или фигуре человека [25]. Муляжный метод не требует математических расчетов, создает возможность наглядного объемного макетирования практически любых моделей одежды независимо от их сложности. Однако, точность получения разверток деталей одежды муляжным методом невысокая, в связи с чем форма и размеры деталей требуют многочисленных корректировок в процессе создания модели изделия.

Наиболее часто применяемые расчетно-графические методы конструирования одежды имеют большое количество способов построения чертежей, отличающихся друг от друга структурой расчетных формул и приемами графических построений. Расчетные формулы основываются на корреляционной связи между размерными признаками тела человека и размерами одежды. Преимущество расчетно-графических методов конструирования одежды заключается в том, что все формулы имеют математическое обоснование и чертежи конструкций строят, применяя графические развертки сглаженных контуров фигуры человека с учетом необходимых прибавок на свободное облегание.

Более точными и научно обоснованными являются инженерные методы конструирования разверток деталей одежды. Известно несколько инженерных методов конструирования разверток деталей одежды: триангуляции, секущих плоскостей, геодезических линий, вспомогательных линий развертывания, метод конструирования разверток деталей одежды в чебышевской сети [26].

Общий принцип построения приближенной технической развертки методом триангуляции состоит в том, что заданную поверхность образца-эталона одежды разбивают на отдельные элементы и заменяют их элементами условно

развертывающихся поверхностей, которые затем развертывают. Чем на большее число элементов разбивают поверхность, тем ближе по форме аппроксимирующие поверхности будут воспроизводить заданную поверхность [27].

Метод секущих плоскостей, предложенный Ивановой А.И., является одной из первых попыток построения разверток деталей одежды с помощью начертательной геометрии. Сущность метода состоит в том, что поверхность одежды рассекают горизонтальными плоскостями на ряд участков. Крупные (неразвертываемые) участки между секущими плоскостями делят на более мелкие. Каждый малый участок условно приравнивают к развертываемой геометрической поверхности. Участки развертывают и последовательно укладывают на плоскости, наружные контуры оформляют лекальными кривыми [26]. Однако, высокая трудоемкость и сложность взаимоувязки отдельных элементарных участков развертки деталей между собой ограничивают метод секущих плоскостей для практического применения.

Сущность метода геодезических линий заключается в моделировании на некоторой области поверхности ряда геодезических линий с заданным шагом, и в последующем, построении в декартовой системе координат развертки на плоскости каждой полоски, ограниченной геодезическими линиями и участком линии шва [26]. С помощью данного метода можно определить величину необходимой технологической обработки (размеры вытачек, величину посадки ткани) разверток деталей, однако метод очень трудоемкий.

Для построения разверток деталей одежды по заданному образцу модели одежды хорошие результаты дает метод вспомогательных линий развертывания, предложенный Труханом Г.Л. [22]. Данный метод позволяет получить достаточно точную копию развертки поверхности изделия, определить технологическую обработку деталей, заложенную в изделии без его распарывания. Сущность метода заключается в том, что одну нить основы в каждой детали выбирают в качестве исходной линии развертывания. Вдоль нее и вдоль вспомогательных линий развертывания прокладывают ручные строчки прямого стежка. Измеряют длину всех участков исходной и вспомогательных линий

развертывания. На основании полученных данных строят чертеж развертки детали одежды. Данный метод приемлем, в основном, для изделий с ярко выраженным направлением нитей основы и утка, что в значительной степени ограничивает сферу его промышленного применения.

Метод конструирования разверток деталей одежды в чебышевской сети, предложен Савостицким А.В. и детально исследован в ряде работ МТИЛП, выполненных под его руководством [28]. В основе этого метода лежит решение задачи дифференциальной геометрии об «одевании» поверхности тканью, поставленной еще в 1878г. академиком Чебышевым П.Л. Основным достоинством этого метода является возможность не только повторять, но и совершенствовать конструкцию одежды, получать технологичные конструкции деталей одежды минимальной площади с наименьшим количеством швов.

Геометрический метод конструирования разверток деталей одежды является комбинированным методом и предусматривает использование в качестве основы поверхность тела человека или манекена с последующим конструктивным построением разверток деталей одежды. Для построения разверток поверхности используют принцип, заложенный в методе триангуляции, при этом развертываемую поверхность разбивают на достаточно крупные треугольники, условно принимаемые за развертываемые. По ним строят развертки поверхности на плоскости. Геометрический метод является менее трудоемким по сравнению с расчетно-графическими методами, но он не позволяет учитывать свойства материала и проектировать необходимую технологическую обработку.

При построении чертежа конструкции конической юбки геометрическим методом используют коэффициент K , который зависит от того, какую часть круга занимает чертеж конструкции юбки и определяется по формуле

$$K = \frac{180}{\pi \cdot \alpha}, \quad (1.2)$$

где α – угол, образуемый линиями средин переднего и заднего полотнищ юбки

В зависимости от принципов расчета и построения все конические юбки подразделяются на две группы: юбки среднего и большого расклешения, у которых $K \leq 1,0$ («солнце», «полусолнце», все виды «колокола»), и юбки малого расклешения, у которых $K > 1,0$ (клеш, большой клеш).

Значение коэффициента K и общая характеристика конструкций конических юбок представлена в табл. 1.2 [25].

Таблица 1.2 – Характеристика конструкций конических юбок

Разновидность конической юбки	Коэффициент K	Угол α , °
Клеш	1,4	41
Большой клеш	1,2	48
Малый «колокол»	1,0	57
Средний «колокол»	0,9	64
Большой «колокол»	0,8	72
«Полусолнце»	0,64	90
«Солнце»	0,32	180

В результате анализа методов конструирования разверток деталей одежды выявлено, что расчетно-графические методы наиболее приемлемы для проектирования изделий традиционных конструктивных решений, однако высокой точности и технологичности построения разверток деталей одежды, опираясь только на антропометрические измерения и припуски, достигнуть невозможно [29]. Изменение моды и размерной типологии человека сопровождается внесением изменений в эмпирические расчеты и графические построения чертежей новых силуэтов одежды, что приводит к моральному старению методик.

Более точными являются инженерные методы конструирования одежды, но высокая трудоемкость и сложность получения разверток деталей одежды ограничивают их практическое применение. Поэтому необходимо изыскание научно обоснованных, достаточно точных и удобных методов построения разверток деталей одежды, так как от точности их построения существенно зависит расход материалов, качество посадки швейных изделий, их эстетические и эксплуатационные свойства.

1.5 Анализ факторов, влияющих на формообразование материалов в одежде

Качество одежды во многом обусловлено тектоникой, то есть взаимосвязью между формой, конструкцией и материалом [8]. При создании объемно-пространственной формы одежды необходимо учитывать формовочные свойства материала, то есть его способность образовывать пространственную форму и устойчиво сохранять ее в процессе эксплуатации изделия. Способность тканей к формообразованию зависит от их переплетения, волокнистого состава, структурных характеристик, физико-механических свойств, отделки и др.

Образование и фиксация пространственной формы деталей одежды может происходить непосредственно в готовых швейных изделиях свободной формы (коническая юбка) под воздействием веса материала, при надевании плотно облегающего изделия, в частности из трикотажного полотна. Закрепление объемно-пространственной формы материала в технологическом процессе может достигаться при использовании швов, дублирования прокладочными материалами и др. Способность материала к закреплению формообразующих деформаций в процессе влажно-тепловой обработки или при химической обработке определяется степенью участия в общей деформации волокон и нитей, их волокнистым составом, способностью материала к пластификации [30].

При формообразовании деталей изделия текстильный материал выступает как самостоятельный фактор, от которого в значительной степени зависит его пространственная форма за счет присущих ему свойств, таких как жесткость, драпируемость, масса и структурные характеристики материала.

Под драпируемостью понимают способность материалов в подвешенном состоянии под действием собственной массы принимать пространственную форму и образовывать мягкие подвижные складки [31]. В общем виде драпируемость ткани определяется в работе Скляникова В.П. как функция, которая находится в прямой зависимости от поверхностной плотности ткани и в обратной зависимости от характеристик структурных элементов [32]

Драпируемость материалов является величиной, обратной величине жесткости, однако не существует формул, определяющих зависимость этих свойств друг от друга. При выборе материалов для конкретной модели изделия, рассматривается жесткость, как количественный показатель, при этом драпируемость является второстепенным показателем, определяющим качественную характеристику свойств материалов [30].

Под жесткостью материала понимается его способность сопротивляться изменению формы при действии внешней изгибающей силы [30]. Для текстильных материалов, поскольку они даже под действием собственной массы дают большие прогибы, затруднительно определять истинную жесткость, поэтому определяют условную жесткость при изгибе B , которая выражается произведением модуля продольной упругости E на момент инерции сечения тела относительно нейтральной оси I [33].

$$B = E \cdot I, \quad (1.3)$$

где E – модуль продольной упругости, $г/м^2$;

I – момент инерции сечения тела относительно нейтральной оси, $м^4$.

Величина момента инерции характеризует способность тела сопротивляться изгибу в зависимости от размеров и формы поперечного сечения. Модуль упругости характеризует способность тела изгибаться, но уже в зависимости от материала тела.

Чем больше ткань сопротивляется действию изгибающих нагрузок, тем большие усилия требуются для изгиба и тем хуже его драпируемость. В большинстве случаев высокими показателями драпируемости обладают ткани, образующие небольшие округлые подвижные складки [33].

В работах Бузова Б.А. [30] и Сухарева М.И. [31] проанализирована взаимосвязь жесткости тканей с круткой нитей, из которых она состоит. С повышением крутки нитей возрастает жесткость тканей, а драпируемость, соответственно, снижается. Жесткость тканей при увеличении крутки нитей растет до определенного предела. За пределом критической крутки, когда участки воло-

кон, лежащие в периферийных слоях, перенапряжены, сопротивление нити изгибу уменьшается.

Важными факторами, влияющими на формообразование ткани, являются переплетение и форма составляющих ее волокон. С увеличением длины перекрытий и уменьшением числа связей между системами нитей драпируемость ткани улучшается. Ткани полотняного переплетения по сравнению с тканями других переплетений, при прочих равных условиях, имеют меньшие показатели драпируемости. Ткани атласного, саржевого и крепового переплетений менее жесткие, поэтому при создании драпировок, они образуют мягкие округлые складки. Волокна, имеющие круглую форму сечения, оказывают большее сопротивление изгибающим усилиям, чем плоские волокна [34]. На способность к формообразованию тканей оказывают влияние и другие факторы, наиболее существенными среди которых являются отделка материалов, свойства волокон и нитей, формирующих материал.

Наличие швов, клеевых кромок, прокладок в различной степени изменяют драпируемость материалов. В работе Тамаркиной М.А. [35], в результате проведенных экспериментальных исследований по изучению влияния швов, кромок и прокладок на драпируемость материалов установлено, что они в большей или меньшей степени снижают их драпируемость, и в ряде случаев весьма значительно. Эксперименты проводились на приборе МІТ для двух видов тканей плательного ассортимента: мягкой (поверхностная плотность $M_s = 125 \text{ г/м}^2$) и жесткой ($M_s = 271 \text{ г/м}^2$). Исследовались стачные швы взаутюжку и вразутюжку с открытыми срезами, расположенные по горизонтали, вертикали и диагонали на образце материала.

Швы, расположенные вертикально, оказали наименьшее влияние на изменение драпируемости материала: четыре шва, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга, дали снижение драпируемости мягкой ткани на 8-9%, жесткой - на 5-6%, в среднем один шов соответственно на 2% и 1,5%.

Один шов, расположенный горизонтально, снизил драпируемость мягкой ткани на 10%, а жесткой на 5%; а четыре шва, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга, уменьшили драпируемость мягкой ткани на 17%, а жесткой на 11-12%. Наибольшее влияние на драпируемость ткани оказал горизонтальный шов, расположенный в верхней части образца, и это влияние снижалось по мере перемещения шва вниз.

Влияние на драпируемость одного шва, расположенного диагонально, равносильно влиянию шва, расположенного горизонтально. Наличие шва снижает драпируемость мягкой ткани на 9-10%, жесткой на 5-6%. Во всех случаях из исследуемых швов вразутюжку и взаутюжку (те и другие с открытыми срезами), последние дали несколько большее снижение драпируемости ткани.

Клеевые кромки (миткалевые со сплошным клеевым покрытием шириной 1 см), аналогичные по количеству и расположению швам, расположенным вертикально и горизонтально, дали такие же результаты, как и со швами взаутюжку. Прокладка из бязи, расположенная на 1/3 от верха образца, снизила драпируемость мягкой ткани на 16%, жесткой на 7-8%. Введение аналогичной прокладки на всю длину образца, по сравнению с прокладкой на 1/3 образца, существенного различия не показало: разница изменения показателей драпируемости ткани составила до 1%.

Различные швы, независимо от их вида, количества и расположения, клеевые кромки и прокладки снизили драпируемость мягкой ткани в большей степени (примерно в 1,5 раза), чем жесткой.

В настоящее время дизайнеры, при проектировании эксклюзивных моделей одежды, используют конструктивные членения, которые могут располагаться под определенным углом или по спирали в соответствии с композиционным замыслом изделия. Необходимо изучение влияния конструктивных элементов на формообразование изделий, что позволит сравнительно оценивать эти элементы как средства создания пространственной формы и обоснованно выбирать направление и количество линий членения при изготовлении конкретной модели изделия.

1.6 Анализ способов определения драпируемости материалов

Драпируемость является одним из показателей, характеризующих важное свойство материалов – способность их к формообразованию. В настоящее время существуют различные методы определения драпируемости материалов, которые рассматривают частные случаи деформации материалов, возникающих в процессе формообразования.

Стандартным является метод определения драпируемости искусственного трикотажного меха, применяющийся при разработке и постановке новой продукции на производство [36]. Сущность метода состоит в определении отношения массы листа целлюлозной пленки, ограниченной контурами спроектированного на него свободно подвешенного образца меха и листа пленки площадью, равной площади образца меха. Драпируемость D , %, вычисляют по формуле

$$D = \frac{m_p}{m_o} \cdot 100, \quad (1.4)$$

где m_p – масса листа целлофана, ограниченного контурами проекции образца меха, мг;

m_o – масса листа целлофана площадью, равной площади образца меха, мг.

Метод применяется только для трикотажного меха, поэтому не имеет широкого применения в швейной промышленности.

Общепринятыми методами определения драпируемости материалов являются дисковый метод и метод иглы [37]. Наиболее простым методом определения драпируемости является метод иглы. Метод позволяет определить драпируемость ткани в заданном направлении (продольном, поперечном, диагональном). Коэффициент драпируемости K_d , %, вычисляют по формуле

$$K_d = 100 - \frac{A}{2}, \quad (1.5)$$

где A – расстояние между углами нижнего края образца материала в подвешенном состоянии, мм.

Недостатком метода является то, что он является материалоемким, так как для определения драпируемости по каждому направлению образцы вырезаются отдельно.

В настоящее время широкое распространение получил дисковый метод определения драпируемости материалов. Дисковый метод предложен в США и детально исследован в ЦНИИ швейной промышленности [37]. Суть дискового метода состоит в следующем: образец материала в форме круга размещают на диске, и сверху накладывают прижимной диск того же диаметра, что и первый. Затем освещают сверху и получают на бумаге проекцию образца материала.

Характеристикой драпируемости материала по дисковому методу является коэффициент драпируемости $K_d, \%$, который вычисляют по формуле

$$K_d = \frac{S - S_1}{S} \cdot 100, \quad (1.6)$$

где S – площадь образца материала, $мм^2$;

S_1 – площадь горизонтальной проекции образца после испытания, $мм^2$.

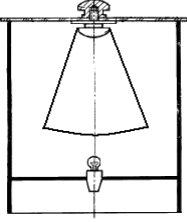
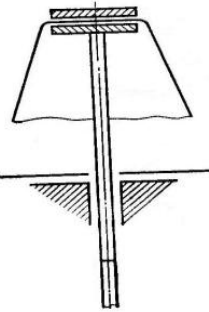
Дисковый метод, в отличие от метода иглы позволяет определить драпируемость материалов сразу в нескольких направлениях.

Существенным недостатком дискового метода является то, что

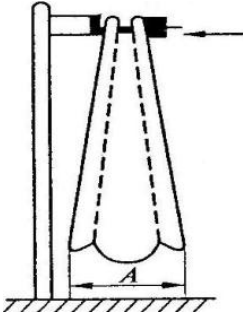
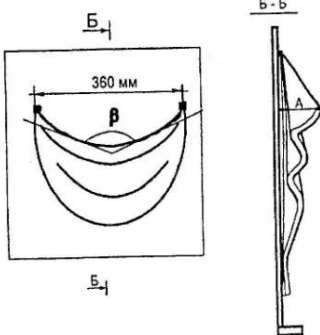
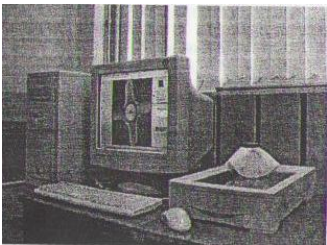
- длина стержня фиксированная, и при получении проекций образцов материалов разной жесткости возможно искажение;
- при перемещении прибора возможна деформация образца из-за соприкосновения с исследователем;
- на практике при освещении используют не параллельные лучи, а точечный источник света, который дает искажение проекции образца материала;
- требуются дополнительные затраты времени, чтобы предварительно вырезать отверстие для стержня прибора на бумаге.

Известны и другие способы определения драпируемости материалов, которые представлены в табл. 1.3 [36-47].

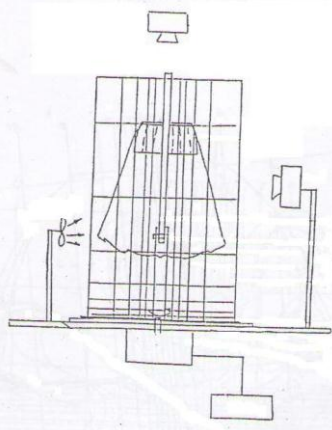
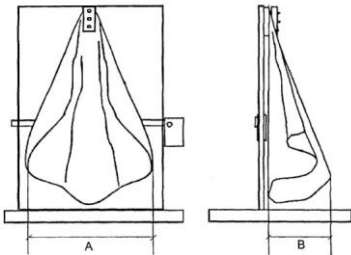
Таблица 1.3 – Способы определения драпируемости материалов

№ п/п	Наименование метода	Форма и размеры образца	Графическое изображение способа	Параметры оценки	Преимущества метода	Недостатки метода
1	2	3	4	5	6	7
1	ГОСТ 26666-89 Меха искусственный трикотажный. Метод определения драпируемости [36]	Образец в форме круга $d=300\pm 1\text{ мм}$		Драпируемость $D, \%$	- метод простой в исполнении.	- метод применяется только для трикотажного меха; - необходимы дополнительные затраты времени на подготовку образца материала.
2	Дисковый метод (ЦНИИШП) [37]	Образец в форме круга $d=150\text{ мм}$ для шелковых тканей; $d=200\text{ мм}$ для шерстяных и хлопчатобумажных тканей с разметкой по основе B и утку A		Коэффициент драпируемости, $K_d, \%$; Соотношение осевых линий по основе и утку, B/A	- позволяет оценить анизотропию материала; - позволяет определить драпируемость сразу в нескольких направлениях.	- длина стержня фиксированная, и при получении проекций образцов материалов разной жесткости возможно искажение; - необходимы дополнительные затраты времени на подготовку образца материала; - при перемещении прибора возможна деформация образца из-за соприкосновения с исследователем; - на практике при освещении прибора используют не параллельные лучи, а точечный источник света, который дает искажение проекции образца; - на бумаге необходимо предварительно вырезать отверстие для стержня.

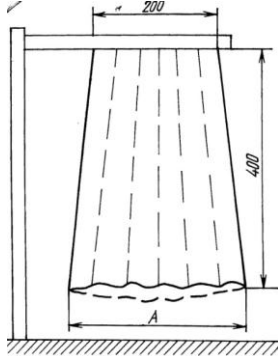
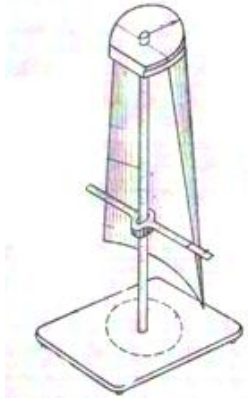
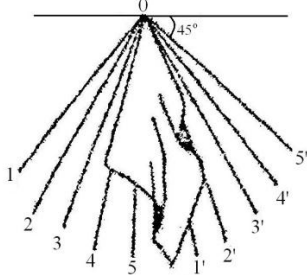
Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6	7
3	Метод иглы (ЦНИИшелка) [37]	Образец в форме прямоугольника размером $200 \times 400 \text{ мм}$		Коэффициент драпируемости, $K_d, \%$	- метод простой в исполнении.	- необходимы дополнительные затраты времени на подготовку образца материала; - метод материалоемкий, так как для определения драпируемости по каждому направлению образцы вырезаются отдельно.
4	Способ определения способности текстильных материалов к образованию складок Патент RU2324935C2 [38]	Образец в форме круга $d = 400 \pm 1$ мм с линиями разметки под углами $0, 15, 30, 45, \dots, 345^\circ$		Угол верхней складки β ; Проекция самой удаленной точки сгиба образца от опорной поверхности A , мм.	- поочередное закрепление образца по различным направлениям позволяет определить анизотропию способности ткани к образованию ниспадающих складок	- необходимы дополнительные затраты времени на подготовку образца материала; - способ является трудоемким.
5	Способ определения драпируемости материалов для одежды Патент RU2409811C1 [39]	Образец в форме круга, соотношение диаметра образца и полусферы составляет 4:1		Коэффициент драпируемости, $K_d, \%$; соотношение осевых линий по основе и по утку, B/A .	- позволяет оценить свойства материалов при опоре на сферическую поверхность, которая имитирует поверхности плечевого, локтевого или коленного сустава; - регистрационно-измерительные действия выполняются с подключением автоматизированных устройств.	- длина стержня фиксированная, и при получении проекций образцов материалов различной жесткости возможно искажение; - при перемещении прибора возможна деформация образца из-за соприкосновения с исследователем; - необходимы дополнительные затраты времени на подготовку образца материала.

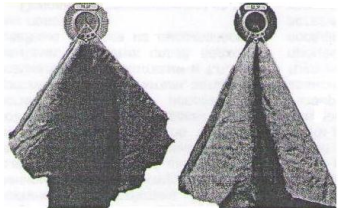
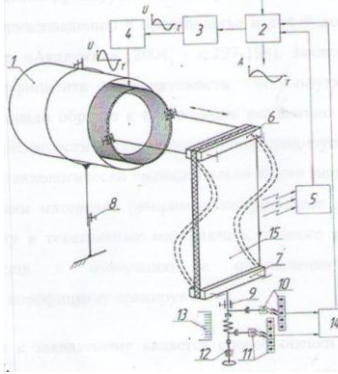
Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6	7
6	Способ определения подвижности структуры и драпируемости текстильных материалов в изделии [40]	Образец в форме круга		Оценивается симметричность боковой проекции слева и справа, отклонение материала от линии каркаса, зависимость ширины низа от его длины, конфигурация складок и изменения в динамике	- приближает условия испытания к условиям эксплуатации одежды (имитирует движения человека при ходьбе, беге); - моделирует различные режимы эксплуатации изделий (ветер, дождь, световое воздействие); - надетые на каркас дополнительные слои пакета изделия приближают условия испытания к реальным условиям эксплуатации одежды.	- способ является трудоемким и сложным в исполнении; - необходимы дополнительные затраты времени на подготовку образца материала.
7	Способ определения анизотропии драпируемости материалов Патент RU2255335C1 [41]	Образец в форме круга с разметкой под различными углами диаметром 400 ± 1 мм		Коэффициент драпируемости, $K_d, \%$; глубина и количество складок в зависимости от направления.	- позволяет прогнозировать драпируемость и, таким образом, обеспечить правильный выбор покроя одежды; - позволяет снизить материалоемкость за счет измерения значений параметров в разных направлениях на одном и том же образце.	- способ не может быть использован для жестких тканей; - необходимы дополнительные затраты времени на подготовку образца материала.

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6	7
8	Способ определения драпируемости текстильных материалов Патент RU211 9667C1 [42]	Образец в форме развертки усеченного конуса, размеченный линиями под углами 15, 30, 45, 60, 75° к продольному направлению. Длина образца $400 \pm 1 \text{ мм}$		Коэффициент драпируемости, $K_d, \%$	- позволяет снизить материалоемкость за счет измерения параметров в разных направлениях на одном образце; - приближает условия испытания к реальным условиям эксплуатации одежды.	- способ является материалоемким; - необходимы дополнительные затраты времени на подготовку образца материала
9	Способ определения драпируемости материалов с помощью прибора МГТ, разработанного в США [43]	Образец в форме прямоугольника размером $117 \times 250 \text{ мм}$		Драпируемость материала оценивается тремя критериями: длиной хорды C , длиной драпируемости H и радиусом кривизны r_n	- при оснащении прибора пантографом можно рассматривать контур нижнего края образца сравнительно с исходным контуром, а также контур на любом уровне по длине образца; - возможно оценивать влияние конструктивных элементов на драпируемость.	- использование липкой ленты несовершенно (возможно отслаивание), следовательно, способ не может дать точных результатов; - необходимы дополнительные затраты времени на подготовку образца материала.
10	Метод оценки драпируемости материалов, предложенный М. Крецу и А. Флоря [44]	Образец в форме квадрата		Угол, который образует свисающий образец. Чем меньший угол образует свисающий образец, тем выше степень драпируемости материала	- метод относят к экспресс-методам, благодаря простоте установки и снятия результатов измерений.	- выражается в относительных характеристиках, что не позволяет применять полученные результаты в целях прогнозирования поведения материала в готовом изделии; - необходимы дополнительные затраты времени на подготовку образца материала.

Окончание таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6	7
11	Неразрушающий метод оценки драпируемости меховых полуфабрикатов [45]	Цельная шкура		Измеряют углы в верхней точке, образующими которых являются проекции сторон шкур. Измерения проводят в продольном и поперечном направлениях	- позволяет объективно оценивать пластические способности мехового полуфабриката; - при исследовании используются цельные шкуры; - позволяет оценить влияние волосяного покрова на драпировочную способность полуфабриката.	- метод предназначен для оценки драпируемости только меховых полуфабрикатов;
12	Способ оценки драпируемости текстильных и кожевенных материалов Патент G01N33/36 [46,47]	Образец эталонного размера		Параметры поперечных колебаний волн, генерирующих по определённому направлению образца	- способ открывает возможность создания компьютерной технологии оценки драпируемости материалов, обеспечивает формирование базы данных на электронных носителях информации	- способ является трудоемким и сложным в исполнении; - необходимы дополнительные затраты времени на подготовку образца материала

Представленные способы определения драпируемости материалов отражают частные случаи, возникающие в процессе формообразования материалов и не учитывают возможные искажения проекций и погрешности измерений, влияющие на точность и объективность получаемых результатов исследований. Одним из направлений снижения величины искажения проекции образца материала в процессе экспериментальных исследований является уменьшение расстояния между срезом образца и сканирующей поверхностью, а также увеличение расстояния до источника освещения.

1.7 Анализ исследований в области моделирования пространственной формы швейных изделий

Первые отечественные исследования в области компьютерного моделирования одежды проведены учеными ЦНИИШП И.С. Зак, О.Д. Марченко, Р.И. Сизовой. Процесс трехмерного моделирования одежды включал разработку базовой конструкции одежды и последующим наложением конструктивно-декоративных элементов с возможностью выбора их из базы данных [48].

Учеными МГУДТ А.И. Мартыновой, Е.Г. Андреевой, И.А. Петросовой разработан способ получения трехмерного объекта сложной формы. Объект состоит из слоев, последовательно сформированных и присоединенных друг к другу в процессе изготовления. Формирование объекта осуществляется путем последовательного нанесения слоев на рабочую форму с предварительным заданием окраски и толщины каждого слоя. Путем удаления слоев контролируют получаемые размеры объекта [49].

В работе Е.В. Лаврис предложена методика проектирования тканых малошовных оболочек, особенностью которой является то, что весь процесс расчета структуры и формы изделия выполняется в трехмерном пространстве без перехода к двумерным разверткам, что обеспечивает точность расчетов и сокращение трудоемкости [50].

В работе М.А. Гусевой разработана математическая модель связи объемной формы системы «пройма - рукав» и развертки изделия на плоскости, за

счет чего проектно-конструкторские работы осуществляются без изготовления промежуточных макетов изделия. Систематизированы массивы информации об управляемых параметрах пространственных и плоских характеристик форм одежды, что позволяет прогнозировать трехмерную форму изделия на основе информации о плоских развертках [51].

В работе Ю.В. Линник изучен механизм формообразования верхнего участка оката рукава швейного изделия и определены его основные формообразующие параметры. Установлено, что объемная форма системы «пройма-рукав» может быть представлена как пространственно-геометрическая модель, состоящая из конечной совокупности элементов, для каждого из которых заданы определенные условия деформации [52].

М.В. Киселевой разработаны математические модели описания вариантов конструктивного решения и объемно-пространственных форм юбок, что позволяет формализовать процесс проектирования и моделирования внешнего вида моделей. Разработан метод параметрического описания пространственной формы юбки, включающий систематизацию формообразующих параметров, расчет и построение изделия в трехмерной среде. Метод позволяет выявить взаимосвязь конструкции модели изделия, характеристик материалов и пространственной формы одежды [53].

В работе Л.О. Гальцовой представлен набор информативных точек, характеризующих геометрию поверхности женской фигуры, и разработана математическая база графических элементов, которые характеризуют форму поперечных сечений и продольных рельефных линий тела человека. На основе теории о кинематических поверхностях и с учетом особенностей поверхности фигуры человека разработана математическая модель фрагментов поверхности плечевого изделия, дающая точную информацию о каждой точке, принадлежащей поверхности изделия [54].

В работах Н.Н. Раздомахина, Е.Я. Сурженко, А.Г. Басуева (СПбГУТД) разработан алгоритм геометрического моделирования точечных и линейных каркасов трехмерных поверхностей фигуры человека и одежды, при этом кон-

струкция модели базируется на алгоритмах взаимосвязи конструктивных точек трехмерной формы одежды и антропометрических точек манекена. Получена математическая модель формообразования поверхности одежды, в которой дуговые измерения фигуры человека используются в качестве контрольных после задания ее объемной поверхности [55, 56].

Под руководством В.Е. Кузьмичева в ИГТА проведены экспериментальные исследования с применением технологии 3D сканирования для выявления особенностей поведения пакетов одежды в трехмерной среде. Проанализировано пространственное изменение формы изделий относительно поверхности фигуры человека в горизонтальной и сагиттальной плоскостях. Предложена математическая модель расчета координат точек для построения контурных линий каркаса изделия, что позволяет прогнозировать форму проектируемой одежды [57, 58].

В работе Д.А.Васильева, А.Е. Гореловой, Е.С. Давыдовой, Н.Л. Корниловой поверхность одежды рассмотрена как объемная форма, которая повторяет поверхность манекена и имеет структуру нерегулярной триангуляционной сети. Плоские шаблоны получены путем поэтапного преобразования триангуляционной сети деталей трехмерной конструкции изделия. Представлены характеристики материалов для оценки соответствия объемной формы детали и ее развертки, а также рекомендации по их измерению [59].

Современные разработки моделирования сложных поверхностей из тканых материалов предложены в работах ученых НГТУ В.Д. Фроловского, Д.В.Фроловского, В.В. Ландовского, И.Е. Ландовской, Е.Г. Павенко [60-63]. Авторами предлагаются подходы компьютерного моделирования как для поверхностей одежды нулевой гауссовой кривизны, так и для поверхностей положительной либо отрицательной гауссовой кривизны. Расчет построения разверток и квазиразверток представлен на основе метода энергетических функций, заключающемся в расчете суммарной энергии (потенциальной и деформации) в каждой точке поверхности. В работе [60] приводятся технологии построения квазиразверток поверхностей способом разбиения их на конструк-

тивные модули, по границам которых проходят линии швов. При этом, если полученный модуль не является развертывающейся поверхностью, то он разбивается на более мелкие элементы, каждый из которых может быть аппроксимирован базовыми развертывающимися поверхностями с заданной точностью. Процесс построения развертки является интерактивным, на каждом этапе конструирования развертки имеется возможность оценить гауссову кривизну каждого элемента поверхности и энергетические затраты на получение плоских разверток всех элементов.

Современные разработки проектирования сложных поверхностей из тканых материалов предлагаются в работах зарубежных авторов. В работах K.Y.Sze, X.H. Liu (Китай) рассматривается подход к изделиям из тканых материалов как к тонкой упругой на изгиб оболочке. Тонкая оболочка рассматривается как упруго-пластическая среда. Для описания срединной поверхности изделия применяются конечно-разностные схемы с учетом упругих и пластических деформаций. Для нахождения параметров изделия в каждой точке применяется интерполяция по четырехточечному шаблону. Расчет координат срединной поверхности изделия в каждой точке проекции изделия на горизонтальную плоскость производится в матричной форме. Расчет ведется в нормированном трехмерном пространстве с естественной метрикой, что позволяет оценить погрешность предлагаемого метода. Представленная методика расчета геометрии изделий иллюстрирована модельными примерами, на которых визуально показан процесс формообразования материалов при заданной геометрии развертки изделия, граничных условиях и входных параметрах изделия [64-67].

Исследователями из Швейцарии N. Magnenat-Thalmann, P. Volino, F. Cordier и др. разработана методология моделирования и анимации одежды для виртуальных персонажей с помощью компьютерной графики, которая основана на построении слоев одежды с учетом взаимодействия их с телом человека. Деформация материалов в одежде определяется их упругими свойствами и может быть измерена с использованием стандартизированных про-

грамм KES, FAST. Визуализация поведения материала основана на моделировании отдельных участков поверхности одежды в зависимости от сил, воздействующих на него и с учетом механических свойств материала [68-70].

Исследователями из Германии В. Thomaszewski, М. Wacker, W. Straber предложено моделировать поведение ткани с помощью метода конечных элементов и с учетом энергии растяжения, сдвига и изгиба. Ткань рассматривается как тонкая гибкая оболочка, при этом геометрия поверхности одежды может быть оценена локально [71].

Американскими исследователями D. Baraff, A. Witkin при моделировании поведения ткани и анимации трехмерных моделей одежды применялся алгоритм модифицированных сопряженных градиентов, который был усовершенствован канадскими учеными U. Ascher, E. Boxerman с помощью неявных методов интегрирования, увеличивающих шаг симуляции материала при заданных ограничениях [72,73]. В работе J.W. Eischen (Северная Каролина) при моделировании поверхности материала применяется метод конечных элементов. Система нелинейных уравнений решается с применением метода Ньютона-Рафсона, при этом действие внешних и внутренних упругих сил распространено не на каждую частицу, а на всю поверхность [74].

Ирландскими учеными D.E. Plea, P.F. Whelan разработан способ адаптивной интеграции цвета и структуры трехмерного виртуального объекта на основе его сегментации, представляющей собой процесс деления цифрового изображения на определенное число пикселей [75].

Британскими учеными A. Taylor, E. Unver, G. Worth при симулировании поведения материала в динамике и одевании виртуальных персонажей предлагается использовать программное обеспечение 3D графики и оцифровывать материал в динамике [76].

Приведенный анализ отечественных и зарубежных исследований свидетельствует об актуальности разработки теоретических основ виртуального представления объемно-пространственной формы одежды. Создание адекватной модели пространственной формы швейного изделия с учетом свойств ма-

териалов требует решения задачи о нахождении формы поверхности одежды аналитическим способом, построении математической модели пространственной формы изделия и ее последующей компьютерной 3D визуализации.

1.8 Современные САПР трехмерного проектирования одежды

В настоящее время под термином САПР понимают процесс автоматизированного проектирования изделий при использовании средств машинной графики, поддерживаемых пакетами программного обеспечения.

В основе автоматизации процесса проектирования швейных изделий лежат различные методики конструирования одежды, определяющие получение плоских разверток изделий и виртуальное представление пространственной формы одежды в трехмерной среде. Для достижения высокого качества посадки проектируемого изделия и соответствия его эскизному и техническому заданию требуется примерка образца изделия с целью определения необходимости внесения корректировок в конструкцию изделия. На отечественных швейных предприятиях оценка качества проектных решений традиционно осуществляется субъективно, что обуславливает необходимость проведения исследования и разработки способов виртуального моделирования внешней формы одежды, а также объективной оценки качества пространственной формы изделий [77].

Ведущие фирмы, которые занимаются разработкой САПР одежды, как в России, так и за рубежом, проводят исследования в области трехмерного проектирования одежды. Стремление специалистов швейного производства к переходу от работы с плоскими развертками деталей одежды к объемному проектированию формы изделия актуализирует научные исследования и разработки в области 3D проектирования одежды.

В современных 3D программах предлагается процесс проектирования трехмерной конструкции изделия с последующей разверткой (развертывающие), а также имеется возможность выполнения виртуальной примерки изделия (одевающие) [78, 79]. Конструирование одежды в САПР осуществляется

как для плечевых так и для поясных изделий, базовые формы которых можно выбрать из базы данных или построить на виртуальном манекене.

К системам, реализующим трехмерную примерку изделия, относятся: СТАПРИМ, Optitex, Investronica, Gerber, Julivi, DressingSim, i-Designer и др. Среди возможностей этих систем – сканирование фигуры человека (DressingSim, Lectra, Symcad), «одевание» разработанных плоских лекал на трехмерный манекен, подбор материалов (Gerber, Optitex, Julivi), оценка посадки изделия (Gerber, Optitex, Julivi, i - Designer), внесение изменений в виртуальный макет и соответствующая корректировка плоских лекал (Julivi, i-Designer) [78].

Особенностью системы СТАПРИМ, разработанной в СПбГУТД является возможность проведения измерений с фотографии заказчика. Трехмерная поверхность торса манекена в программе задается на основе его проекционных измерений. Определены параметры и разработаны модели формообразования поверхности рукава, стана и воротника плечевого изделия. При разработке объемно-силуэтного решения проектируемого изделия конструктор выбирает величины параметров формообразования изделия и производит его визуальную оценку в различных ракурсах. Построение разверток деталей осуществляется автоматически. Внесения модельных особенностей производится на двухмерных деталях. В настоящее время решены проблемы импортирования трехмерных силуэтных конструкций в САПР "Комтенс", "Инвестроника", "Грация" и др. В этих же системах производится разработка лекал проектируемой модели и решаются другие задачи конструкторско-технологической подготовки производства одежды.

Программа Ассоль 3D Параметрика представляет возможность бесконтактно сканировать тело человека и проектировать одежду в трехмерном пространстве, полностью контролируя внешний вид виртуального изделия, посадку на фигуре, и степень облегания изделия. Параметры лекал рассчитываются с помощью интеллектуального алгоритма развертывания трехмерных деталей поверхности одежды на плоскость с учетом свойств ткани. Функция

программы «Параметризация» позволяет сохранять весь процесс построения конструкции изделия и повторять его на фигурах с другими параметрами.

Трехмерный модуль системы Gerber (Япония) позволяет проектировать женский манекен с помощью 88 измерений, при этом поверхность манекена возможно развернуть на плоскости под любым углом и корректировать в трехмерном и двухмерном пространстве. Модуль системы «Gerber APDS-3D» позволяет конструктору осуществлять примерку разработанных лекал на виртуальном манекене, оценивать посадку изделия, моделировать драпировку в изделии, вносить изменения в конструкцию, накладывать текстуру ткани. Лекала, полученные при помощи градации также могут быть проверены на трехмерном манекене соответствующего размера.

К достоинствам программы Julivi следует отнести возможность задания прибавки на толщину пакета одежды, задания параметров механических и оптических свойств тканей. Julivi предоставляет возможность подобрать рисунок ткани, произвести анализ качества модели изделия - баланса изделия, «давления» изделия на манекен в местах соприкосновения. Программа позволяет осуществлять построение линий и изменять размеры виртуального изделия, при этом изменения отображаются в лекалах изделия. Особенностью программы является возможность сканирования величины зазоров между поверхностями изделия и манекена, после чего сохраняется возможность воспроизведения данного изделия на манекене другого размеророста с теми же величинами прибавок.

Система DressingSim отличается широким набором подсистем по трехмерному проектированию одежды, при этом моделирование 3D-манекена происходит в подсистеме Bodiet, позволяющей проводить измерения фигуры. Манекен можно одеть, воспользовавшись базой данных трехмерной одежды, а также оценить посадку одежды в динамике. Для проектирования теней, падающих от ткани, используется прибор Optical Gauging Mechanizm, позволяющий сфотографировать освещаемый образец ткани. В подсистеме «Dressing-Sim TC» экран разделен на две части: на правой стороне проектируются лека-

ла деталей изделия в двумерном пространстве, а на левой – отображаются на трехмерном манекене. Полученные пространственные модели передаются в подсистему «DressingSim EX», где реализуется автоматическая развертка поверхности одежды на плоскость. К возможностям подсистемы также относятся: наложение текстуры материала, просмотр зон растяжения (сжатия), задание свойств используемого материала, прорисовка деталей на трехмерном манекене с их последующей разверткой, преобразования плоских лекал. Подсистема «Digital Fashion Show» позволяет визуализировать модели изделий в динамике, при этом рассматривать модель можно с различных ракурсов.

В состав системы Investronica (Испания) входит широкий набор подсистем автоматизации конструкторских работ. Продукт «Body Garment» представляет инструменты для трехмерного проектирования параметрической модели одежды по меркам заказчика. В соответствии с трехмерной моделью подсистема автоматически генерирует плоские лекала для дальнейшей обработки. Подсистема «V-Stitcher» реализует виртуальную примерку изделия, спроектированного 2D методами. Имеется возможность выбора мужского или женского манекена с соответствующими размерными признаками, а также текстуры ткани.

Система автоматизированного проектирования Symcad является результатом работы французской фирмы «Telmat Industrie» по созданию трехмерной модели поверхности тела человека. Система позволяет отображать на экране точное представление об особенностях телосложения человека, при этом оператор может снять любое измерение с поверхности спроектированного манекена и автоматически построить чертеж конструкции изделия. В системе имеется возможность корректировать построенную конструкцию и использовать ее в качестве основы для проектирования одежды другого покроя. САПР передает конструкцию в подсистему моделирования, что позволяет проектировщику оценить посадку изделия с учетом заложенных складок и фалд как в статике, так и в динамике.

Среди особенностей САПР швейных изделий Optitex (Израиль) необходимо отметить параметрическую подсистему «Modulate», позволяющую аналитически описывать параметры чертежей созданной конструкции изделия. Лекала могут быть разработаны в подсистемах «PDS», «Modulate», введены с дигитайзера или импортированы из других САПР. В качестве манекенов, управляемых через размерные признаки предлагаются фигуры девочек, женщин, мальчиков и мужчин. Модуль «Runway» реализует примерку на трехмерном манекене пакета изделия, при этом будут смоделированы фалды и складки, если они предусмотрены конструкцией изделия. Для ассортимента верхней одежды возможно задавать прибавки на пакет.

Среди достоинств системы САПР i-Designer (Япония) следует отметить возможность проектирования трехмерного манекена в подсистеме «Body order tool», примерки изделия с анализом зон прилегания, просмотра формирования складок, отслеживания на плоских лекалах корректировок, выполненных на трехмерном манекене. Подсистема «f-DFit» позволяет выполнять примерку аксессуаров на трехмерном манекене, а также изменять расцветку ткани.

Необходимо отметить также такие САПР швейных изделий как PAD System (Канада), TUKAtech (США), VetigGraph (Германия), Assyst Bullmer (Германия), NovoCut (Германия) и др., которые позволяют реализовывать построение и корректировку трехмерных моделей швейных изделий.

Стремление специалистов швейного производства к переходу от работы с плоскими развертками деталей одежды к объемному проектированию формы изделия актуализирует научные исследования и разработки в области 3D проектирования одежды. Внедрение систем автоматизированного трехмерного проектирования одежды позволяет повысить качество изготавливаемых швейных изделий за счет возможности виртуальной примерки изделия на манекене и внесения возможных корректировок в конструкцию изделия, снизить материальные затраты на производство изделий, реализовывать быструю сменяемость моделей изделий и таким образом обеспечивать потребности населения в высококачественной одежде.

1.9 Анализ работ по рациональному использованию материалов

При изготовлении одежды в условиях массового производства стоимость основных материалов (ткани, нитки, фурнитура) составляет 90% себестоимости изделия, в которой 95% занимает стоимость тканей [80]. Наибольшая часть потерь возникает при раскрое материалов, снижение расхода материалов на 1 % приводит к снижению себестоимости изделия на 0,84 %. [81,82].

При раскрое материалов сначала выполняют раскладку лекал, представляющую собой рамку, в которой нанесены контуры деталей изделия с учетом технических требований, предъявляемых к расположению лекал на ткани. Экономичность раскладки зависит от многих факторов: вида раскладки, расположения лекал в раскладке, сочетания размеров и ростов в раскладке, формы и размера деталей, ширины и вида поверхности материала. Одним из наиболее существенных факторов, определяющих площадь раскладки, является суммарная площадь всех лекал в этой раскладке. Площадь лекал определяет площадь раскладки на 60-90%, остальные 10-40% приходятся на факторы, обусловленные условиями построения раскладки [82-85]. Так как детали швейных изделий имеют сложную форму, то между ними в раскладке лекал возникают межлекальные выпады, величина которых изменяется в пределах $6\div 20\%$ и рассчитывается по формуле

$$B = \frac{S_p - S_{\text{л}}}{S_p} \cdot 100, \quad (1.7)$$

где S_p – площадь раскладки лекал, м^2 ;

$S_{\text{л}}$ – сумма площадей всех лекал деталей изделия, м^2 .

Снижение расхода материалов за счет площади лекал достигается при использовании способа адаптивного конструирования [86], основанного на уплотнении раскладок за счет конфигурации деталей, определения участков деталей, которые мешают лучшей укладываемости их в раскладке, рационального проектирования форм мелких деталей. Для снижения межлекальных отходов часто используют объединение в раскладке изделий разных фасонов, что обеспечивает снижение межлекальных отходов на 1-5%.

Задача получения плотных раскладок, т. е. размещения фигур на плоскости таким образом, чтобы на произвольно взятой части плоскости отношение площади, покрытой фигурами к площади всей части было бы максимальным, является серьезной математической задачей. Еще в работах И. Ньютона и К. Гаусса положено начало новой ветви математики – дискретной геометрии, которая рассматривает круг вопросов, касающихся наиболее плотного расположения дискретной системы фигур некоторой ограниченной области [87].

К настоящему времени существует значительный опыт в направлении рационального использования материалов при раскрое рулонных и листовых материалов, а также расположения фигур сложной конфигурации [88-94].

В работе В.А. Залгаллера [88] установлен необходимый признак плотного расположения раскладки, который заключается в процедуре построения прямоугольника минимальной площади, описывающего фигуру, и затем оптимального их расположения.

В работе [89] Д.М. Зозулевич решает задачу поиска прямоугольника минимальной площади, описанного около контура или конечного числа контуров, для случая, когда контур состоит из дуг окружностей и отрезков прямых. Задачу решают в несколько этапов: вычисляют координаты граничных точек, строят выпуклую оболочку конечного числа контуров, затем прямоугольник вокруг выпуклой оболочки.

В работе [90] предлагается алгоритм размещения геометрических объектов, заключающийся в раскладке описывающих эти объекты прямоугольников наименьшей площади с последующим сдвигом объектов до плотного расположения друг относительно друга.

Алгоритм оптимального размещения заданного количества комплектов деталей в раскладке минимальной длины приводится в работе [91]. Для упрощения контуров раскладываемых фигур деталей заключают в прямоугольник наименьшей площади, при этом упрощенный контур несложно описать аналитически. Затем размещают прямоугольники (в первую очередь размещают прямоугольники наибольшей площади и наибольшей длины).

В работе [92] представлен алгоритм раскладки деталей сложной конфигурации. Криволинейный контур аппроксимируется многоугольником. Информация о многоугольниках представляет собой множество координат вершин многоугольников. Автор предлагает преобразование координат вершин многоугольника для разных случаев, с помощью которых находятся координаты одного из возможных положений детали и имеющегося контура уже уложенных деталей, затем проводится проверка на пересечение контуров.

В работе [93] решаются задачи оптимального раскроя комплексно: производится расчет размеров заготовок, определяется метод оптимального раскроя, методики расчета норм расхода и т. д. Результатом работы является экономия материала в результате изменения размеров и формы деталей.

Системы автоматизированного проектирования (САПР) раскладок лекал нашли широкое применение на швейных предприятиях. САПР «Раскладка» заметно повышает производительность и качество труда на операциях раскладки лекал, позволяя оператору-раскладчику мобильно манипулировать большим количеством лекал, одновременно с этим снижается трудоемкость. При внедрении САПР сокращение затрат на лекальное хозяйство составляет 75,85%, повышение экономии материала в среднем на 2,3% [94].

Основу процессов САПР раскладок составляют математические методы геометрического проектирования, которые обеспечивают автоматическое выполнение геометрических и технологических ограничений, высокую точность и скорость построения раскладок.

Автоматическая раскладка сложна в ее программной и технической реализации. Ввиду сложности задачи и многовариантности возможных решений технически затруднительно обеспечение всех требований, предъявляемых к рациональным раскладкам. Поэтому автоматизированное проектирование раскладок не гарантирует выполнения всех требований, предъявляемых к раскладкам. Так, например, автоматическая раскладка во многих САПР не обеспечивает совмещения деталей с рисунком ткани, не предусматривает исполь-

зования допустимых отклонений от долевой нити, кромки ткани, не позволяет изменять величину технологического зазора между деталями в раскладке.

Таким образом, анализ литературных источников показал, что в области рационального использования материалов для одежды проводятся значительные работы, основной целью которых является совершенствование выполнения раскладок лекал деталей изделий и нормирование расхода материалов на основе применения аналитических методов, с использованием электронно-вычислительной техники и программного обеспечения.

Выводы по главе 1

1. Создание эксклюзивных моделей одежды, отвечающих требованиям перспективного направления моды, и воспроизведение их в условиях массового производства требуют совершенствования методов проектирования одежды. Поэтому возникает объективная необходимость пересмотра традиционных принципов формообразования одежды и изыскание научно обоснованных, достаточно точных и удобных способов построения разверток деталей одежды, так как от этого существенно зависит расход материалов, эстетические и эксплуатационные свойства изделий.
2. Анализ литературных источников показал, что исследованиями в области проектирования одежды выявлена возможность характеристики тела человека объемными геометрическими формами, но не установлена взаимосвязь между первоначальной формой одежды и пространственной формой, которую она принимает на фигуре человека. Поэтому необходимо исследование этой взаимосвязи с учетом конструктивного решения модели изделия и свойств материалов, используемых при его изготовлении.
3. В результате анализа существующих способов определения драпируемости материалов выявлено, что они отражают частные случаи процесса формообразования материалов и не учитывают возможные искажения проекций образцов и погрешности измерений, влияющие на точность результатов исследований.

4. Анализ отечественных и зарубежных исследований свидетельствует об актуальности разработки теоретических основ виртуального представления объемно-пространственной формы одежды. Создание адекватной модели пространственной формы изделия требует решения задачи о нахождении формы поверхности одежды, построении математической модели пространственной формы изделия и ее последующей компьютерной визуализации.

5. При традиционном раскрое натуральных кожевенных материалов с использованием лекал деталей изделий величина межлекальных отходов, в зависимости от сорта кожи может составлять до 46%, поэтому с целью сокращения сырьевых затрат возможно применять нетрадиционные способы раскроя кож. При проектировании одежды из натуральной кожи для получения объемной формы деталей изделия также необходимо использовать ее пластические свойства с целью достижения художественно-композиционной целостности изделия и рационального использования ценного кожевенного сырья.

6. Из анализа литературных источников следует, что стремление специалистов швейного производства к переходу от работы с плоскими развертками деталей одежды к объемному проектированию формы изделия актуализирует научные исследования и разработки в области 3D проектирования одежды. Внедрение систем автоматизированного трехмерного проектирования одежды позволяет повысить качество изготавливаемых швейных изделий за счет возможности виртуальной примерки изделия на манекене и внесения возможных корректировок в конструкцию изделия, снизить материальные затраты на производство изделий, реализовывать быструю сменяемость моделей изделий и таким образом обеспечивать потребности населения в высококачественной одежде.

5. В области рационального использования материалов специалистами проводятся значительные работы, основной целью которых является совершенствование выполнения раскладок лекал деталей изделий и нормирование расхода материалов на основе применения аналитических методов и с использованием программного обеспечения.

ГЛАВА 2

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНИЧЕСКИХ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ И НАХОЖДЕНИЕ ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОРМЫ АНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

2.1 Проектирование разверток изделий конической формы, ограниченных спиралевидными кривыми

В настоящее время швейные изделия, которые имеют коническую форму, представлены в широком ассортименте: сарафаны, юбки, шляпы и др. Характерным видом изделия, которое можно приближенно описать конической поверхностью, является юбка.

Рассмотрим задачу проектирования юбки в форме прямого кругового усеченного конуса, развертка боковой поверхности которого строится из элементов, ограниченных спиралевидными кривыми (спиралями Архимеда), а также окружностями верхнего и нижнего оснований.

Определим радиус верхнего основания конуса R_t и радиус сечения конуса по линии бедер R_b , используя размерные признаки фигуры человека (при условии, что верхнее основание конуса лежит в плоскости талии) (рис. 2.1)

$$R_t = \frac{O_t + \Pi_t}{2\pi}; \quad (2.1)$$

$$R_b = \frac{O_b + \Pi_b}{2\pi}, \quad (2.2)$$

где O_t – обхват талии, Π_t – прибавка к обхвату талии;

O_b – обхват бедер, Π_b – прибавка к обхвату бедер.

Расстояние от линии талии до линии бедер обозначим h , высоту усеченного конуса H , а образующую боковой поверхности конуса (длина юбки) обозначим L .

$$L = R_p - R_v, \quad (2.3)$$

где R_p – образующая конуса, R_v – образующая верхней части конуса.

Угол наклона образующей конуса к нижнему основанию обозначим β .

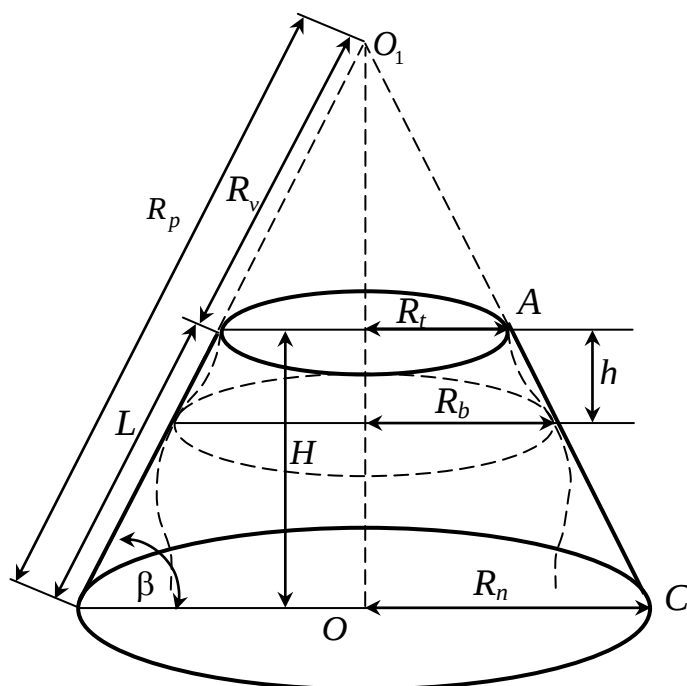


Рисунок 2.1 – Моделирование юбки в форме усеченного конуса

Параметры усеченного конуса связаны с параметрами развертки его боковой поверхности, которую можно получить разрезанием конуса по образующей AC (рис. 2.2).

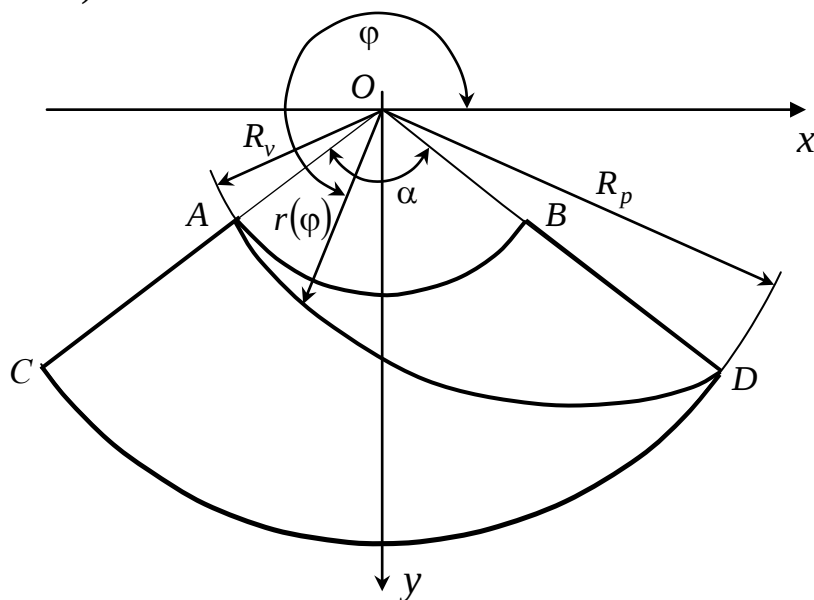


Рисунок 2.2 – Развертка боковой поверхности
прямого кругового усеченного конуса

Из геометрии [95] известны формулы связи между параметрами прямого кругового усеченного конуса и его разверткой. Угол развертки конуса α выражается через угол наклона образующей конуса к плоскости основания β

$$\alpha = 2\pi \cos \beta. \quad (2.4)$$

Высота прямого усеченного конуса определяется по формуле

$$H = (R_n - R_t) \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (2.5)$$

Опишем развертку боковой поверхности усеченного конуса с помощью криволинейных полос, ограниченных дугами окружностей верхнего и нижнего оснований и спиралями Архимеда [95], заданными в полярной системе координат в виде

$$r = a \cdot \varphi + b, \quad (2.6)$$

где r – полярный радиус; φ – полярный угол;

a, b – параметры спирали Архимеда.

Такую развертку усеченного конуса назовем спиральной.

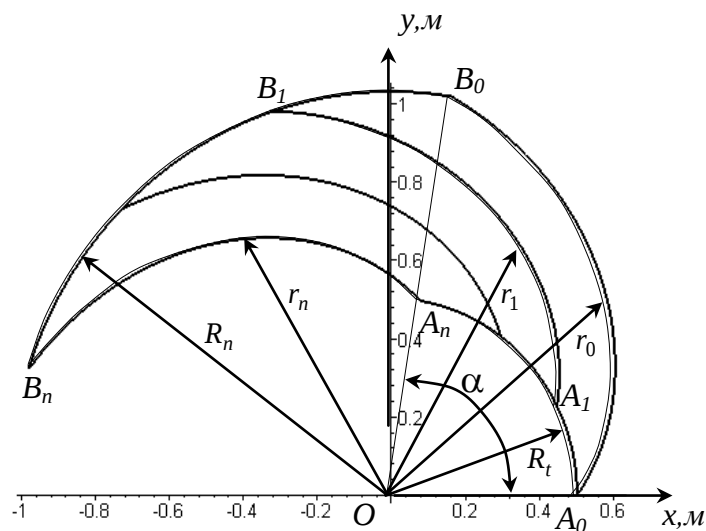


Рисунок 2.3 – Спиральная развертка
усеченного конуса в полярной системе координат

Спиральную развертку боковой поверхности конуса представим в виде совокупности n криволинейных полос, границы которых описываются уравнениями вида

$$r_{k-1} = a_{k-1} \cdot \varphi + b_{k-1}; \quad r_k = a_k \cdot \varphi + b_k, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (2.7)$$

и дугами окружностей радиусов R_v и R_p , которые в полярной системе координат задаются уравнениями

$$r = R_v \quad \text{и} \quad r = R_p \quad (2.8)$$

Найдем значения коэффициентов $a_k, b_k, k = 0, 1, 2, \dots, n$.

При условии, что $k = 0$, $\varphi = 0$ будем полагать, что для кривой

$$r_0 = a_0 \cdot \varphi + b_0 \quad (2.9)$$

выполняется равенство $r = R_v$, то есть в полярной системе координат кривая (2.9) проходит через точку $A_0(0; R_v)$. Подставляя координаты точки A_0 в уравнение (2.9), получим

$$b_0 = R_v; \quad (2.10)$$

Коэффициент a_0 будем определять из условия, что при повороте текущей точки кривой (2.9) на угол α ее расстояние от начала координат будет равно R_p . Иными словами, кривая (2.9) проходит через точку $B_0(\alpha; R_p)$. Подставив координаты точки B_0 в уравнение (2.9), получим

$$R_p = a_0 \cdot \alpha + R_v. \quad (2.11)$$

Из уравнения (2.11) находим значение коэффициента a_0

$$a_0 = \frac{R_p - R_v}{\alpha}. \quad (2.12)$$

Кривая (2.9) в полярной системе координат может быть представлена в виде

$$r_0 = \frac{R_p - R_v}{\alpha} \cdot \varphi + R_v. \quad (2.13)$$

Так как центральный угол развертки равен α , а число полос, ограниченных кривыми (2.7) равно n , то угол, отсекаемый одной полосой от дуги окружности $r = R_v$ будет равен $\frac{\alpha}{n}$, то есть для построения кривой

$$r_1 = a_1 \cdot \varphi + b_1 \quad (2.14)$$

достаточно кривую (2.13) повернуть на угол $\frac{\alpha}{n}$. Из математической литературы [95] известно, что преобразование поворота на угол $\frac{\alpha}{n}$ в полярной системе координат имеет вид

$$r' = r; \varphi' = \varphi - \frac{\alpha}{n}, \quad (2.15)$$

где r', φ' – новые полярные координаты, r, φ – предыдущие координаты.

Уравнение кривой (2.14), полученной поворотом кривой (2.13) на угол $\frac{\alpha}{n}$ имеет вид

$$r_1 = \frac{R_p - R_v}{\alpha} \cdot \left(\varphi - \frac{\alpha}{n} \right) + R_v. \quad (2.16)$$

Формулы (2.13) и (2.16) описывают границы k -й полосы в форме (2.7), при этом, с увеличением полярного угла, правая граница $(k-1)$ -й полосы является левой границей k -й полосы. Следовательно, границы k -й полосы описываются уравнениями

$$r_{k-1} = \frac{R_p - R_v}{\alpha} \cdot \left(\varphi - \frac{\alpha(k-1)}{n} \right) + R_v; r_k = \frac{R_p - R_v}{\alpha} \cdot \left(\varphi - \frac{\alpha k}{n} \right) + R_v, k = 1, 2, \dots, n \quad (2.17)$$

С целью моделирования развертки боковой поверхности конуса в виде (2.17) разработан пакет программ в среде *Maple 9.5* [96]. На рис. 2.4 приведены варианты спиральных разверток боковой поверхности усеченного конуса.

При соединении развертки боковой поверхности конуса спиралевидные полосы совершают p оборотов. На рис. 2.4 а) прямые OA и OK образуют с осью абсцисс угол α , кривая KB совершает на боковой поверхности конуса один полный оборот, т.е. $p = 1$.

На рис. 2.4 б) представлена трехзаходная спиральная развертка боковой поверхности конуса с асимметричным нижним краем. На рис. 2.4 в) представлена четырехзаходная спиральная развертка усеченного конуса, для которой кривая KB при соединении развертки совершит поворот на угол $\alpha/2$, т.е. $p = 1/2$. На рис. 2.4 г) представлена трехзаходная спиральная развертка, для которой кривая KB при ее соединении в усеченный конус совершает поворот на угол $3\alpha/2$, т.е. $p = 3/2$.

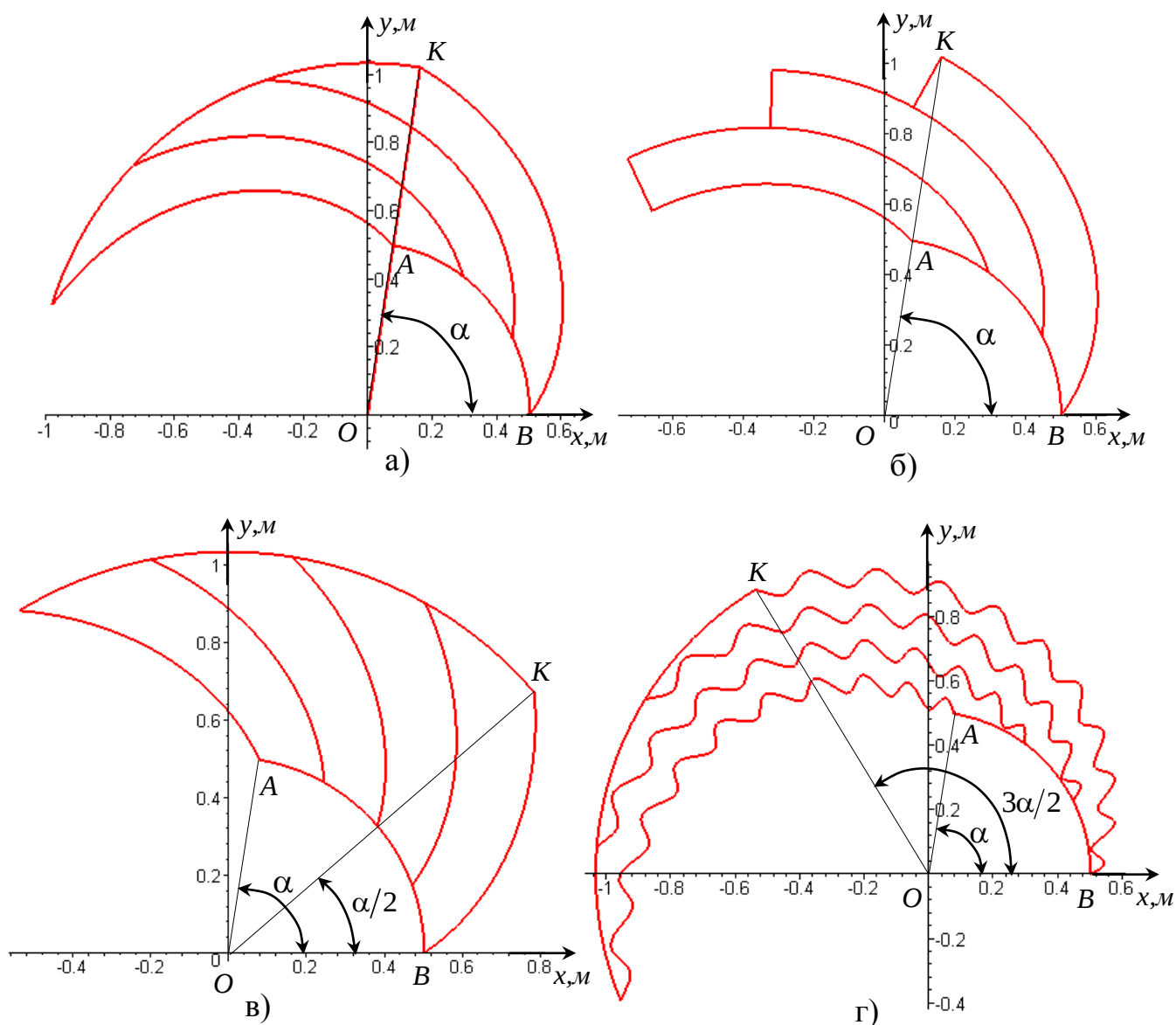


Рисунок 2.4 – Варианты спиральных разверток боковой поверхности усеченного конуса: а) трехзаходная при $p=1$; б) трехзаходная с асимметричным нижним краем при $p=1$; в) четырехзаходная при $p=1/2$; г) трехзаходная, ограниченная синусоидами при $p=3/2$

Границы k -й полосы спиральной развертки описываются следующими уравнениями

$$r_{k-1} = \frac{R_p - R_v}{\alpha \cdot p} \cdot \left(\varphi - \frac{\alpha(k-1)}{n} \right) + R_v; \quad (2.18)$$

$$r_k = \frac{R_p - R_v}{\alpha \cdot p} \cdot \left(\varphi - \frac{\alpha k}{n} \right) + R_v, \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

2.2 Развертка конических изделий в виде одной полосы

Рассмотрим особенности развертки объемной фигуры на примере усеченного конуса, образованного одной полосой, расположенной по спирали. Развертка конуса состоит из совокупности элементов, ограниченных дугами окружностей, при соединении которых образуется одна полоса. Трехмерный график такого конуса, построенный в *Maple 9.5*, представлен на рис. 2.5. [97].

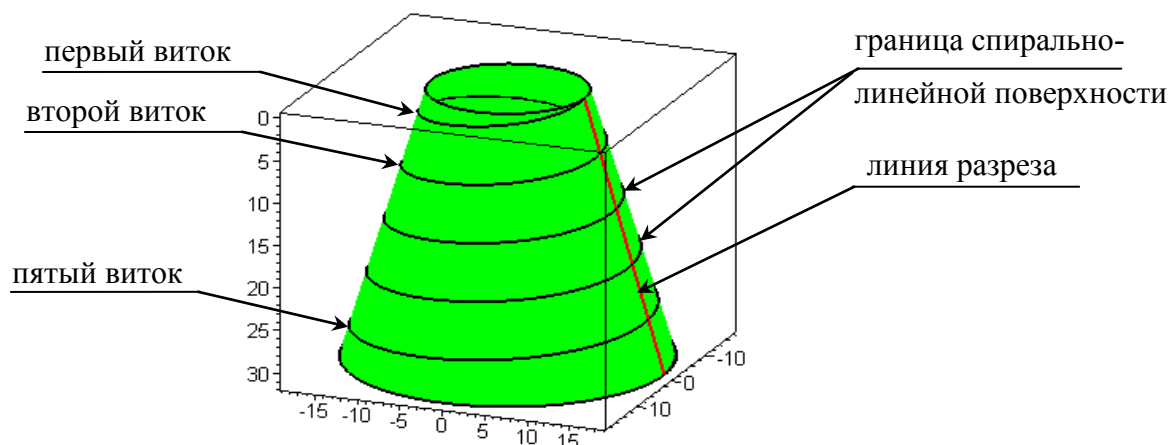


Рисунок 2.5 – Усеченный конус, образованный одной полосой

Развертка конуса представляет собой совокупность спирально-линейных элементов, ограниченных сверху и снизу дугами окружностей, а слева и справа – образующими конуса (рис. 2.6).

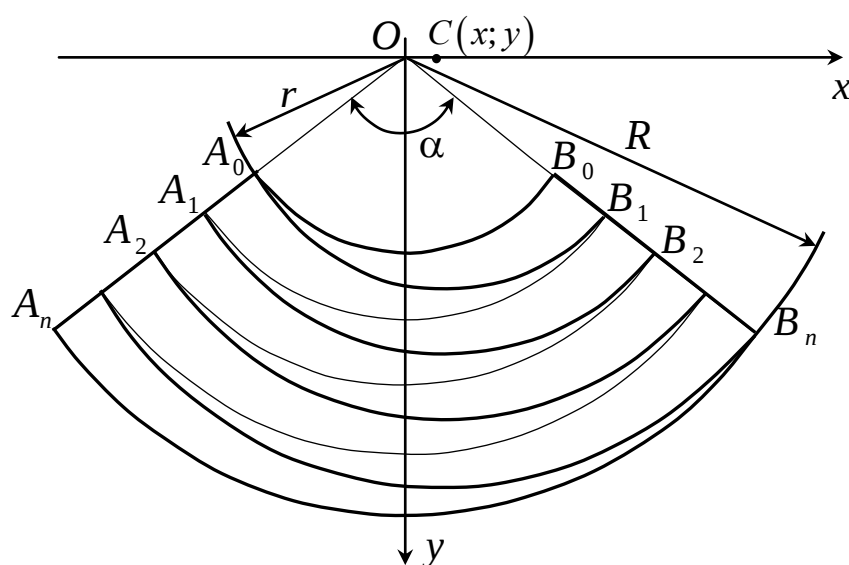


Рисунок 2.6 – Развертка усеченного конуса

Пусть радиус начальной дуги развертки прямого кругового усеченного конуса A_0B_0 равен r (малый радиус развертки), а радиус конечной дуги A_nB_n равен R (большой радиус развертки), угол при вершине развертки конуса обозначим α . Тогда ширина каждой полосы $A_i, B_i, B_{i+1}, A_{i+1}$ будет равна $h = \frac{R-r}{n}$. Так как радиус дуги A_iB_i равен $r + ih, i = 0, 1, \dots, n-1$, то длина дуги A_iB_i будет равна $(r + ih)\alpha$.

Развертку усеченного конуса в виде одной полосы получают разрезанием ее по дугам окружностей A_iB_{i+1} (рис. 2.6) и соединением полученных спирально-линейных элементов, причем участок A_iA_{i+1} соединяется с участком $B_iB_{i+1}, i = 0, 1, \dots, n-1$; точка A_i соединяется с точкой B_i .

В выбранной системе координат (рис. 2.6) угол между образующей OB_n и осью Oy равен $\frac{\alpha}{2}$, а расстояние $OB_i = r + ih$, тогда координаты точек $B_i \left((r + ih)\sin \frac{\alpha}{2}; (r + ih)\cos \frac{\alpha}{2} \right)$, а координаты симметричных относительно оси OY точек $A_i \left(-(r + ih)\sin \frac{\alpha}{2}; (r + ih)\cos \frac{\alpha}{2} \right)$.

Определим координаты центра окружностей A_iB_{i+1} и покажем, что он единственный для всех окружностей. Центр $C(x; y)$ окружностей A_0B_1 и A_1B_2 определим из условий равенства расстояний от точек окружности до центра.

$$A_iC = B_{i+1}C \quad i = 0, 1. \quad (2.19)$$

В координатной форме система имеет вид:

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(x + r \sin \frac{\alpha}{2}\right)^2 + \left(y - r \cos \frac{\alpha}{2}\right)^2} &= \sqrt{\left(x - (r + h) \sin \frac{\alpha}{2}\right)^2 + \left(y - (r + h) \cos \frac{\alpha}{2}\right)^2}; \\ \sqrt{\left(x + (r + h) \sin \frac{\alpha}{2}\right)^2 + \left(y - (r + h) \cos \frac{\alpha}{2}\right)^2} &= \sqrt{\left(x - (r + 2h) \sin \frac{\alpha}{2}\right)^2 + \left(y - (r + 2h) \cos \frac{\alpha}{2}\right)^2}. \end{aligned} \quad (2.20)$$

После упрощений получим

$$\begin{cases} 2(2r+h)\sin\frac{\alpha}{2}\cdot x + 2h\cos\frac{\alpha}{2}\cdot y = h(h+2r); \\ 2(2r+3h)\sin\frac{\alpha}{2}\cdot x + 2h\cos\frac{\alpha}{2}\cdot y = h(3h+2r). \end{cases} \quad (2.21)$$

Решение системы (2.21) единственное и имеет вид:

$$\begin{cases} x = \frac{h}{2\sin\frac{\alpha}{2}}; \\ y = 0, \end{cases} \quad (2.22)$$

соответственно центр окружностей, проходящих через точки $A_i, B_{i+1}, i=0,1$, имеет координаты $C\left(\frac{h}{2}\sin^{-1}\frac{\alpha}{2}; 0\right)$. Аналогично можно показать, что остальные окружности $A_i \overset{\cup}{B}_{i+1}$ имеют такой же центр.

Радиусы окружностей $A_i \overset{\cup}{B}_{i+1}$ равны расстояниям $A_i C = B_{i+1} C$

$$\begin{aligned} r_i = A_i C &= \sqrt{\left(\frac{h}{2\sin\frac{\alpha}{2}} + (r+ih)\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2 + (r+ih)^2 \cos^2\frac{\alpha}{2}} = \\ &= \sqrt{(r+ih)(r+(i+1)h) + \frac{h^2}{2(1-\cos\alpha)}}, \quad i=0,1,\dots,n-1. \end{aligned} \quad (2.23)$$

Представим развертку конуса на плоскости Oxy в виде одной полосы, которая получена путем разрезания развертки по дугам $A_i \overset{\cup}{B}_{i+1}, i=0,1,2,\dots,n-1$ (рис. 2.6). Развертку конуса получим, если правый край $B_0 B_1$ криволинейного треугольного элемента A_0, B_0, B_1 соединим с левой границей $A_0 A_1$ полосы A_0, B_1, B_2, A_1 , участок соединения обозначим $C_0 C_1$. Затем правый край $B_1 B_2$ соединим с левой границей $A_1 A_2$ полосы A_1, B_2, B_3, A_2 , участок соединения обозначим $C_2 C_3$ и т.д. Продолжая этот процесс, на n -м шаге правый край $B_{n-1} B_n$ полосы $A_{n-2}, B_{n-1}, B_n, A_{n-1}$ соединим с левым краем $A_{n-1} A_n$ криволинейного треугольного элемента A_{n-1}, B_n, A_n .

Полученная фигура представлена на рис. 2.7.

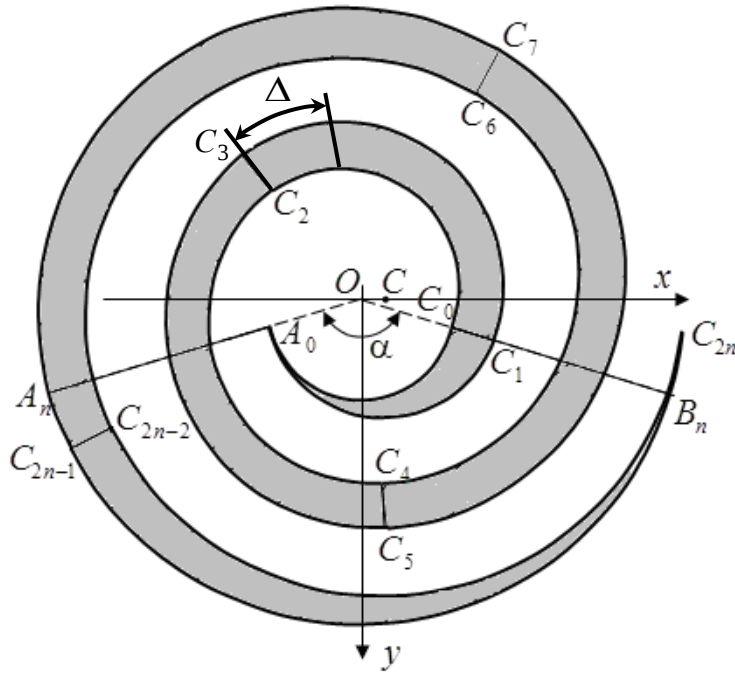


Рисунок 2.7 – Развертка боковой поверхности усеченного конуса в виде одной полосы

Найдем углы, которые отрезки прямых $C_{2i}C_{2i+1}, i=0,1,...,n-1$ образуют с осью Ox . Отрезок прямой C_2C_3 может быть получен из отрезка B_1B_2 , если криволинейную полосу A_0, B_1, B_2, A_1 повернуть на угол α в положительном направлении отсчета (против хода часовой стрелки). При преобразовании «поворот» отрезок B_1B_2 будет лежать на прямой, проходящей через начало координат, следовательно, и прямая, образованная отрезком C_2C_3 , также проходит через точку O . При этом угол, который прямая C_2C_3 образует с прямой B_1B_2 равен α . Учитывая, что прямая B_1B_2 образует с осью Ox угол $\frac{\alpha}{2} - \frac{\pi}{2}$, получим, что угол между прямой C_2C_3 и осью Ox равен $\frac{3\alpha}{2} - \frac{\pi}{2}$.

Аналогично, криволинейная полоса $C_{2i}C_{2i+1}C_{2i+3}C_{2i+2}, i=0,1,...,n-2$ получена из полосы $A_i, B_{i+1}, B_{i+2}, A_{i+1}, i=0,1,...,n-2$ поворотом ее на угол $(i+1)\alpha$, а угол между прямой $C_{2i}C_{2i+1}, i=0,1,...,n-1$ и осью Ox соответственно равен $\frac{\alpha}{2}(2i+1) - \frac{\pi}{2}$.

Рассмотрим задачу нахождения длины полосы развертки усеченного конуса. Можно показать, что углы, образованные дугами $A_i \overset{\cup}{B}_{i+1}$ есть центральные углы $\angle A_i C B_{i+1} = \alpha$. Длину полосы развертки конуса будем понимать как длину границы развертки по ближнему к центру краю, то есть длину дуги кривой $A_0 \overset{\cup}{C}_0 \cup C_0 \overset{\cup}{C}_2 \cup C_2 \overset{\cup}{C}_4 \cup \dots \cup C_{2n-2} \overset{\cup}{C}_{2n}$.

Длина дуги окружности определяется по формуле

$$L = \tilde{R} \cdot \tilde{\alpha}, \quad (2.24)$$

где $\tilde{R}$ – радиус дуги окружности,

$\tilde{\alpha}$ – центральный угол, описанный дугой окружности.

Длина дуги $A_0 \overset{\cup}{C}_0$ равна

$$\partial l \left(A_0 \overset{\cup}{C}_0 \right) = r \cdot \alpha. \quad (2.25)$$

Найдем длину дуги окружности $C_{2i-2} \overset{\cup}{C}_{2i}$

$$\partial l \left(C_{2i-2} \overset{\cup}{C}_{2i} \right) = \alpha \cdot \sqrt{(r+ih)(r+(i+1)h) + \frac{h^2}{2(1-\cos \alpha)}}, i = 0, 1, \dots, n-1. \quad (2.26)$$

Длина всей полосы развертки конуса определяется по формуле

$$\begin{aligned} \partial l \left(A_0 \overset{\cup}{C}_0 \cup C_0 \overset{\cup}{C}_2 \cup C_2 \overset{\cup}{C}_4 \cup \dots \cup C_{2n-2} \overset{\cup}{C}_{2n} \right) = \\ = \alpha \cdot \left(r + \sum_{i=0}^{n-1} \sqrt{(r+ih)(r+(i+1)h) + \frac{h^2}{2(1-\cos \alpha)}} \right). \end{aligned} \quad (2.27)$$

Найдем разность длин между двумя соседними участками соединения развертки конуса, эту разность в дальнейшем будем называть абсолютной деформацией, обозначим ее Δ (рис. 2.7).

Из формул (2.26) и (2.27) следует, что абсолютная деформация между дугами $C_{2i-2} \overset{\cup}{C}_{2i}$ и $C_{2i} \overset{\cup}{C}_{2i+2}$, где $i = 0, 1, \dots, n-1$ будет равна

$$\Delta_i = \alpha \left(\sqrt{(r+ih)(r+(i+1)h) + \frac{h^2}{2(1-\cos \alpha)}} - \sqrt{(r+(i-1)h)(r+ih) + \frac{h^2}{2(1-\cos \alpha)}} \right). \quad (2.28)$$

Определим зависимость абсолютной деформации от угла поворота соответствующей дуги $C_{2i} \overset{\cup}{C}_{2i+2}$. Угол φ_i между прямой $OC_{2i}, i=0,1,\dots,n-1$ и осью Ox равен

$$\angle COC_{2i} = \varphi_i = \frac{\alpha}{2}(2i+1) - \frac{\pi}{2}, i=0,1,\dots,n-1. \quad (2.29)$$

Из зависимости (2.29) находим величину i

$$i = \frac{2\varphi_i + \pi - \alpha}{2\alpha}. \quad (2.30)$$

Таким образом, зависимость абсолютной деформации Δ от угла поворота φ_i определяется по формуле (2.31), где i вычисляется по формуле (2.30).

$$\begin{aligned} \Delta(\varphi_i) = & \sqrt{\left(\alpha r + \left(\varphi_i + \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) h \right) \left(\alpha r + \left(\varphi_i + \frac{\pi}{2} + \frac{\alpha}{2} \right) h \right) + \frac{\alpha^2 h^2}{2(1 - \cos \alpha)}} - \\ & - \sqrt{\left(\alpha r + \left(\varphi_i + \frac{\pi}{2} - \frac{3\alpha}{2} \right) h \right) \left(\alpha r + \left(\varphi_i + \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) h \right) + \frac{\alpha^2 h^2}{2(1 - \cos \alpha)}}. \end{aligned} \quad (2.31)$$

При производстве швейных изделий, с целью рационального использования материалов, представляет интерес формирование "лекал" – развертки боковой поверхности винтового конуса из прямолинейной полосы заданной ширины. В этом случае возникает необходимость деформации этой прямолинейной полосы для получения фигуры, представленной на рис. 2.7. Определим зависимость деформации полосы от номера витка этой полосы на поверхности конуса.

Абсолютная величина деформации i -го витка полосы равна разности длин дуг, являющихся границами этого витка, т.е.

$$\Delta = (r + i h) \alpha - (r + (i-1) h) \alpha = h \alpha. \quad (2.32)$$

Относительная деформация внешней стороны i -го витка полосы определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{(r + i h) \alpha - (r + (i-1) h) \alpha}{(r + (i-1) h) \alpha} = \frac{h}{r + (i-1) h}. \quad (2.33)$$

Зависимости относительной деформации полосы от порядкового номера витка при фиксированных значениях ширины полосы (для юбки на женскую фигуру типового телосложения 164-96-104, при обхвате талии 76 см, т.е. для $r = 12 \text{ см}$) представлены на рис. 2.8.

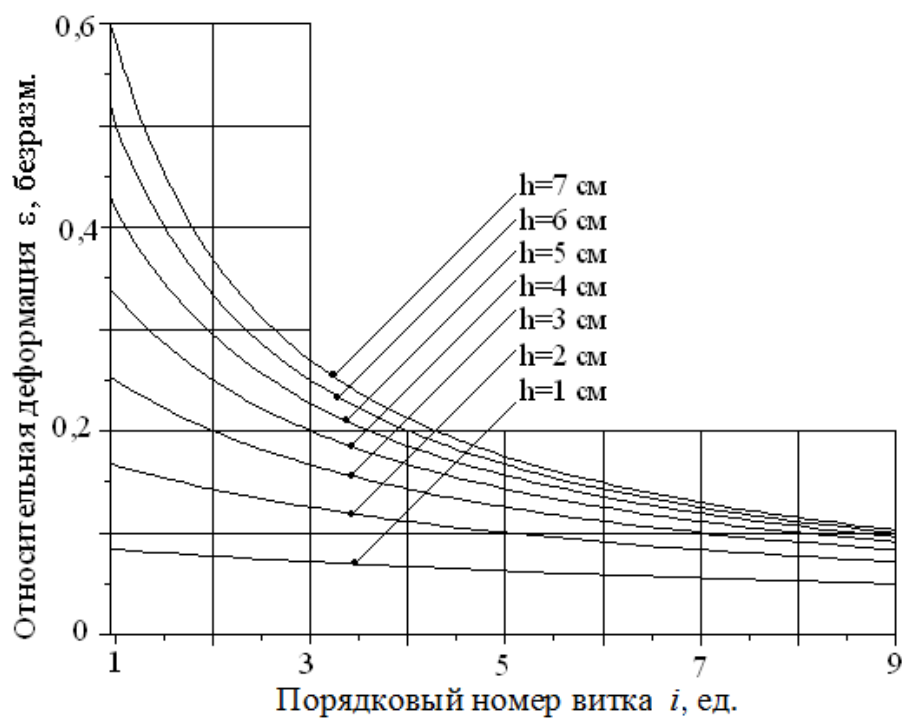


Рисунок 2.8 - Зависимость относительной деформации полосы от порядкового номера витка при фиксированном значении ширины полосы

Зависимости относительной деформации полосы от ее ширины при фиксированных значениях порядкового номера витка представлены на рис. 2.9.

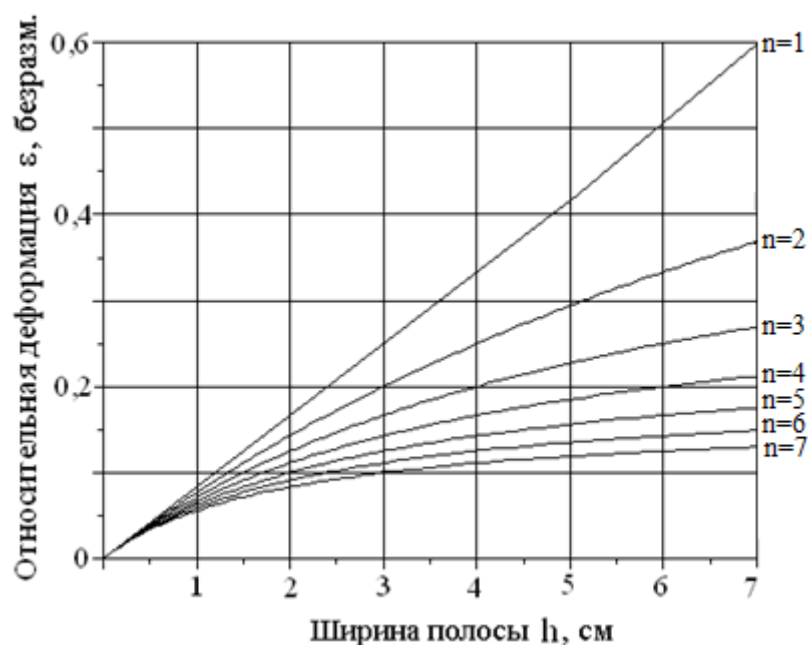


Рисунок 2.9 - Зависимость относительной деформации полосы от ее ширины при фиксированном значении порядкового номера витка

Из графиков, представленных на рис. 2.8 и 2.9 следует, что с ростом ширины полосы возрастает величина ее относительной деформации, при этом с увеличением порядкового номера витка полосы величина относительной деформации полосы уменьшается. Выявленные зависимости позволяют определять диапазон значений деформации и прогнозировать ширину прямолинейной полосы при получении пространственной формы, что особенно актуально для натуральных кожевенных материалов.

Приведем пример расчета параметров поясного изделия (юбки) на женскую фигуру типового телосложения 164-96-104, развертка которой представлена в виде одной полосы.

Исходные данные:

O_t (обхват талии) = 76,0 см; O_b (обхват бедер) = 104,0 см;

H (расстояние от линии талии до линии бедер) = 19,7 см;

h (ширина полосы развертки) = 3,0 см; L (длина изделия) = 72,0 см.

Необходимо найти параметры развертки юбки (угол развертки α , координаты центра C и значения радиусов витков полосы r_i), выполненной в форме конуса, образованного одной полосой.

Все расчеты проводились в среде прикладных программ *Maple 9.5*.

Порядок расчета

- 1) Определяем радиус по линии талии R_t и по линии бедер R_b

$$R_t = \frac{O_t}{2\pi} = \frac{76,0}{2 \cdot 3,14} = 12,1 \text{ см}; \quad R_b = \frac{O_b}{2\pi} = \frac{104,0}{3,14} = 16,6 \text{ см};$$

- 2) Находим угол между образующей прямого кругового конуса и плоскостью его основания β

$$\beta = \arctg \frac{H}{R_b - R_t} = \arctg \frac{19,7}{16,6 - 12,1} = 1,34 \text{ рад}.$$

- 3) Определяем угол развертки α

$$\alpha = 2\pi \cdot \cos \beta = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,22 = 1,38 \text{ рад}.$$

- 4) Определяем малый радиус развертки r

$$r = \frac{R_t}{\cos \beta} = \frac{12,1}{0,22} = 55,0 \text{ см}.$$

5) Определяем большой радиус развертки R и количество витков n

$$R = r + L = 55,0 + 72,0 = 127,0 \text{ см};$$

$$n = \frac{R-r}{h} = \frac{127,0-55,0}{3,0} = 24,0.$$

6) Определяем координаты центра участков полосы C

$$C\left(\frac{h}{2} \sin^{-1} \frac{\alpha}{2}; 0\right) = C(2,34; 0).$$

7) Радиус i -го витка полосы рассчитываем по формуле

$$r_i = \sqrt{(r + ih)(r + (i+1)h) + \frac{h^2}{2(1 - \cos \alpha)}}, \quad i = 0, 1, \dots, n-1$$

Значения радиусов (от точки C) i -ых витков полосы равны

$$r_i = 56,529 + 3 \cdot i, \quad i = 0, 1, \dots, n-1$$

На основе приведенного алгоритма расчета при заданных исходных данных изделия возможно определить параметры развертки и построить модельную конструкцию изделия.

2.3 Математическое моделирование пространственной формы

однослойных швейных изделий конической формы

2.3.1 Понятие тонкой оболочки

Рассмотрим задачу определения пространственной формы поверхности однослойной конической юбки, которая условно изготовлена из гибкого упругого однородного материала, и ее верхний край закреплен по периметру талии (рис. 2.10).

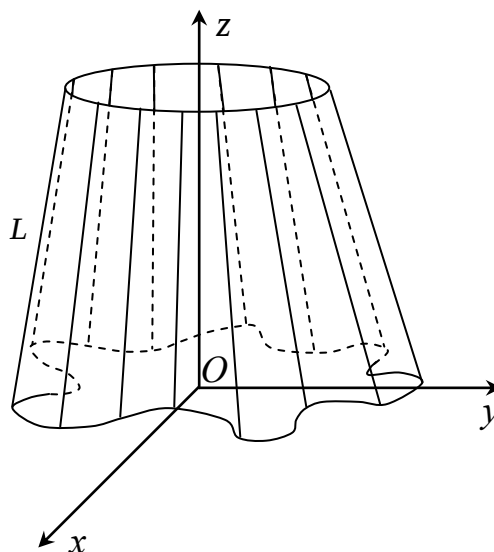


Рисунок 2.10 – Пространственная форма юбки

Пространственная форма изделия определяется из условий фиксации юбки вдоль верхней границы, влиянием сил тяжести и действием сил упругости материала, из которого изготовлена юбка. Первоначально (без влияния сил тяжести) юбка представляет собой оболочку, которая для ее срединной поверхности является прямым круговым усеченным конусом (рис. 2.10).

Рассматриваемая модель юбки может быть описана с помощью понятия тонкой оболочки [98]. Так как толщина материала составляет примерно $h_T = 1 \text{ мм}$, а длина окружности верхнего основания конуса (тали) в среднем равна 70 см , то отношение

$$\delta = \frac{h_T}{2\pi R_t} = \frac{10^{-3}}{0,7} = \frac{1}{700} < \frac{1}{20}, \quad (2.34)$$

то есть выполняется условие моделирования изделия в форме тонкой оболочки [98]. Величиной δ называется относительной погрешностью расчетов без учета толщины изделия, ее значение не превосходит $0,5\%$.

Срединной поверхностью тонкой оболочки называется поверхность, равноудаленная от ее внешних поверхностей. Далее под формой тонкой оболочки будем понимать форму ее срединной поверхности, описывая теоретические исследования с точностью до δ из (2.34).

2.3.2 Моделирование замкнутого элемента тонкой оболочки

Для построения математической модели, описывающей форму изделия, сначала рассмотрим элемент изделия, который представляет собой прямой круговой усеченный конус малой высоты dz (рис. 2.11).

Полученный конус радиусом нижнего основания $R_n > R_t$ (именуемый далее замкнутым элементом тонкой оболочки) с помощью тонких гибких невесомых и нерастяжимых нитей постоянной длины L и с постоянным шагом угла поворота относительно вертикальной оси соединим на установке, которая представляет собой диск, радиус которого равен радиусу талии R_t .

Под действием сил тяжести и с учетом сил упругости материала, из которого изготовлен замкнутый элемент тонкой оболочки, его пространственная форма имеет вид, представленный на рис. 2.11.

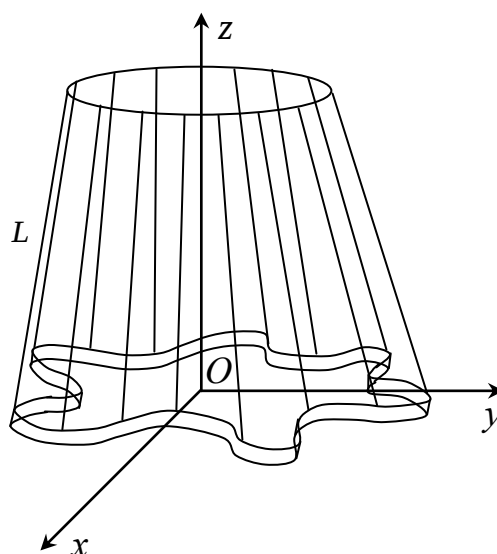


Рисунок 2.11 –Пространственная форма замкнутого элемента тонкой оболочки

Для нахождения формы замкнутого элемента тонкой упругой оболочки определим потенциальную энергию, заключенную в рассматриваемом элементе, если он поднят относительно плоскости Oxy .

Так как замкнутый элемент тонкой оболочки поднят относительно горизонтальной поверхности, то его первоначальная форма изменится под действием силы тяжести. С другой стороны, из-за наличия сил упругости материала деформирование элемента будет происходить до состояния равновесия сил тяжести и сил упругости. Совокупная потенциальная энергия, сосредоточенная в рассматриваемом замкнутом элементе тонкой оболочки, должна быть минимальной согласно принципу минимума потенциальной энергии [99]. Такое состояние изучаемой системы можно описать в виде

$$\Pi_{пол} + \Pi_{изг} \rightarrow \min, \quad (2.35)$$

где $\Pi_{пол}$ – потенциальная энергия положения замкнутого элемента тонкой оболочки;

$\Pi_{изг}$ – потенциальная энергия изгиба элемента.

Рассмотрим бесконечно малый участок замкнутого элемента тонкой оболочки, ограниченный элементом угла $d\varphi$, текущий радиус которого в полярной системе координат, совмещенной с плоскостью Oxy , равен $r(\varphi)$, соответственно расстояние KN равно $r(\varphi) - R_t$ (рис. 2.12).

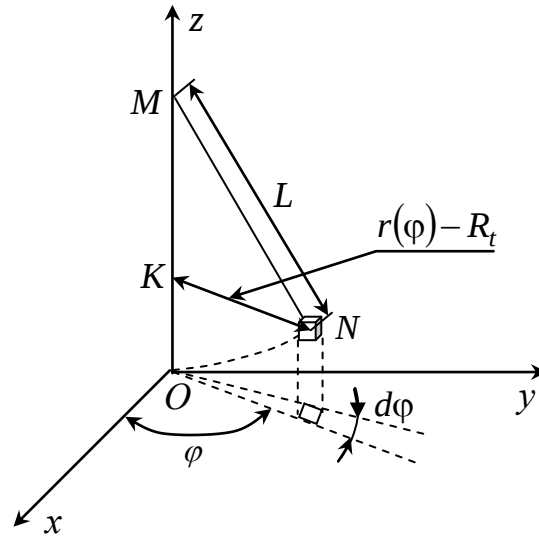


Рисунок 2.12 – К нахождению потенциальной энергии малого участка замкнутого элемента тонкой оболочки

Найдем высоту, на которую малый участок замкнутого элемента тонкой оболочки поднят относительно горизонтальной плоскости. Для этого поднимем диск, который имитирует границу талии на высоту OM , координаты точки M равны $M(0;0;L)$ (рис. 2.12). Так как $KN = r(\varphi) - R_t$, $MK = \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2}$, то высота, на которую поднят малый участок замкнутого элемента тонкой оболочки равна $OK = L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2}$.

Потенциальная энергия положения замкнутого элемента тонкой оболочки определяется по формуле

$$\Delta\Pi_{пол} = \Delta m \cdot g \cdot h = \rho \cdot \frac{dz}{\cos \beta} \cdot d\varphi \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right), \quad (2.36)$$

где Δm – масса малого участка замкнутого элемента тонкой оболочки, g ;

g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

h – высота, на которую поднят малый участок, m ;

ρ – поверхностная плотность элемента тонкой оболочки, g/m^2 ;

Соответственно потенциальная энергия положения замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом силы тяжести будет равна [98]

$$\Pi_{нол} = \int \Delta \Pi_{нол} = \frac{\rho \cdot g \cdot dz}{\cos \beta} \int_0^{2\pi} \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) d\varphi. \quad (2.37)$$

Для нахождения потенциальной энергии изгиба малого участка замкнутого элемента тонкой оболочки будем полагать, что силы упругости, распределенные вдоль замкнутого элемента, удовлетворяют закону Гука [100]. Соответственно сила, действующая на малый участок замкнутого элемента тонкой оболочки высотой dz равна

$$F_{уп} = E \frac{dz}{\cos \beta} \cdot (r(\varphi) - R_t), \quad (2.38)$$

здесь E – модуль упругости материала, который определяется по формуле

$$E = \frac{B}{I}, \quad (2.39)$$

где B – жесткость материала элемента;

I – центральный момент инерции для замкнутого элемента.

В этом случае потенциальная энергия изгиба малого участка замкнутого элемента определяется по формуле

$$\Delta \Pi_{изг} = E \frac{dz}{2 \cos \beta} \cdot (R_t - r(\varphi))^2 d\varphi, \quad (2.40)$$

Потенциальная энергия изгиба замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом сил упругости равна

$$\Pi_{изг} = \int \Delta \Pi_{изг} = E \frac{dz}{2 \cos \beta} \cdot \int_0^{2\pi} (R_t - r(\varphi))^2 d\varphi. \quad (2.41)$$

Исходя из принципа минимума потенциальной энергии, получим вариационную задачу минимизации функционала

$$\rho \cdot g \cdot \int_0^{2\pi} \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) d\varphi + \frac{B}{2I} \cdot \int_0^{2\pi} (R_t - r(\varphi))^2 d\varphi \rightarrow \min. \quad (2.42)$$

Оптимизационную задачу минимизации функционала (2.42) необходимо решать при условии постоянства длины замкнутого элемента тонкой оболочки, которая равна $2\pi R$ или

$$\int_0^{2\pi} \sqrt{r^2(\varphi) + \left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2} d\varphi = 2\pi R. \quad (2.43)$$

Согласно методу решения вариационных задач [101], чтобы найти условный экстремум функционала (2.42) с интегральным уравнением связи в форме (2.43), составим функцию Лагранжа

$$F = \rho \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r(\varphi))^2 - \lambda \sqrt{r^2(\varphi) + \left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2}, \quad (2.44)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Для функции (2.44) найдем безусловный экстремум. Функция Лагранжа не зависит от полярного угла φ , т.е.

$$F = F\left(r, \frac{dr}{d\varphi}\right), \quad (2.45)$$

соответственно уравнение Эйлера для функции (2.45) допускает первый интеграл в форме

$$F\left(r, \frac{dr}{d\varphi}\right) - \frac{dr}{d\varphi} \cdot \frac{\partial F\left(r, \frac{dr}{d\varphi}\right)}{\partial r'} = C_1, \quad (2.46)$$

где $r' = \frac{dr}{d\varphi}$, C_1 – произвольная постоянная.

Из формулы (2.44) найдем частную производную

$$\frac{\partial F\left(r, \frac{dr}{d\varphi}\right)}{\partial r'} = - \frac{\lambda \cdot \frac{dr}{d\varphi}}{\sqrt{r^2(\varphi) + \left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2}}. \quad (2.47)$$

Подставим функции (2.44) и (2.47) в уравнение (2.46), после упрощений получим

$$\rho \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r(\varphi))^2 - \lambda \frac{r^2(\varphi)}{\sqrt{r^2(\varphi) + \left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2}} = C_1. \quad (2.48)$$

Уравнение (2.48) является обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка относительно неизвестной функции $r = r(\varphi)$ и в явном виде не содержит переменную φ .

Решим уравнение (2.48) методом разделения переменных, для этого представим уравнение (2.48) в форме

$$\rho \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r(\varphi))^2 - C_1 = \frac{\lambda \cdot r^2(\varphi)}{\sqrt{r^2(\varphi) + \left(\frac{dr}{d\varphi} \right)^2}}. \quad (2.49)$$

Из уравнения (2.49) выразим $\frac{dr}{d\varphi}$. Для этого (2.49) представим в виде

$$r^2 + \left(\frac{dr}{d\varphi} \right)^2 = \frac{\lambda^2 \cdot r^4}{\left[\rho \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2} \right) + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right]^2}. \quad (2.50)$$

Из (2.50), выразив $\left(\frac{dr}{d\varphi} \right)^2$, после упрощений получим

$$\frac{dr}{d\varphi} = \pm \frac{r \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot r^2 - \left[\rho \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2} \right) + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right]^2}}{\left[\rho \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2} \right) + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right]}. \quad (2.51)$$

Разделим переменные в (2.51) и возьмем интеграл от обеих частей

$$\int \frac{\left[\rho \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2} \right) + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right] dr}{r \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot r^2 - \left[\rho \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2} \right) + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right]^2}} = \pm \varphi + C_2. \quad (2.52)$$

Опишем граничные условия вариационной задачи (2.42), (2.43).

Пусть поверхностная плотность замкнутого элемента тонкой оболочки стремится к нулю, но при этом элемент обладает упругими свойствами. Из-за отсутствия сил тяжести элемент будет располагаться в первоначальной форме прямого кругового усеченного конуса радиусом R . При этом производная $\frac{dr}{d\varphi}$ будет стремиться к нулю, соответственно числитель правой части дифференциального уравнения (2.51) стремится к нулю

$$\lim_{r \rightarrow R} \left(\lambda^2 \cdot r^2 - \left[\rho \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2} \right) + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right]^2 \right) = 0 \quad (2.53)$$

Перейдем в равенстве (2.53) к пределу, учитывая, что $\rho \rightarrow 0$

$$\lambda^2 \cdot r^2 - C_1^2 = 0 \quad (2.54)$$

Из (2.54) при $\rho \rightarrow 0$ и $r \rightarrow R$ следуют граничные условия задачи

$$C_1 = \pm \lambda \cdot R. \quad (2.55)$$

С другой стороны, предположим, что модуль упругости элемента тонкой оболочки стремится к нулю, $E \rightarrow 0$, тогда из-за отсутствия сил упругости, полярный радиус тонкой оболочки под действием сил тяжести будет стремиться к радиусу талии, т.е. $r \rightarrow R_t$. Тогда из уравнения (2.51) получим

$$\frac{dr}{d\phi} = \pm \frac{R_t \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot R_t^2 - C_1^2}}{C_1}. \quad (2.56)$$

Из физики процесса изгибания тонкой оболочки следует, что наибольшие по модулю значения производная $\frac{dr}{d\phi}$ принимает при наибольшем сжатии тонкой оболочки, т.е. при $E \rightarrow 0$ и $r \rightarrow R_t$. Таким образом, можно сказать, что для любого замкнутого элемента оболочки имеет место неравенство

$$\left| \frac{dr}{d\phi} \right| \leq \frac{R_t \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot R_t^2 - C_1^2}}{|C_1|}, \quad (2.57)$$

где C_1 – предельное значение при $E \rightarrow 0$ и $r \rightarrow R_t$.

2.3.3 Приближенное решение вариационной задачи

Интеграл в левой части (2.52) в квадратурах не берется. В этом легко убедиться, воспользовавшись пакетами прикладных математических программ *Maple*, *Matlab*, *Mathcad* или какими-либо другими современными пакетами. В справочной литературе [95, 101-103] интеграл вида (2.52) также не встречается.

Найдем интеграл (2.52) приближенным аналитическим методом. Для этого аппроксимируем функцию

$$\mu(r) = L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2} \quad (2.58)$$

Коническая поверхность юбки имеет малый угол между образующей срединной поверхности и вертикальной осью OO_1 (рис. 2.12). Соответственно, можно утверждать, что величина

$$0 < r - R_t < R - R_t < \frac{L}{3} \quad (2.59)$$

При условии выполнения неравенства (2.59) находим следующую аппроксимацию для функции (2.58)

$$\mu(r) = L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2} \approx \frac{(r - R_t)^2}{L \cdot 1,955} \quad (2.60)$$

Продemonстрируем качество аппроксимации в виде (2.60) с помощью математического пакета прикладных программ *Maple 9.5*. Для этого выполним команду на построение трехмерного графика, описывающего рассогласование Q между функциями $L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2}$ и $\frac{(r - R_t)^2}{L \cdot 1,955}$ (рис. 2.13) в достаточном для практики диапазоне значений по переменным

$$(r - R_t): 0 \div 9 \text{ см} \text{ и } L: 3(r - R_t) \div 40 \text{ см}. \quad (2.61)$$

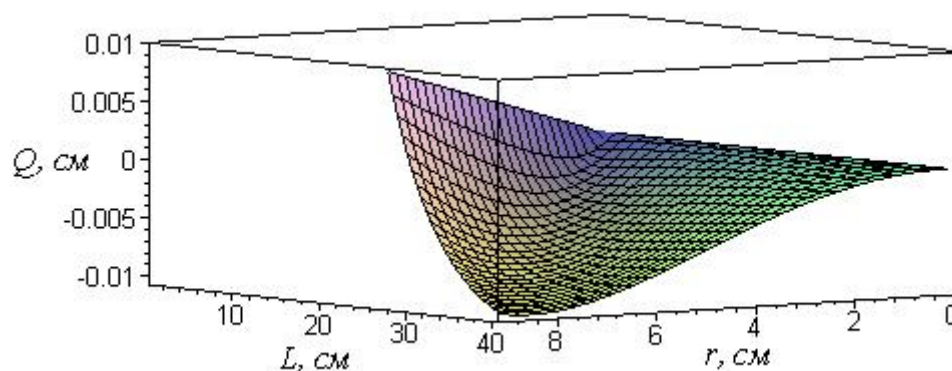


Рисунок 2.13 – Демонстрация рассогласования аппроксимации в форме (2.60) с помощью трехмерного графика

Из рис. 2.13 видно, что абсолютная погрешность аппроксимации в области, удовлетворяющей неравенствам (2.61), не превышает 0,1 мм, что является достаточным для практики.

Таким образом, в интеграле (2.52) функцию $\mu(r)$ заменим на ее аппроксимацию (2.60). В результате получим интеграл

$$\int \frac{\left[\rho \cdot g \cdot \frac{(r - R_t)^2}{L \cdot 1,955} + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right] dr}{r \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot r^2 - \left[\rho \cdot g \cdot \frac{(r - R_t)^2}{L \cdot 1,955} + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right]^2}}. \quad (2.62)$$

Для удобства последующего решения задачи выполним обозначение

$$\frac{\rho \cdot g}{L \cdot 1,955} = K, \quad (2.63)$$

тогда интеграл (2.62) примет вид

$$I = \int \frac{\left(K \cdot (r - R_t)^2 + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right) dr}{r \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot r^2 - \left(K \cdot (r - R_t)^2 + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right)^2}}. \quad (2.64)$$

Аналогично рассуждениям пункта 2.3.1, можно показать, что для описания формы замкнутого элемента тонкой оболочки достаточно описать форму срединной кривой (по толщине ткани и по высоте элемента).

Из физической постановки задачи о нахождении формы замкнутого элемента тонкой оболочки следует, что срединная кривая, описывающая его форму, есть гладкая 2π периодическая функция. Соответственно, решение вариационной задачи (2.42), (2.43) есть гладкая 2π периодическая кривая. Как известно из математической литературы [104], аппроксимация 2π периодических кривых реализуется с помощью отрезков ряда Фурье. В качестве первого приближения решения вариационной задачи (2.42), (2.43) рассмотрим аппроксимационное решение в форме

$$r(\varphi) = r_c + q \cdot \sin(\omega\varphi), \quad (2.65)$$

где r_c – средний радиус замкнутого элемента тонкой оболочки в поле сил тяжести;

q – амплитуда изменения полярного радиуса $r(\varphi)$;

ω – частота колебаний полярного радиуса (число складок).

Из условий 2π периодичности кривой (2.65) и из физического смысла задачи следует, что частота ω есть натуральное число.

Для нахождения неизвестных параметров вариационной задачи C_1, C_2, λ , а также неизвестных параметров r_c, q, ω функции (2.65) в уравнении (2.51) выполним замену переменных (2.65). В результате получим

$$\frac{r \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot r^2 - \left[\rho \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2} \right) + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right]^2}}{\left[\rho \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2} \right) + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right] \cdot q\omega \cos(\omega\phi)} = \pm 1, \quad (2.66)$$

где r определяется по формуле (2.65).

Для упрощения зависимости (2.66) воспользуемся аппроксимацией в форме (2.60) и, учитывая (2.63), имеем

$$\frac{\left(K(r_c + q \sin(\omega\phi) - R_t)^2 + \frac{B}{2I} (R_t - r_c - q \sin(\omega\phi))^2 - C_1 \right) \frac{q\omega \cos(\omega\phi)}{(r_c + q \sin \omega\phi)}}{\sqrt{\lambda^2 (r_c + q \sin \omega\phi)^2 - \left(K(r_c + q \sin \omega\phi - R_t)^2 + \frac{B}{2I} (R_t - r_c - q \sin \omega\phi)^2 - C_1 \right)^2}} = \pm 1. \quad (2.67)$$

Равенство (2.67) должно иметь место при всех значениях угла ϕ . Обращая в уравнении (2.67) угол ϕ в ноль, получим:

$$\frac{\left(K \cdot (r_c - R_t)^2 + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r_c)^2 - C_1 \right) q\omega}{r_c \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot r_c^2 - \left(K \cdot (r_c - R_t)^2 + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r_c)^2 - C_1 \right)^2}} = 1. \quad (2.68)$$

Обозначая в уравнении (2.68) выражение

$$K \cdot (r_c - R_t)^2 + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r_c)^2 - C_1 = M, \quad (2.69)$$

получим уравнение

$$q\omega M = \pm r_c \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot r_c^2 - M^2}, \quad (2.70)$$

отсюда

$$M = \pm \frac{\lambda r_c^2}{\sqrt{r_c^2 + q^2 \omega^2}}. \quad (2.71)$$

Выполняя в уравнении (2.71) обратную замену из (2.69), получим:

$$K \cdot (r_c - R_t)^2 + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r_c)^2 - C_1 = \pm \frac{\lambda r_c^2}{\sqrt{r_c^2 + q^2 \omega^2}}. \quad (2.72)$$

Из уравнения (2.72) найдем выражение для постоянной C_1

$$C_1 = K \cdot (r_c - R_t)^2 + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r_c)^2 \mp \frac{\lambda r_c^2}{\sqrt{r_c^2 + q^2 \omega^2}}. \quad (2.73)$$

Найдем значение параметра λ . Для этого равенство (2.67) представим в виде

$$\begin{aligned} & \left(K \cdot (r(\varphi) - R_t)^2 + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r(\varphi))^2 - C_1 \right) \frac{\partial r(\varphi)}{\partial \varphi} - \\ & - r(\varphi) \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot r^2(\varphi) - \left(K \cdot (r(\varphi) - R_t)^2 + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r(\varphi))^2 - C_1 \right)^2} = 0, \end{aligned} \quad (2.74)$$

где $r(\varphi)$ определяется по формуле (2.65).

Продифференцируем уравнение (2.74) по переменной φ . Результат дифференцирования запишем с учетом формулы (2.72)

$$\begin{aligned} & \left(2K \cdot (r(\varphi) - R_t) - \frac{B}{I} \cdot (R_t - r(\varphi)) \right) \left(\frac{\partial r(\varphi)}{\partial \varphi} \right)^2 + M \frac{\partial^2 r(\varphi)}{(\partial \varphi)^2} - \frac{\partial r(\varphi)}{\partial \varphi} \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot r^2(\varphi) - M^2} - \\ & - \frac{\partial r(\varphi)}{\partial \varphi} \cdot \frac{r(\varphi) \left(\lambda^2 r(\varphi) - M \left(2K \cdot (r(\varphi) - R_t) - \frac{B}{I} \cdot (R_t - r(\varphi)) \right) \right)}{\sqrt{\lambda^2 \cdot r^2(\varphi) - M^2}} = 0. \end{aligned} \quad (2.75)$$

Найдем значение выражения в левой части уравнения (2.75) при $\varphi = 0$. Для этого вычислим производные в ноль функции $r(\varphi)$ из (2.72)

$$r(0) = r_c; \quad \frac{\partial r(0)}{\partial \varphi} = q\omega; \quad \frac{\partial^2 r(0)}{(\partial \varphi)^2} = 0. \quad (2.76)$$

Учитывая равенства (2.76) и выражение для M из (2.71), после упрощений получим следующее уравнение

$$\begin{aligned} & q^2 \omega^2 \left(2K(r_c - R_t) - \frac{B}{I}(R_t - r_c) \right) - q^2 \omega^2 \frac{\lambda r_c}{\sqrt{r_c^2 + q^2 \omega^2}} - \\ & - \sqrt{r_c^2 + q^2 \omega^2} \left(\lambda r_c - \left(2K(r_c - R_t) - \frac{B}{I}(R_t - r_c) \right) \frac{r_c^2}{\sqrt{r_c^2 + q^2 \omega^2}} \right) = 0. \end{aligned} \quad (2.77)$$

Из уравнения (2.77) находим значение параметра λ

$$\lambda = \frac{\left(2K(r_c - R_t) - \frac{B}{I}(R_t - r_c) \right) \cdot (r_c^2 + q^2 \omega^2)^{\frac{3}{2}}}{r_c \cdot (r_c^2 + 2q^2 \omega^2)}. \quad (2.78)$$

С учетом (2.78) выражение для C_1 примет вид

$$C_1 = K \cdot (r_c - R_t)^2 + \frac{B}{2I} \cdot (R_t - r_c)^2 - \frac{r_c \left(2K(r_c - R_t) - \frac{B}{I}(R_t - r_c) \right) \cdot (r_c^2 + q^2 \omega^2)}{(r_c^2 + 2q^2 \omega^2)}. \quad (2.79)$$

Таким образом, неизвестные значения произвольной постоянной C_1 и параметра λ определяются по формулам (2.78), (2.79).

Как определяются параметры r_c, q и ω , покажем на конкретном примере. Пусть для замкнутого элемента тонкой оболочки имеют место следующие значения входных параметров модели:

$$\begin{aligned} K &= 0,0828 \frac{H}{m^2}; B = 95 \text{ мкН} \cdot m^2; R = 0,23 m; \\ R_t &= 0,13 m; L = 0,525 m; h = 0,002 m. \end{aligned} \quad (2.80)$$

По формулам (2.78), (2.79) вычисляем значения λ и C_1

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{10^{-3} (8r_1 - 0,98) \cdot (r_1^2 + q_1^2 \omega_1^2)^{\frac{3}{2}}}{r_1 \cdot (r_1^2 + 2q_1^2 \omega_1^2)}, \\ C_1 &= 10^{-3} \left[3 \cdot (r_c - 0,11)^2 + (0,16 - r_c)^2 - \frac{r_c \cdot (8 \cdot r_c - 0,98) \cdot (r_c^2 + q^2 \omega^2)^{\frac{3}{2}}}{(r_c^2 + 2q^2 \omega^2)} \right]. \end{aligned} \quad (2.81)$$

Используя входные параметры модели (2.80) и значения параметров λ и C_1 , методами математического моделирования определяем значения параметров модели на выходе

$$r_c = 0,83 \cdot R = 0,1918; q = \frac{R}{7,75} = 0,0429; \omega = 5. \quad (2.82)$$

Идея определения параметров r_c, q и ω состоит в следующем: если бы функция в форме (2.65) в точности определяла бы решение вариационной задачи (2.42), (2.43), то равенство (2.67) выполнялось бы тождественно по φ . А так как решение в виде (2.65) является приближенным, то его левая часть в равенстве (2.67) лишь приближенно равна единице. При входных данных (2.80) и значениях λ, C_1 , полученных из (2.81), а также для параметров выхода в форме (2.82) с помощью пакета *Maple 9.5* выполнена графическая визуализация рассогласования левой и правой частей в равенстве (2.67), которая показана на рис. 2.14.

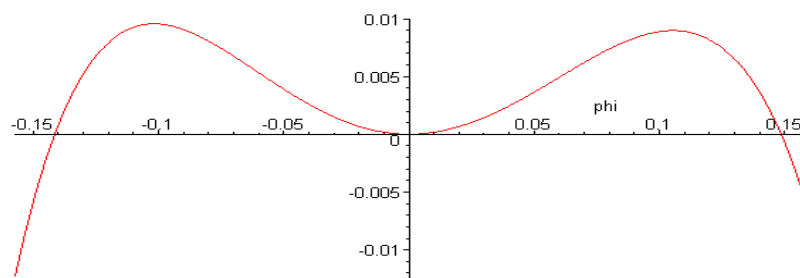


Рисунок 2.14 – Визуализация рассогласования левой и правой частей в равенстве (2.67) при подстановке приближенного решения

Таким образом, величины (2.82) определяют приближенные значения параметров срединной кривой, описывающей форму замкнутого элемента тонкой оболочки, которая поднята над горизонтальной плоскостью и находится в поле сил тяжести и упругости. Визуализация кривой замкнутого элемента тонкой оболочки, первоначальной кривой элемента и окружности диска представлена на рис. 2.15.

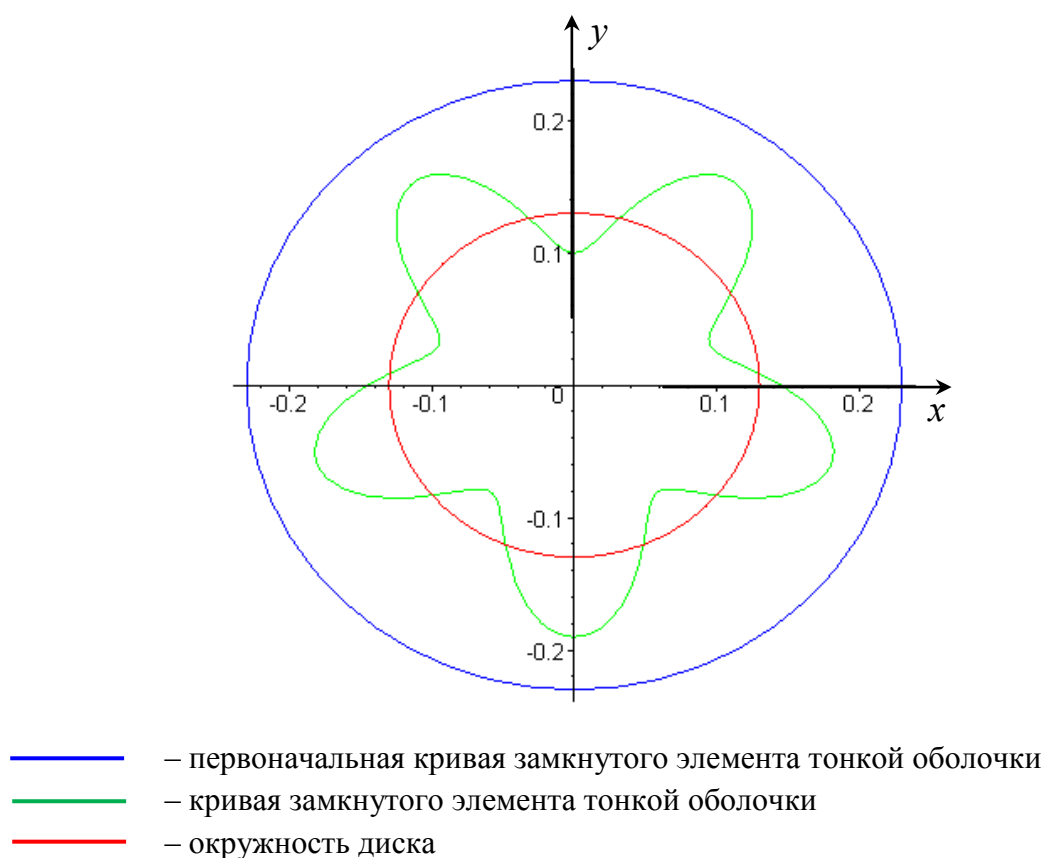


Рисунок 2.15 – Визуализация кривой замкнутого элемента тонкой оболочки, первоначальной кривой элемента и окружности диска

2.3.4 Построение срединной поверхности изделия конической формы

Пусть тонкая упругая оболочка (юбка) зафиксирована на горизонтальном стенде по линии талии (рис. 2.10) и находится в поле сил тяжести. Для построения приближенной формы тонкой оболочки воспользуемся подобием формы каждого из замкнутых элементов оболочки, на которые ее можно разбить в направлении вертикальной оси. При этом будем полагать, что каждый из элементов разбиения имеет форму, которая описывается зависимостью (2.65) и каждый элемент разбиения (его срединная кривая) в начальном состоянии (без влияния сил тяжести) будет иметь радиус R , величина которого пропорциональна расстоянию h_R плоскости элемента в начальном состоянии от плоскости талии (рис. 2.16).

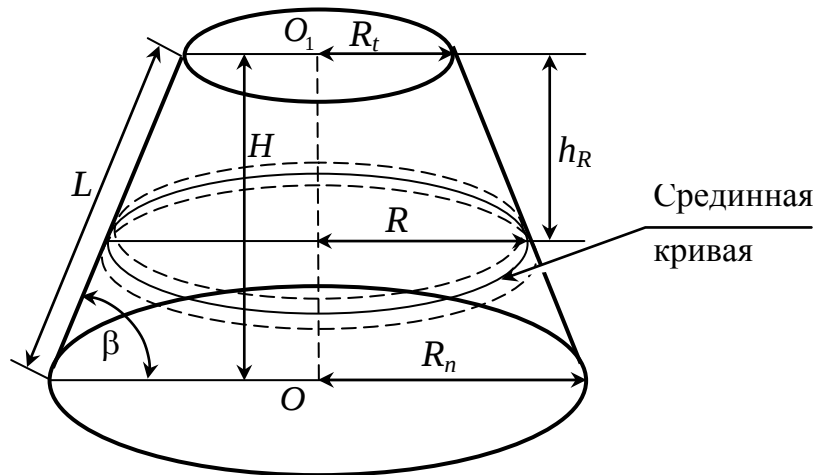


Рисунок 2.16 – Круговой усеченный конус с элементом разбиения

Таким образом, форма замкнутого элемента тонкой оболочки, расположенного первоначально на расстоянии h_R от линии талии, имеет вид (2.65), где параметры r_c , q и ω для вышеописанного модельного примера имеют вид:

$$r_c = 0,83R_n - \frac{z(0,83R_n - R_t)}{H}; q = (0,83R_n - R_t) \frac{(0,83R_n - R_t)}{2,1} \left(1 - \frac{z}{H}\right); \omega = 5, \quad (2.83)$$

где R_n – радиус низа юбки, R_t – радиус талии, H – длина юбки.

Форму срединной поверхности исследуемой тонкой оболочки можно описать в цилиндрической системе координат

$$\begin{cases} r(\varphi) = r_c + q \cdot \sin(\omega \varphi); \\ 0 \leq z \leq H, \end{cases} \quad (2.84)$$

здесь r_c , q и ω определяются по формулам (2.80).

Используя формулы (2.83), (2.84), построим срединную поверхность изделия в среде *Maple 9.5*. (рис. 2.17).

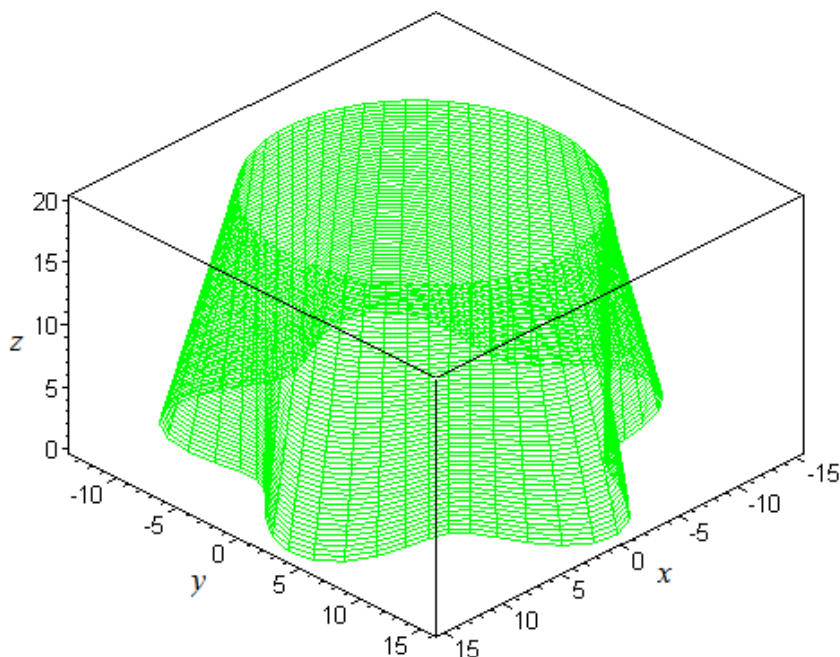


Рисунок 2.17 – Пространственная визуализация однослойного швейного изделия конической формы

2.3.5 Моделирование изделия с соединительными швами как тонкой оболочки с ребрами жесткости

В разделе 2.3.1 рассматривалось изделие (юбка) из гибкого упругого однородного материала, которое моделировалось как тонкая оболочка. В практике швейного производства изделия изготавливаются со швами, которые обладают существенно большей жесткостью, чем материал без учета швов. Изделие с соединительными швами можно моделировать как тонкую оболочку с учетом ребер жесткости [106]. В таких условиях возникает задача описания формы изделия для случая анизотропного материала, у которого жесткость неоднородна по различным направлениям вдоль поверхности.

Допустим, что первоначально юбка с соединительными швами представляет собой прямой круговой усеченный конус, швы располагаются в виде полос вдоль спиральных линий (рис. 2.18).

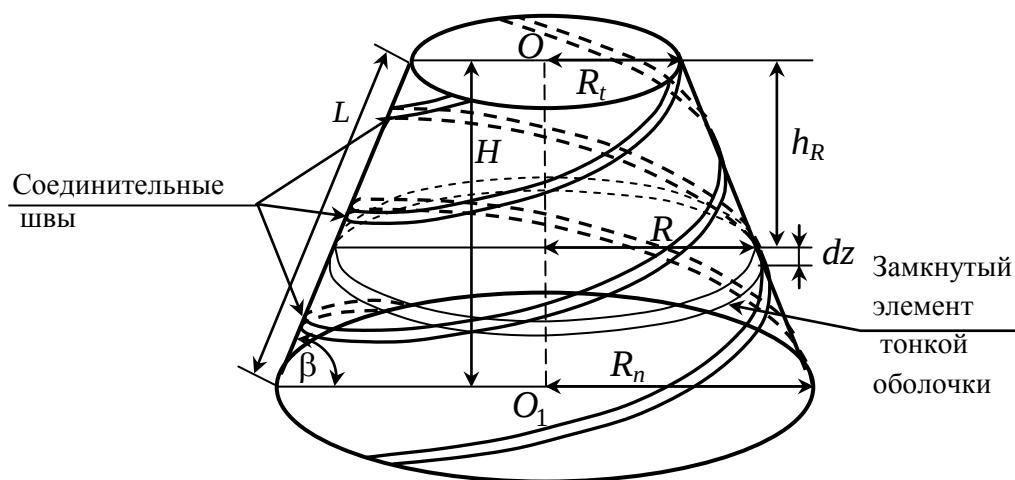


Рисунок 2.18 – Первоначальная форма юбки с учетом соединительных швов

Пусть она закреплена по периметру талии, свободно провисает в поле сил тяжести и приобретает форму с учетом сил упругости материала. Рассматривается задача нахождения формы срединной поверхности юбки с учетом швов, которую будем определять как срединную поверхность изделия, пренебрегая величинами, сопоставимыми с толщиной материала.

Как и ранее, математическую модель изделия (юбку со швами) будем вначале рассматривать на малом участке высотой dz , который назван замкнутым элементом тонкой оболочки. Элемент тонкой оболочки представляет собой усеченный конус высотой dz и радиусом нижнего основания $R > R_t$.

Замкнутый элемент тонкой оболочки, как и ранее, с помощью тонких гибких невесомых и нерастяжимых нитей постоянной длины L и с постоянным шагом угла поворота относительно вертикальной оси соединим с диском, который представляет собой горизонтально расположенный круг радиусом, равным радиусу талии R_t .

Рассматриваемый замкнутый элемент тонкой оболочки, подвешенный на диске, находится под влиянием сил тяжести и сил упругости, возникающих в материале (рис 2.19).

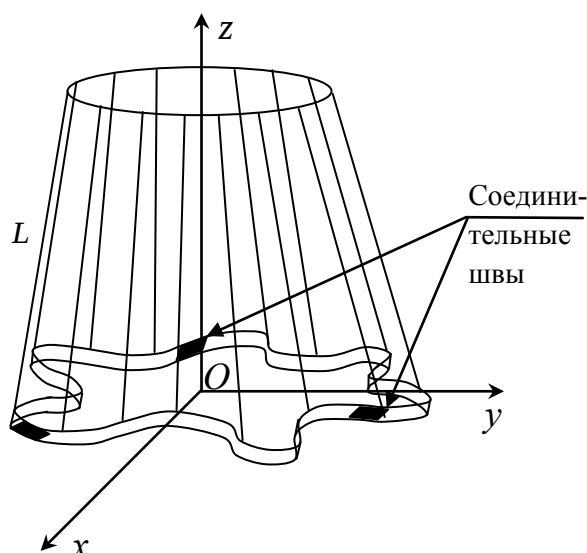


Рисунок 2.19 – Пространственная форма замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом соединительных швов

Замкнутый элемент тонкой оболочки с соединительными швами имеет большую жесткость по сравнению с элементом без соединительных швов, соответственно он подвергается меньшей деформации.

Для описания формы замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом швов применим методы вариационного исчисления [101]. Для этого найдем величину потенциальной энергии, которая заключена в исследуемом элементе, когда стенд поднят относительно плоскости Oxy .

Пользуясь рассуждениями пункта 2.3.2, сформулируем задачу определения формы замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом швов как вариационную задачу нахождения минимума потенциальной энергии элемента, равной сумме потенциальных энергий сил тяжести и сил упругости (2.35). При этом формулы для нахождения потенциальных энергий для сил тяжести и сил упругости изменятся.

Аналогично (2.37) потенциальную энергию положения замкнутого элемента тонкой оболочки можно определить по формуле

$$\Pi_{пол} = \frac{g \cdot dz}{\cos \beta} \cdot \int_0^{2\pi} \rho(\varphi) \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) d\varphi, \quad (2.85)$$

здесь $\rho(\varphi)$ – функция поверхностной плотности материала, зависящая от полярного угла φ .

Потенциальная энергия изгиба участка замкнутого элемента тонкой оболочки, как показано в пункте 2.3.2, определяется по формуле

$$\Delta \Pi_{изг} = \frac{B(\varphi) dz}{2I \cos \beta} \cdot (R_t - r(\varphi))^2 d\varphi, \quad (2.86)$$

где $B(\varphi)$ – жесткость материала.

Соответственно, потенциальная энергия изгиба замкнутого элемента тонкой оболочки за счет сил упругости материала будет равна

$$\Pi_{изг} = \frac{dz}{2I \cos \beta} \cdot \int_0^{2\pi} B(\varphi) \cdot (R - r(\varphi))^2 d\varphi. \quad (2.87)$$

Воспользуемся принципом, что система, имеющая свободные границы, принимает такую конфигурацию, при которой ее потенциальная энергия будет минимальной. Исходя из описанного принципа минимума потенциальной энергии и учитывая формулы (2.85) и (2.87), получим вариационную задачу минимизации функционала

$$\int_0^{2\pi} \rho \cdot L \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) d\varphi + \int_0^{2\pi} \frac{B(\varphi)}{2I} \cdot (R - r(\varphi))^2 d\varphi \rightarrow \min. \quad (2.88)$$

Функции $\rho(\varphi)$ и $B(\varphi)$ будут иметь такие же значения, как и у вышеописанной модели для изотропного материала везде, кроме участков соединительных швов. На участках соединительных швов значение функции $\rho(\varphi)$ и $B(\varphi)$ возрастет в несколько раз. Таким образом, функции $\rho(\varphi)$ и $B(\varphi)$ являются кусочно-постоянными

$$\begin{aligned} \rho(\varphi) &= \begin{cases} \rho_1 & \text{для участка без шва;} \\ \rho_2 & \text{для участка соединительного шва;} \end{cases} \\ B(\varphi) &= \begin{cases} B_1 & \text{для участка без шва;} \\ B_2 & \text{для участка соединительного шва.} \end{cases} \end{aligned} \quad (2.89)$$

где $\rho_1 < \rho_2, B_1 < B_2$.

Задача минимизации функционала (2.88) решается при наличии интегральной связи, заключающейся в том, что длина замкнутого элемента тонкой оболочки равна $2\pi R$, т.е. выполняется равенство (2.43).

Из специальных разделов математики [95] известно, что для нахождения минимума функционала (2.88) с интегральной связью (2.43) необходимо составить функцию Лагранжа

$$F_1 = g \cdot \rho(\varphi) \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) + \frac{B(\varphi)}{2I} (R_t - r(\varphi))^2 - \lambda \sqrt{r^2(\varphi) + \left(\frac{dr}{d\varphi} \right)^2}, \quad (2.90)$$

для которой достаточно найти безусловный экстремум.

Учитывая, что функции $\rho(\varphi)$ и $B(\varphi)$ кусочно-постоянны, равенство (2.90) можно представить в виде

$$F_1 = g \cdot \rho_* \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) + \frac{B_*}{2I} \cdot (R_t - r(\varphi))^2 - \lambda \sqrt{r^2(\varphi) + \left(\frac{dr}{d\varphi} \right)^2}, \quad (2.91)$$

где $\rho_* = \rho_1$, $B_* = B_1$, если угол φ изменяется на участках без швов;

$\rho_* = \rho_2$, $B_* = B_2$, если угол φ изменяется на участках соединительных швов.

Из равенства (2.91) следует, что функция Лагранжа не содержит в явном виде переменную φ , в этом случае из [95] известно, что уравнение Эйлера применительно к функции (2.88) допускает первый интеграл

$$F_1 \left(r, \frac{dr}{d\varphi} \right) - \frac{dr}{d\varphi} \cdot \frac{\partial F_1 \left(r, \frac{dr}{d\varphi} \right)}{\partial r'} = C_1, \quad (2.92)$$

здесь $r' = \frac{dr}{d\varphi}$, C_1 – произвольная постоянная.

Из (2.90) находим частную производную функции F_1 по переменной r'

$$\frac{\partial F_1 \left(r, \frac{dr}{d\varphi} \right)}{\partial r'} = - \frac{\lambda \cdot \frac{dr}{d\varphi}}{\sqrt{r^2(\varphi) + \left(\frac{dr}{d\varphi} \right)^2}}. \quad (2.93)$$

Подстановка функций (2.91) и (2.93) в первый интеграл приводит к следующему обыкновенному дифференциальному уравнению первого порядка

$$\rho_* \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r(\varphi) - R_t)^2} \right) + \frac{B_*}{2I} \cdot (R - r(\varphi))^2 - \lambda \frac{r^2(\varphi)}{\sqrt{r^2(\varphi) + \left(\frac{dr}{d\varphi} \right)^2}} = C_1. \quad (2.94)$$

Для решения уравнения (2.93) применим метод разделения переменных. Проводя рассуждения, аналогичные изложенным в пункте 2.3.5, получим решение дифференциального уравнения в квадратурах

$$\int \frac{\left[\rho_* \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2} \right) + \frac{B_*}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right] dr}{r \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot r^2 - \left[\rho_* \cdot g \cdot \left(L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2} \right) + \frac{B_*}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right]^2}} = \pm \varphi + C_2. \quad (2.95)$$

Поскольку интеграл в равенстве (2.95) не берется в известных функциях, то для его приближенного вычисления заменим функцию $L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2}$ на ее аппроксимацию (2.70). Это возможно сделать, так как условия (2.69) для рассматриваемой задачи по-прежнему выполняются. При этом, как показано в пункте 2.3.5, абсолютная погрешность аппроксимации не превышает 0,1 мм, что является удовлетворительным условием для практики.

В результате аппроксимации интеграл из уравнения (2.95) имеет вид

$$I = \int \frac{\left[\rho_* \cdot g \cdot \frac{(r - R_t)^2}{L \cdot 1,955} + \frac{B_*}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right] dr}{r \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot r^2 - \left[\rho_* \cdot g \cdot \frac{(r - R_t)^2}{L \cdot 1,955} + \frac{B_*}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right]^2}}. \quad (2.96)$$

Используя обозначение

$$\frac{\rho_* \cdot g}{1,955} = K_*, \quad (2.97)$$

приведем интеграл (2.96) к виду

$$I = \int \frac{\left(K_* \cdot (r - R_t)^2 + \frac{B_*}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right) dr}{r \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot r^2 - \left(K_* \cdot (r - R_t)^2 + \frac{B_*}{2I} \cdot (R_t - r)^2 - C_1 \right)^2}}. \quad (2.98)$$

Представление (2.98) будет использовано для решения вариационной задачи по определению геометрии тонкой упругой оболочки конической формы.

2.3.6 Аналитическое исследование влияния швов на жесткость материалов

При образовании пространственной формы швейных изделий характерной особенностью материалов является их способность изгибаться. Сопротивление материалов изменению формы характеризуется величиной жесткости на изгиб, которая выражается произведением модуля продольной упругости на момент инерции сечения тела относительно нейтральной оси. Для того, чтобы знать, как при деформации изгиба материал с учетом соединительных швов сопротивляется изменению своей формы, в работе определены моменты инерции для участков материала со швами, расположенными с лицевой или изнаночной стороны изделия.

Сравним значение поверхностной плотности ρ_1 (материала без учета соединительных швов) с значением ρ_2 (материала с учетом соединительных швов), иными словами, определим величину их отношения. Пусть соединительный шов представляет собой двойной слой материала, тогда поверхностная плотность участка с соединительным швом увеличится в два раза, то есть

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = 2. \quad (2.99)$$

Теперь определим величину $\frac{B_2}{B_1}$ – отношение жесткости на изгиб участка материала с соединительным швом к жесткости материала без швов. Для этого найдем момент инерции относительно оси Ox для участка материала без швов (рис. 2.20).

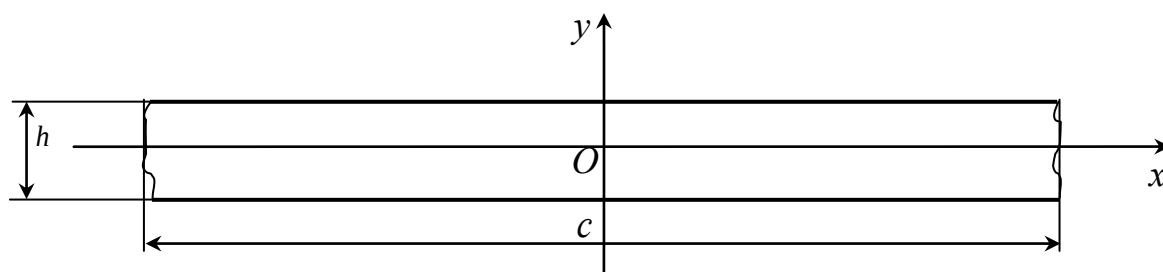


Рисунок 2.20 – Участок материала в перпендикулярном сечении

Момент инерции относительно оси Ox для участка материала без швов равен

$$I_1 = \iint_D y^2 dx dy = \int_{-\frac{c}{2}}^{\frac{c}{2}} dx \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} y^2 dy = c \cdot \frac{y^3}{3} \Big|_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} = \frac{c \cdot h^3}{12}. \quad (2.100)$$

Определим моменты инерции для участка материала с соединительным швом вразутюжку. Для участка со швом толщина материала будет равна $2h$, соответственно, момент инерции относительно оси Ox вычисляется в виде

$$I_2 = \iint_D y^2 dx dy = \int_{-\frac{c}{2}}^{\frac{c}{2}} dx \int_{-h}^h y^2 dy = c \cdot \frac{y^3}{3} \Big|_{-h}^h = \frac{2c \cdot h^3}{3}. \quad (2.101)$$

Отношение жесткостей $\frac{B_2}{B_1}$ равно отношению моментов инерции $\frac{I_2}{I_1}$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{B_2}{B_1} = 8. \quad (2.102)$$

Таким образом, для двойного слоя материала поверхностная плотность возрастает в два раза, а жесткость на изгиб возрастает в восемь раз.

На рис. 2.21 представлена схема соединительного шва, расположенного с лицевой стороны изделия.

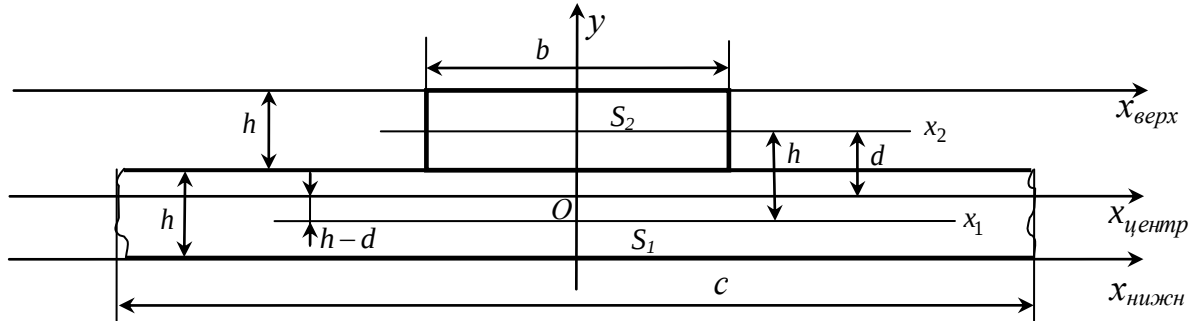


Рисунок 2.21 – Схема соединительного шва, расположенного с лицевой стороны изделия

Найдем расстояние d от центра масс всей фигуры до центра масс фигуры S_2 (рис. 2.21) из условия, что главная ось составной фигуры совпадает с осью $Ox_{центр}$, для этого составим уравнение центра масс в направлении оси Oy составной фигуры

$$S_2 \cdot d = S_1 \cdot (h - d), \quad (2.103)$$

где $S_1 = c \cdot h$, $S_2 = b \cdot h$; c – расстояние между швами, b – ширина припусков шва.

Обозначим $k = \frac{c}{b}$, при этом $k > 1$. (2.104)

Решение уравнения (2.103) с учетом (2.104) имеет вид

$$d = \frac{kh}{1+k}. \quad (2.105)$$

Найдем моменты инерции фигур S_1 и S_2 относительно их центральных осей x_1 и x_2 .

$$I_1 = \frac{kbh^3}{12}, \quad I_2 = \frac{bh^3}{12}. \quad (2.106)$$

Найдем момент инерции составной фигуры относительно оси, проходящей через ее центр тяжести $x_{центр}$.

$$I_{x,центр} = J_1 + S_1 \cdot (h-d)^2 + J_2 + S_2 \cdot d^2 = \frac{bh^3(k^2 + 14k + 1)}{12(1+k)}. \quad (2.107)$$

Найдем момент инерции составной фигуры относительно оси $x_{нижн}$.

$$I_{x,нижн} = I_{x,центр} + (S_1 + S_2) \cdot \left(\frac{3h}{2} - d\right)^2 = \frac{bh^3(k+7)}{3}. \quad (2.108)$$

Найдем момент инерции составной фигуры относительно оси $x_{верхн}$

$$I_{x,верхн} = I_{x,центр} + (S_1 + S_2) \cdot \left(\frac{h}{2} + d\right)^2 = \frac{bh^3(7k+1)}{3}. \quad (2.109)$$

На рис. 2.22 показаны зависимости моментов инерции (2.107 – 2.109) от величины k .

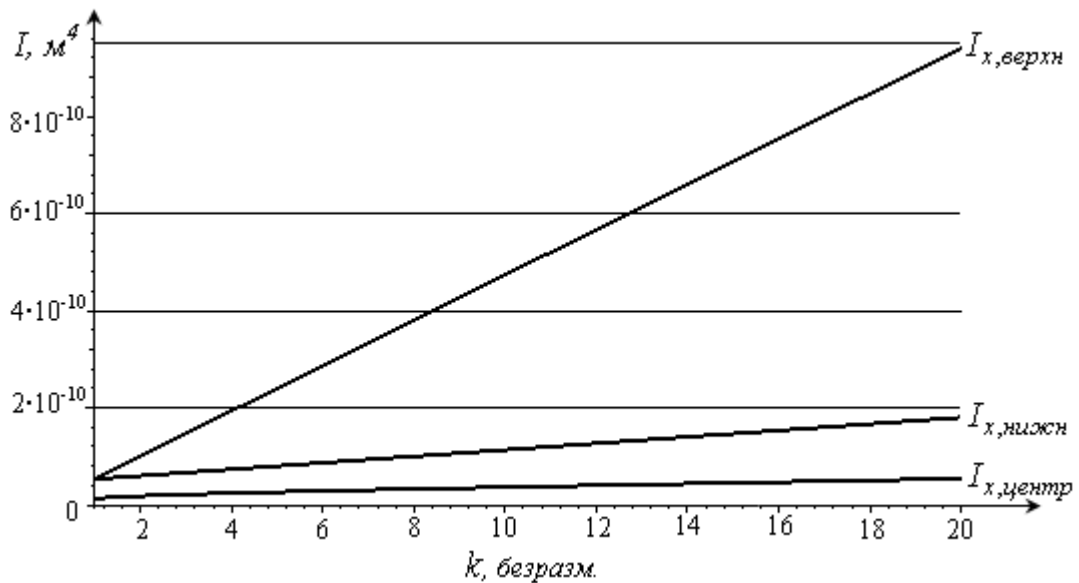


Рисунок 2.22 – Зависимости моментов инерции (2.107 – 2.109) от величины k

Из графиков рис. 2.22 видно, что все моменты инерции монотонно возрастают при увеличении k , при этом наибольшие значения принимает момент инерции фигуры относительно оси $x_{\text{верхн}}$, и его влияние с ростом k по сравнению с моментами инерции $I_{x, \text{нижн}}$ и $I_{x, \text{центр}}$ значительно усиливается. Величина момента инерции $I_{x, \text{нижн}}$ больше, чем $I_{x, \text{центр}}$.

Выполним нормирование момента инерции для участка материала с соединительным швом вразутюжку на величину расстояния между швами C . Обозначим их соответственно $I(\text{пол})_{x, \text{центр}}$, $I(\text{пол})_{x, \text{нижн}}$, $I(\text{пол})_{x, \text{верхн}}$. Их значения равны

$$I(\text{пол})_{x, \text{центр}} = \frac{h^3(k^2 + 14k + 1)}{12(1+k)k}, I(\text{пол})_{x, \text{нижн}} = \frac{h^3(k+7)}{3k}, I(\text{пол})_{x, \text{верхн}} = \frac{h^3(7k+1)}{3k}. \quad (2.110)$$

На рис. 2.23 представлены зависимости нормированных моментов инерции (2.110) от величины k при $b=0,02\text{м}$ и $h=0,001\text{м}$.

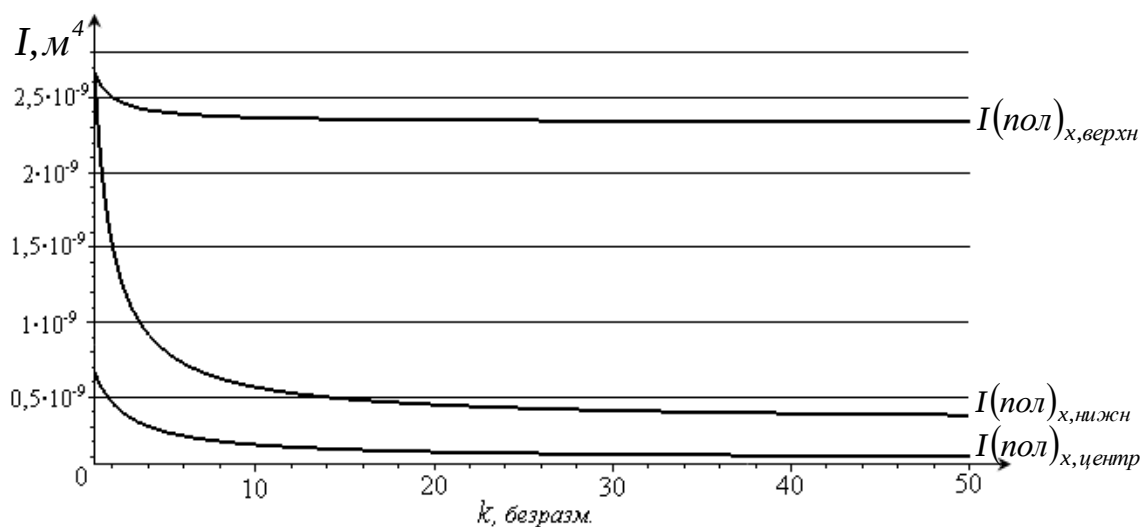


Рисунок 2.23 – Зависимости нормированных моментов инерции (2.110) от k

Из графиков, представленных на рис. 2.23 видно, что нормированные моменты инерции для участка материала со швами, расположенными с лицевой стороны изделия резко уменьшают значения с возрастанием k от 1 до 10. При последующем возрастании k рассматриваемые моменты инерции стре-

мятся к постоянным значениям, которые равны соответствующим моментам инерции для фигуры S_1 .

На рис. 2.24 приведено сравнение моментов инерции $K_1 = \frac{I_{x,верхн}}{I_{x,центр}}$, $K_2 = \frac{I_{x,верхн}}{I_{x,нижн}}$, $K_3 = \frac{I_{x,нижн}}{I_{x,центр}}$ при $b=0,02\text{ м}$ и $c=0,001\text{ м}$.

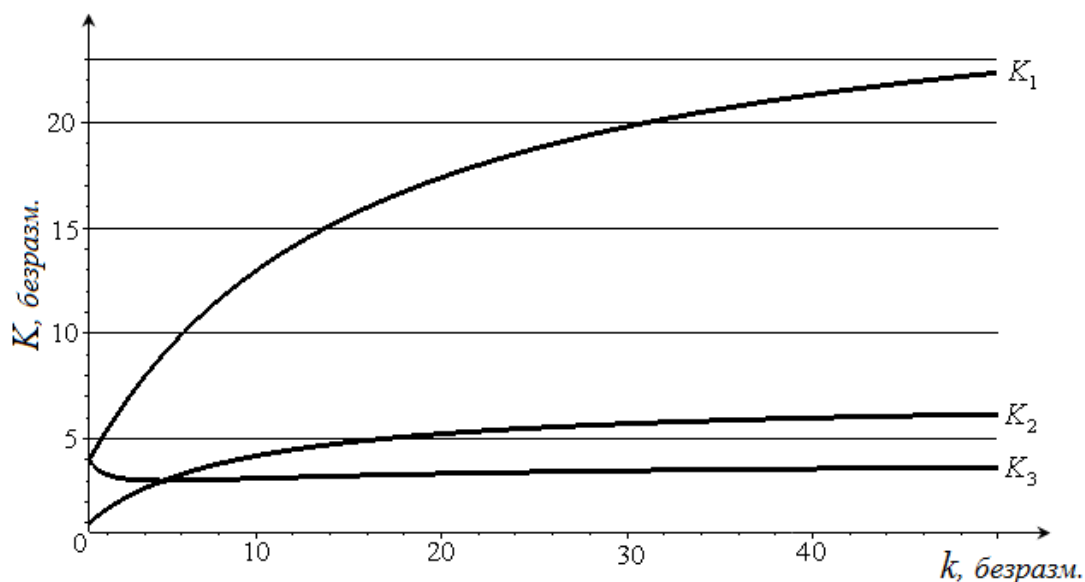


Рисунок 2.24 – Зависимости отношения моментов инерции (2.107–2.109) от k

Величина $K_1 = \frac{I_{x,верхн}}{I_{x,центр}}$ монотонно возрастает с ростом значения k от 4 до

28. Величина момента инерции относительно верхней оси, как видно из графика, в 28 раз больше момента инерции относительно центральной оси участка материала со швом.

Величина $K_2 = \frac{I_{x,верхн}}{I_{x,нижн}}$ также монотонно возрастает с ростом значения

k от 1 до 7, иными словами величина момента инерции относительно верхней оси в 7 раз больше величины момента инерции относительно нижней оси.

Величина $K_3 = \frac{I_{x,нижн}}{I_{x,центр}}$ монотонно убывает до значения $k=5$ и далее воз-

растает с ростом k до значения 7. В точке $k=5$ значение $K_3=3$ - наименьшее значение величины K_3 . Величина момента инерции относительно нижней оси,

как видно из графика, в 4 раза больше величины момента инерции относительно центральной оси для участка материала со швом.

Рассмотрим участок материала с соединительным швом для случая, когда соединительный шов расположен с изнаночной стороны (рис. 2.25).

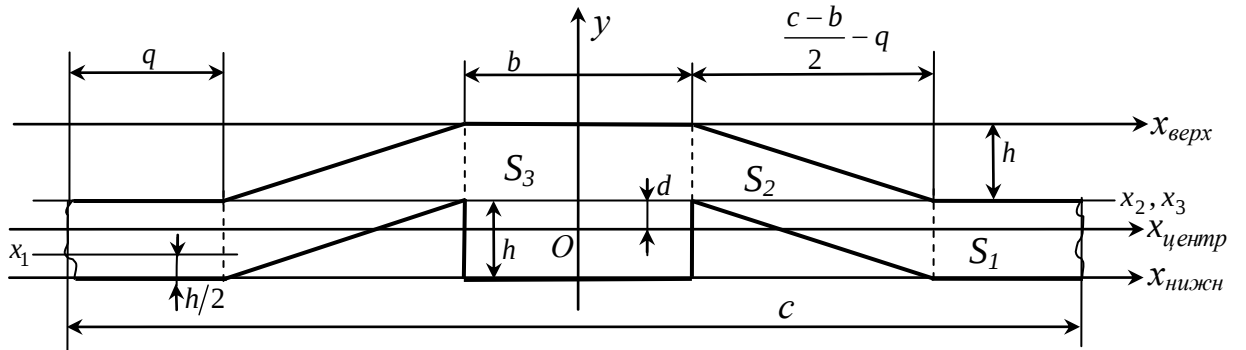


Рисунок 2.25 – Схема соединительного шва, расположенного с изнаночной стороны

Найдем значение d (рис. 2.25) из условия, что главная ось составной фигуры совпадает с осью Ox . Составим уравнение центра масс в направлении оси Oy составной фигуры.

$$2S_1 \cdot \left(\frac{h}{2} - d \right) = (2S_2 + S_3) \cdot d, \quad (2.111)$$

$$\text{где } S_1 = q \cdot h, S_2 = \left(\frac{c-b}{2} - q \right) \cdot h, S_3 = b \cdot 2h, c = kb. \quad (2.112)$$

Решение уравнения (2.111) имеет вид:

$$d = \frac{qh}{b(1+k)}. \quad (2.113)$$

где q - участок, который лежит на опоре

Найдем моменты инерции фигур S_1 , S_2 , S_3 относительно центральных осей

$$I_1 = \frac{qh^3}{12}; \quad I_2 = \int_{-\frac{c}{2}}^{-\frac{c}{2}+q} dx \int_{\frac{h(2x+c-2q)}{c-b-2q}}^{\frac{h(2x+c-2q)}{c-b-2q}} y dy = \frac{h^3(kb-b-2q)}{12}; \quad I_3 = \frac{2bh^3}{3}. \quad (2.114)$$

Найдем момент инерции составной фигуры относительно оси, проходящей через центр тяжести этой фигуры $x_{центр}$.

$$I_{x,центр} = 2J_1 + 2S_1 \cdot \left(\frac{h}{2} - d\right)^2 + 2J_2 + 2S_2 \cdot d^2 + J_3 + S_3 \cdot d^2 =$$

$$= \frac{h^3(k^2b^2 + 4kb^2 + 2kbq - 6q^2 + 2qb + 3b^2)}{6b(1+k)}. \quad (2.115)$$

Найдем момент инерции составной фигуры относительно оси $x_{нижн}$

$$I_{x,нижн} = I_{x,центр} + (2S_1 + 2S_2 + S_3) \cdot (h - d)^2 = \frac{h^3(7kb + 9b - 10q)}{6}. \quad (2.116)$$

Найдем момент инерции составной фигуры относительно оси $x_{верхн}$

$$I_{x,верхн} = I_{x,центр} + (2S_1 + 2S_2 + S_3) \cdot (h + d)^2 = \frac{h^3(7kb + 9b + 14q)}{6}. \quad (2.117)$$

На рис. 2.26 показаны зависимости моментов инерции (2.115–2.117) от величины q при $b = 0,02\text{ м}$; $h = 0,001\text{ м}$; $k = 5$.

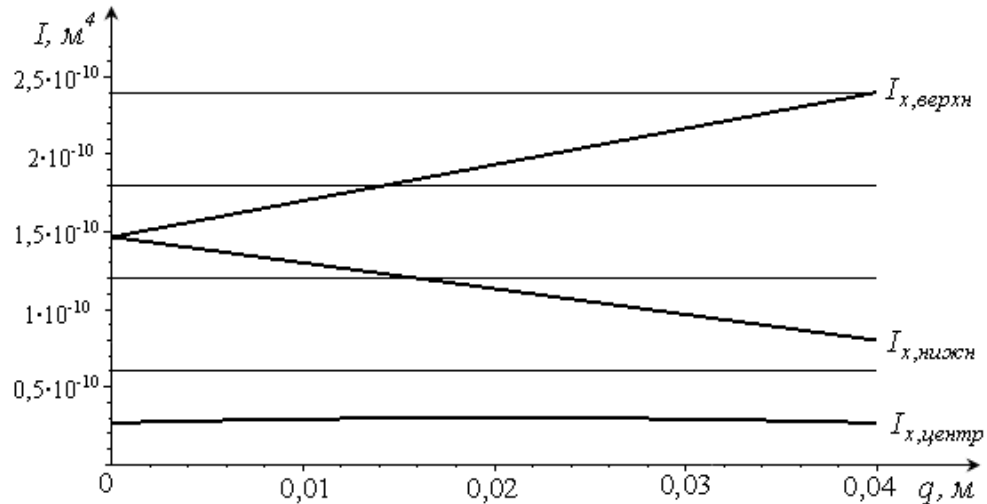


Рисунок 2.26 – Зависимости моментов инерции (2.115–2.117) от q

Из графиков на рис. 2.26 следует, что значения моментов инерции $I_{x,верхн}$ и $I_{x,нижн}$ совпадают при $q = 0$, при увеличении q величина момента инерции $I_{x,верхн}$ линейно возрастает, а величина момента инерции $I_{x,нижн}$ линейно убывает. Момент инерции $I_{x,центр}$ возрастает до значения $q = 0,02\text{ м}$, затем монотонно убывает до значения, которое $I_{x,центр}$ принимает в точке 0.

Выполним нормирование момента инерции для участка материала с соединительными швами, расположенными со стороны опоры на единицу ширины полотна s . Обозначим эти величины соответственно $I(пол)_{x,центр}$, $I(пол)_{x,нижн}$, $I(пол)_{x,верхн}$. Их значения равны:

$$I(\text{пол})_{x,\text{центр}} = \frac{h^3(k^2b^2 + 4kb^2 + 2kbq - 6q^2 + 2qb + 3b^2)}{6b^2(1+k)k};$$

$$I(\text{пол})_{x,\text{нижн}} = \frac{h^3(7kb + 9b - 10q)}{6kb}; \quad I(\text{пол})_{x,\text{верхн}} = \frac{h^3(7kb + 9b + 14q)}{6kb}. \quad (2.118)$$

На рис. 2.27 показаны зависимости нормированных моментов инерции (2.118) от величины q .

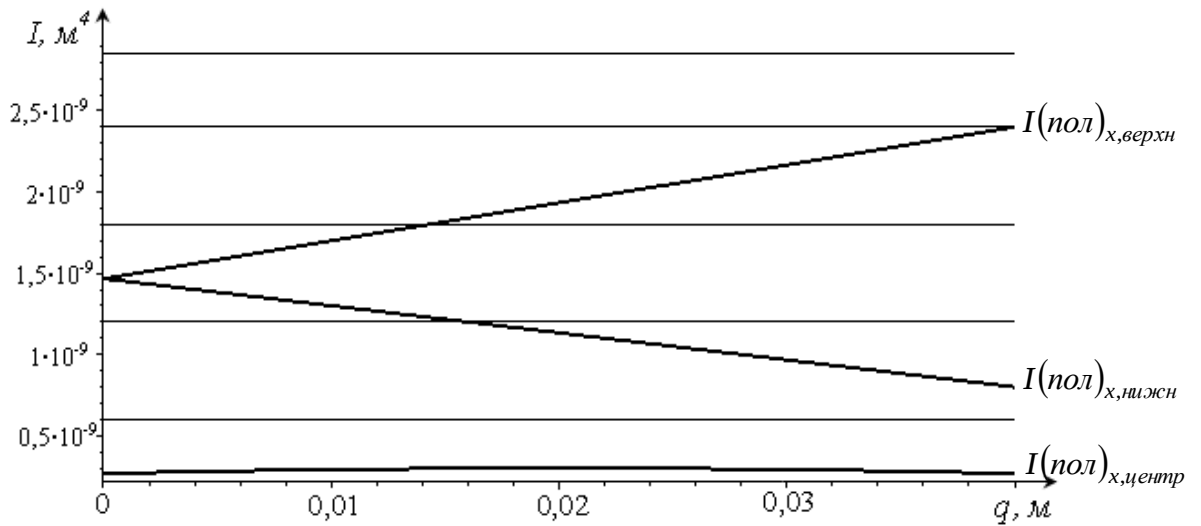


Рисунок 2.27 – Зависимости нормированных моментов инерции (2.118) от q

На рис. 2.28 приведено сравнение моментов инерции $K_1 = \frac{I_{x,\text{верхн}}}{I_{x,\text{центр}}}$, $K_2 = \frac{I_{x,\text{нижн}}}{I_{x,\text{центр}}}$, $K_3 = \frac{I_{x,\text{верхн}}}{I_{x,\text{нижн}}}$ при $b = 0,02\text{ м}$; $h = 0,001\text{ м}$; $k = 5$.

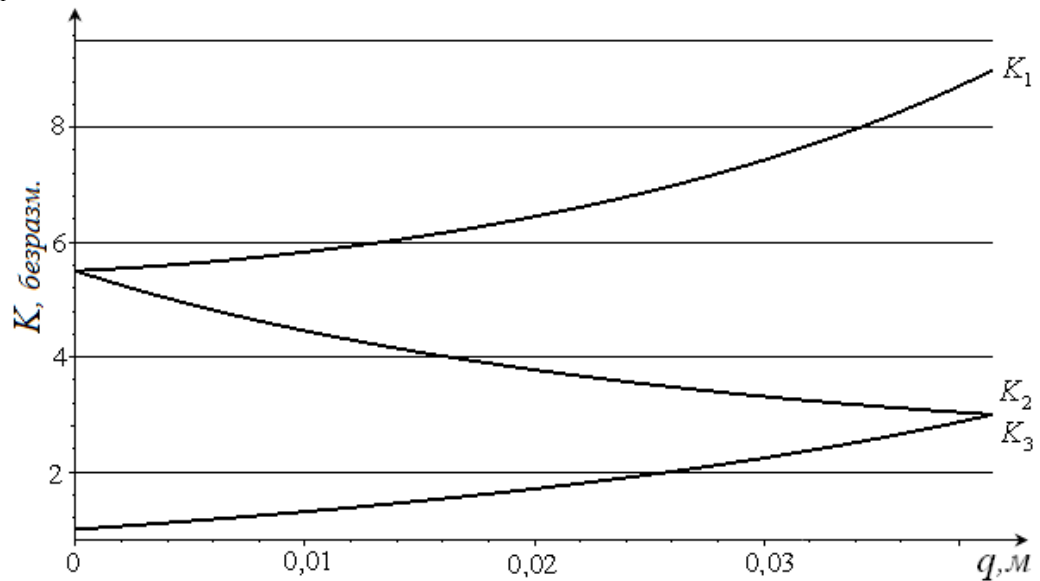


Рисунок 2.28 – Зависимости отношения моментов инерции (2.115–2.117) от q

Как видно из графиков, величина $K_1 = \frac{I_{x,верхн}}{I_{x,центр}}$ монотонно возрастает с ростом q от значения 5,5 до значения 9. Таким образом, величина момента инерции относительно верхней оси в 5,5 раз превышает значение момента инерции относительно центральной оси для участка материала с соединительным швом, расположенным с изнаночной стороны.

Величина $K_2 = \frac{I_{x,нижн}}{I_{x,центр}}$ монотонно убывает от значения 5,5 до значения 3.

Значение момента инерции относительно нижней оси в 3 раза больше момента инерции относительно центральной оси участка материала со швом, расположенным с изнаночной стороны.

Величина $K_3 = \frac{I_{x,верхн}}{I_{x,нижн}}$ монотонно увеличивается с ростом q от значения 1 до значения 3, иными словами величина момента инерции относительно

верхней оси больше момента инерции относительно нижней оси в три раза.

Приведенные расчеты моментов инерции позволяют выявить закономерности их изменения в зависимости от расположения соединительных швов и расстояния между ними. Следует отметить, что участок материала с соединительными швами, расположенными с изнаночной стороны, обладает большей жесткостью, чем участок материала со швами, расположенными с лицевой стороны.

2.3.7 Приближенное решение для замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом соединительных швов

При деформировании юбки в поле сил тяжести и с учетом сил упругости материала, каждое ее горизонтальное сечение является замкнутой 2π периодической кривой. Соответственно, решение задачи в виде (2.94) с интегральной связью (2.43) следует искать в форме 2π периодической функции $r(\varphi)$.

Так как параметр K_* изменяется в зависимости от участка кривой $r(\varphi)$, то и соответствующее решение вариационной задачи (2.94), (2.43) для участ-

ков без швов будет отличаться от решения вариационной задачи для участков с соединительными швами. Приближенное решение вариационных задач (2.94), (2.43) определяется в виде

$$r(\varphi) = r_1 + q_1 \cdot \sin(\omega_1 \varphi), \quad (2.119)$$

либо в виде

$$r(\varphi) = r_2 + q_2 \cdot \sin(\omega_2 \varphi), \quad (2.120)$$

где r_1, q_1, ω_1 – значения среднего радиуса замкнутого элемента тонкой оболочки, амплитуды и частоты полярного радиуса $r(\varphi)$ на участках без швов;

r_2, q_2, ω_2 – средний радиус, амплитуда и частота колебаний $r(\varphi)$ на участках со швами.

Из условий 2π периодичности и гладкости кривых вида (2.119) следует, что частоты ω_* являются натуральными числами. Таким образом, решение задачи по определению формы тонкой оболочки с учетом швов будет определяться, как кусочно-непрерывное решение, состоящее из участков решений в форме (2.119), которые непрерывно продолжаются решениями в форме (2.120), в зависимости от угла поворота φ .

Пользуясь рассуждениями пункта 2.3.5, получим значение неизвестного параметра λ вариационной задачи (2.94), (2.43) для участка без швов

$$\lambda_{\text{бш}} = \frac{\left(2K_1(r_1 - R_t) - \frac{B_1}{I}(R_t - r_1)\right) \cdot (r_1^2 + q_1^2 \omega_1^2)^{\frac{3}{2}}}{r_1 \cdot (r_1^2 + 2q_1^2 \omega_1^2)}, \quad (2.121)$$

а значение параметра C_1 в виде

$$C_{1,\text{бш}} = K_1 \cdot (r_1 - R_t)^2 + \frac{B_1}{2I} \cdot (R_t - r_1)^2 - \frac{r_1 \left(2K_1(r_1 - R_t) - \frac{B_1}{I}(R_t - r_1)\right) \cdot (r_1^2 + q_1^2 \omega_1^2)}{(r_1^2 + 2q_1^2 \omega_1^2)}. \quad (2.122)$$

Аналогично можно получить значение неизвестного параметра λ вариационной задачи (2.91), (2.43) для участка со швом

$$\lambda_{\text{ш}} = \frac{\left(2K_2(r_2 - R_t) - \frac{B_1}{I}(R_t - r_2)\right) \cdot (r_2^2 + q_2^2 \omega_2^2)^{\frac{3}{2}}}{r_2 \cdot (r_2^2 + 2q_2^2 \omega_2^2)}, \quad (2.123)$$

соответственно значение параметра C_1 в форме:

$$C_{1,u} = K_2 \cdot (r_2 - R_t)^2 + \frac{B_2}{2I} \cdot (R_t - r_2)^2 - \frac{r_2 \left(2K_2(r_2 - R_t) - \frac{B_2}{I} (R_t - r_2) \right) \cdot (r_2^2 + q_2^2 \omega_2^2)}{(r_2^2 + 2q_2^2 \omega_2^2)}. \quad (2.124)$$

Таким образом, неизвестные значения произвольной постоянной C_1 и параметра λ на участках без швов определяются по формулам (2.121), (2.122), а для участков со швами – по формулам (2.123), (2.124).

Способ нахождения параметров r_1, q_1, ω_1 , а также параметров r_2, q_2, ω_2 покажем на конкретном примере с такими же входными параметрами модели, как и в пункте 2.3.6. (количество швов равно 3).

$$K_1 = 0,0828 \frac{H}{M^2}; B_1 = 400 \text{ мкН} \cdot M^2; R = 0,23M; \\ R_t = 0,13M; L = 0,425M; h = 0,001M. \quad (2.125)$$

Для участков со швами входные параметры модели равны соответственно

$$K_2 = 0,1656 \frac{H}{M^2}; B_2 = 760 \text{ мкН} \cdot M^2; h = 0,002M. \quad (2.126)$$

С помощью пакета *Maple 9.5* по формулам (2.121), (2.122) находим значения параметров $\lambda_{\delta u}$ и $C_{1,\delta u}$ для участков без швов

$$\lambda_{\delta u} = \frac{10^{-3}(8r_1 - 0,98) \cdot (r_1^2 + q_1^2 \omega_1^2)^{\frac{3}{2}}}{r_1 \cdot (r_1^2 + 2q_1^2 \omega_1^2)}, \quad (2.127) \\ C_{1,\delta u} = 10^{-3} \left[3 \cdot (r_c - 0,11)^2 + (0,16 - r_c)^2 - \frac{r_c \cdot (8 \cdot r_c - 0,98) \cdot (r_c^2 + q^2 \omega^2)^{\frac{3}{2}}}{(r_c^2 + 2q^2 \omega^2)} \right].$$

Значения параметров λ_u и $C_{1,u}$ для участков со швами имеют вид:

$$\lambda_u = \frac{10^{-3}(28r_1 - 1,94) \cdot (r_1^2 + q_1^2 \omega_1^2)^{\frac{3}{2}}}{r_1 \cdot (r_1^2 + 2q_1^2 \omega_1^2)}, \quad (2.128) \\ C_{1,u} = 10^{-3} \left[6 \cdot (r_c - 0,11)^2 + 8(0,16 - r_c)^2 - \frac{r_c \cdot (28 \cdot r_c - 1,94) \cdot (r_c^2 + q^2 \omega^2)^{\frac{3}{2}}}{(r_c^2 + 2q^2 \omega^2)} \right].$$

Длина замкнутого элемента тонкой оболочки равна $L = 2\pi R = 1,46 \text{ м}$, а ширина одного соединительного шва вразутюжку составляет порядка $0,02 \text{ м}$. Для примера, показанного на рис. 2.18, юбка имеет три шва, соответственно доля швов в общей длине элемента с учетом их наклона к вертикальной оси составит порядка $0,02 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} < 0,09 \text{ м}$, что составляет относительно малую долю в общей длине всего элемента. Относительно малая доля участков швов по длине элемента тонкой оболочки влечет малое влияние их на конфигурацию самого элемента тонкой оболочки по сравнению с моделью без учета швов.

Учитывая, что поверхностная плотность участка со швом только в два раза больше чем для участка без швов, то и сила тяжести участков со швами окажет относительно малое влияние на деформацию участков без швов замкнутого элемента тонкой оболочки. При этом, сами участки швов будут обладать большей жесткостью, соответственно они будут претерпевать значительно меньшую деформацию.

Математическое моделирование пространственной формы замкнутого элемента тонкой оболочки показывают, что его конфигурация с учетом швов математически имеет более громоздкое представление, при этом значения полярного радиуса $r(\varphi)$ относительно мало изменяются по сравнению с элементом без учета швов. Таким образом, наличие швов в замкнутом элементе тонкой оболочки влечет некоторое уменьшение среднего радиуса элемента, кроме того, нарушается симметричность формы элемента относительно начала координат, однако эти изменения относительно малы и принципиального влияния на форму замкнутого элемента тонкой оболочки не оказывают.

Оценка величины рассогласования между истинным решением уравнения и приближенным проводится на каждом участке без швов и на каждом участке шва отдельно. Расчеты в *Maple 9.5* показывают, что величина рассогласования для всех участков замкнутого элемента тонкой оболочки по аргументу φ не превосходит 2,5%.

2.3.8 Моделирование поверхности однослойных конических швейных изделий с учетом соединительных швов

Для построения срединной поверхности тонкой упругой оболочки используем подобие формы каждого из замкнутых элементов тонкой оболочки, взятых в направлении, перпендикулярном вертикальной оси. Для каждого элемента разбиения его форма будет подобна замкнутому элементу тонкой оболочки с учетом швов, описанному в пункте 2.3.7. Следует учесть, что для участка с соединительным швом поверхностная плотность возрастает в два раза, а жесткость – в восемь раз. Это обстоятельство влечет тот факт, что относительно малые деформации замкнутого элемента тонкой оболочки в области шва, нарушающие симметричность элемента, практически нивелируются для всего изделия в целом за счет «ребер жесткости», которые спиралевидные швы создают в изделии.

Пространственная форма изделия приближенно описывается теми же формулами (2.83), (2.84), как и для случая юбки без швов.

Определим геометрию нижней границы изделия: участки нижней границы юбки, которые дальше расположены от вертикальной оси будут несколько выше относительно ближе расположенных участков границы.

Опишем зависимость высоты каждой точки нижней границы юбки от положения точки относительно вертикальной оси. Сечение юбки вдоль вертикальной оси представлено на рис. 2.29.

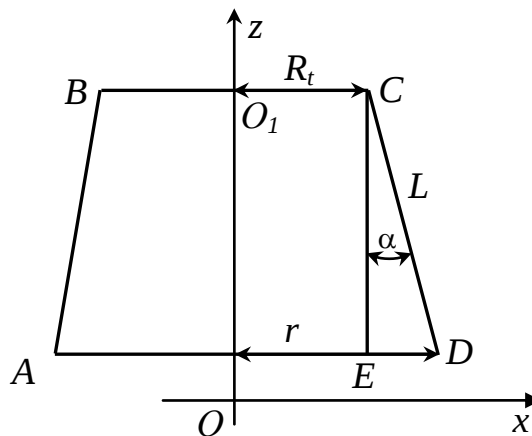


Рисунок 2.29 – Сечение юбки вдоль вертикальной оси

Срединной поверхности юбки в сечении вдоль вертикальной оси принадлежат отрезки прямых AB и CD . Пусть длина образующей юбки равна L и точка D находится от оси Oz на расстоянии r . Тогда расстояние точки D от линии талии, равное CE , вычисляется по формуле

$$CE = \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2}, \quad (2.126)$$

где величина r определяется по формулам (2.80), (2.81).

Таким образом, высота положения нижней границы изделия (рис. 2.30) с учетом формул (2.80), (2.81) определяется по формуле

$$H_1 = L - \sqrt{L^2 - (r - R_t)^2} \quad (2.127)$$

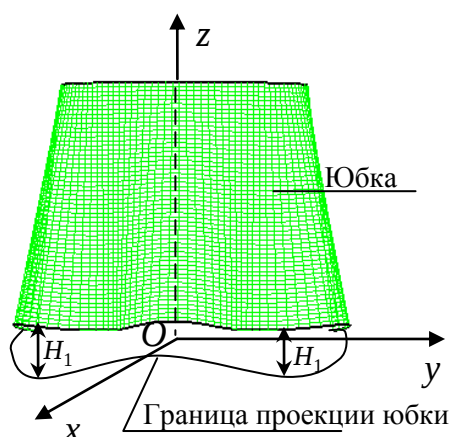


Рисунок 2.30—Сечение пространственной формы юбки вдоль вертикальной оси

С помощью пакета *Maple 9.5*, используя вышеописанный алгоритм, построим математическую модель пространственной формы юбки с учетом швов (приложение 1). Соединительные швы юбки расположены с изнаночной стороны вдоль трех симметрично расположенных спиралей Архимеда, при этом каждая из спиралей совершает один оборот. Модель изделия, имеющая входные параметры, указанные в (2.125), (2.126), представлена на рис. 2.31 (приложение 1).

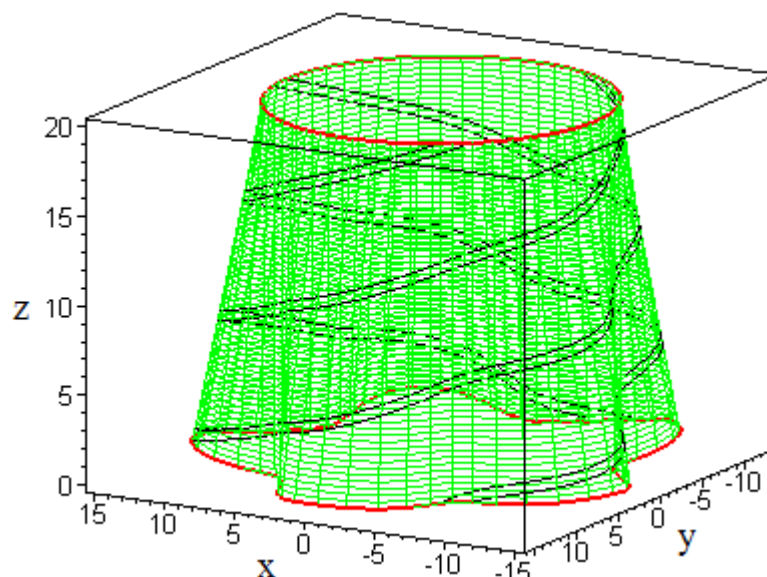


Рисунок 2.31 – Пространственная форма конической юбки
с учетом соединительных швов

Геометрия изделия, представленного на рисунке 2.31, приближенно описывается формулами (2.83), (2.84).

Выводы по главе 2

1. Научно обоснован метод проектирования швейных изделий конической формы, состоящей из одной или нескольких деталей в виде спиральных разверток, построение которых реализуется на основе прикладных пакетов математических программ.
2. Получены зависимости относительной деформации полосы развертки от ее ширины и порядкового номера оборота, представлена графическая визуализация полученных зависимостей на конкретном примере. Выявленные зависимости относительной деформации полосы позволяют определить диапазон значений деформации полосы материала при изготовлении изделий конических форм, что особенно актуально для натуральных кожевенных материалов.
3. Рассмотрена задача о нахождении пространственной формы замкнутого элемента тонкой оболочки с учетом сил тяжести и упругости, поставлена задача формообразования однослойных швейных изделий конической формы,

исходя из принципа минимума потенциальной энергии на основе методов вариационного исчисления.

4. Решена задача о нахождении пространственной формы поверхности однослойных конических изделий без учета и с учетом соединительных швов на основе методов математического моделирования; графическая визуализация геометрии поверхности изделия показана на конкретном примере.

5. Приведенные расчеты моментов инерции позволяют выявить закономерности их изменения в зависимости от расположения соединительных швов и расстояния между ними.

6. Предложенный способ проектирования одежды позволяет изготавливать изделия, состоящие из различного количества спиралевидных полос с разным числом оборотов, при этом границы полос могут быть представлены в форме спиралей Архимеда и других плоских кривых: алгебраических, синусоид, ломаных и др., что позволяет расширить модельный ряд швейных изделий.

7. При изготовлении швейных изделий с учетом формовочных свойств материалов предлагаемый способ проектирования одежды позволяет решать вопросы ресурсосбережения сырья, а также задачи минимизации отходов материалов в целом.

ГЛАВА 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОРМЫ ОДНОСЛОЙНЫХ КОНИЧЕСКИХ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

3.1. Разработка методики проведения эксперимента

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях кафедры «Технология изделий легкой промышленности» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета. В процессе проведения экспериментов решалась задача о нахождении пространственной формы однослойного швейного изделия конической формы (юбки), которое закреплялось по верхнему краю и располагалась свободно в поле сил тяжести и упругости.

Цель проведения экспериментов – проверка полученной теоретической модели, описывающей пространственную форму юбки. Для выполнения поставленной задачи был проведен эксперимент, состоящий из 40 опытов, расположенных в вершинах матрицы планирования полнофакторного эксперимента по плану Бокса-Уилсона для случая выбора трех параметров оптимизации. Количество и состав опытов определялись из условия адекватности основных параметров изделия в эксперименте и теоретических исследованиях, а также представительности выборочной совокупности [107, 108]. Для решения задачи о нахождении пространственной формы изделий применялись ткани саржевого переплетения платьевых ассортимента.

Лабораторный стенд, на котором проводился эксперимент, представлен на рис. 3.1. Стенд состоит из модели юбки 1, закрепленной по верхнему краю диска 2, расположенного на стержне 3. При освещении сверху образца параллельными лучами света, линия низа модели юбки тенью отображением проецировалась на лист бумаги 4, расположенный на столике 5.

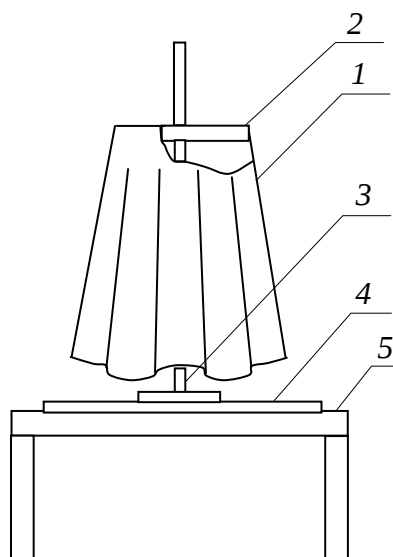


Рисунок 3.1 – Стенд для исследования геометрии низа модели юбки

Эксперимент по определению формы нижнего края модели юбки проводился следующим образом. Модель юбки закреплялась по верхнему краю на диске, при включении источника освещения тень нижнего края модели проецировалась на лист белой бумаги формата A1, на котором предварительно определялась точка, соответствующая центру проекции. Для придания модели юбки постоянной, присущей ей формы, конструкция с подвешенной моделью юбки поднималась и опускалась пять раз, и через три минуты на листе бумаги очерчивалась линия проекции низа модели и определялись координаты вершин и впадин проекции (точек, которые наиболее и наименее удалены от центра проекции).

3.2 Усовершенствование прибора для определения драпируемости материалов дисковым методом

Для исследования способности материалов к формообразованию усовершенствован прибор для определения драпируемости материалов дисковым методом.

На рис. 3.2 изображена схема усовершенствованного прибора для определения драпируемости материалов дисковым методом [109].

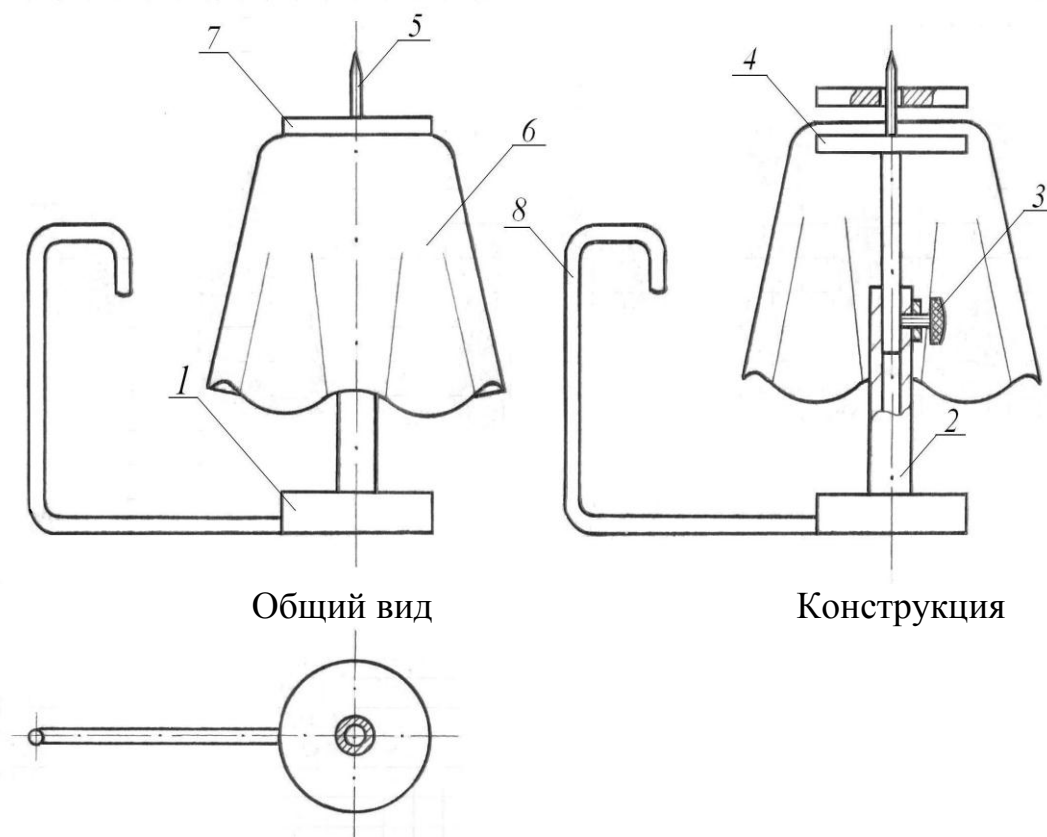


Рисунок 3.2 – Прибор для определения драпируемости материалов

Прибор состоит из основания 1, выполненного в виде диска (диаметр диска составляет 5 см), жестко скрепленного с нижней трубчатой частью телескопического стержня 2, регулируемого по длине с помощью винта 3. На верхнем конце стержня расположен основной диск 4 с иглой 5 для фиксации образца материала 6, прижимного диска 7 и ручки 8, жестко закрепленной на боковой поверхности основания. Диаметры основания, диска и прижимного диска равны между собой.

Прибор работает следующим образом. Образец материала в форме круга (соотношение диаметров образца и диска составляет 4:1) с заранее размеченными осями в продольном и поперечном направлениях фиксируют на основном диске с иглой, сверху накладывают прижимной диск. Телескопический стержень регулируют по длине и закрепляют винтом на определенной высоте после предварительного эксперимента. Для придания образцу материала постоянной, присущей ему формы, прибор при помощи ручки поднимают и опускают пять раз, и устанавливают на стекло сканера. Регистрационно-

измерительные действия осуществляют через три минуты после подъемов с помощью планшетного сканера. Драпируемость материала оценивают коэффициентом драпируемости, который определяют как отношение разницы площадей исходного образца и его горизонтальной проекции после деформации к площади исходного образца.

Возможность регулирования длины телескопического стержня прибора обеспечивает минимальный зазор между срезом образца и поверхностью сканера, что повышает точность фиксации проекции образца сканером. Прибор является компактным и переносным, позволяет снизить затраты времени на испытание и повысить объективность получаемых результатов.

На рис. 3.3 представлена схема установки для определения драпируемости материалов дисковым методом [110]. На рис. 3.4 показана получаемая горизонтальная проекция образца материала.

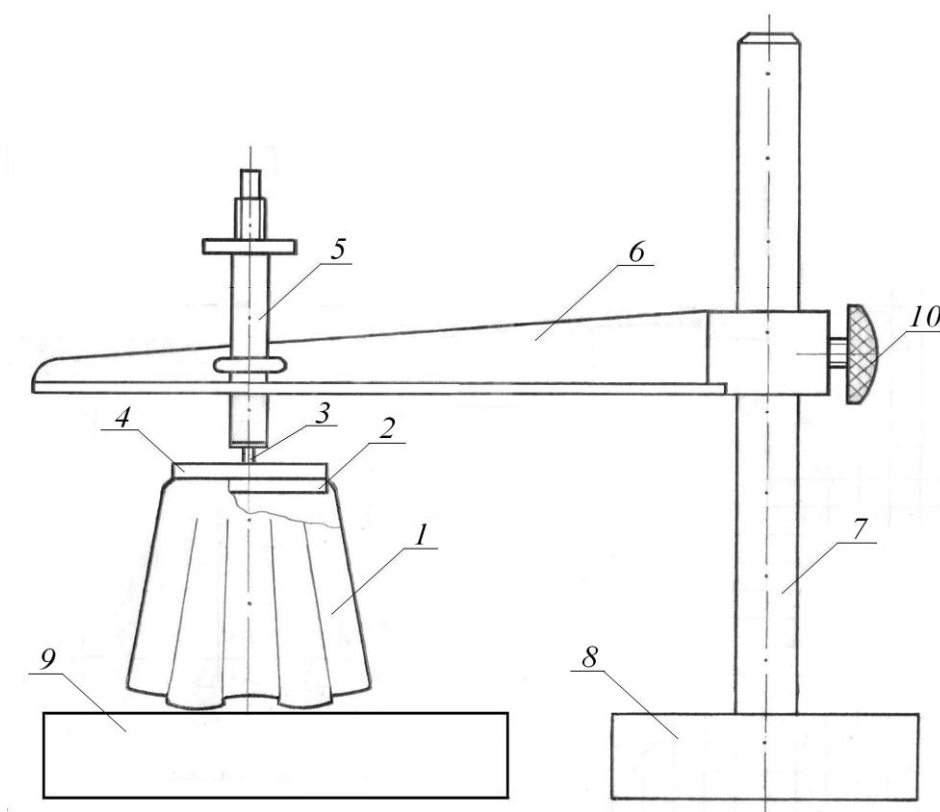


Рисунок 3.3 – Установка для определения драпируемости материалов дисковым методом

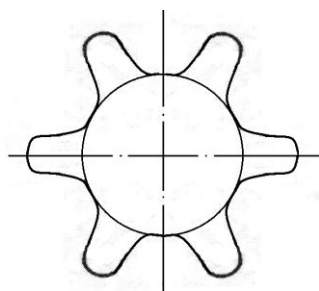


Рисунок 3.4 – Горизонтальная проекция образца материала

Образец материала в форме круга 1 фиксируют на основном диске 2 в центре с иглой 3, сверху накладывают прижимной диск 4 с отверстием в центре для иглы, и фиксируют за иглу трехлепестковым зажимом 5. Для придания образцу материала постоянной, присущей ему формы, его при помощи кронштейна 6 с закрепленным трехлепестковым зажимом поднимают и опускают пять раз вдоль стержня 7, жестко закрепленного на основании 8, максимально приближают срезы свешивающейся части образца материала к поверхности стекла планшетного сканера 9 и фиксируют положение кронштейна с помощью винта 10. Длина кронштейна обеспечивает расположение образца материала по центру стекла планшетного сканера. Перемещение образца материала возможно за счет перемещения прибора вместе с основанием, при этом регулирование положения срезов свешивающейся части образца материала относительно поверхности стекла сканера осуществляется с помощью трехлепесткового зажима. Регистрационно-измерительные действия осуществляют через три минуты после подъемов с помощью планшетного сканера, подключенного к компьютеру [110]. Фотография установки для определения драпируемости материалов представлена на рис. 3.5

На основе экспериментальных исследований установлено, что расстояние от срезов свешивающейся части образца материала до поверхности стекла планшетного сканера не должно быть более 1,5 сантиметров, что позволит получить четкую проекцию срезов свешивающейся части образца материала, и искажение проекции составит не более 5% (приложение 2).



Рисунок 3.5 – Установка для определения драпируемости материалов

Предложенный способ определения драпируемости материалов для одежды позволяет повысить объективность получаемых результатов за счет получения четкой проекции срезов свешивающейся части образца материала в натуральную величину при минимальных затратах времени.

Существенным недостатком дискового метода определения драпируемости материалов является то, что резкое перемещение прибора с закрепленным образцом не позволяет приблизить условия испытания к реальным, что влияет на точность и объективность результатов исследований.

На рис. 3.6 представлена схема усовершенствованного прибора для определения драпируемости материалов дисковым методом, позволяющего повысить объективность результатов исследований за счет равномерного распределения воздушного потока, воздействующего на образец материала [111].

Образец материала в форме круга 1 закрепляют на держателе, выполненном в виде полусферы 2 с иглой 3. Полусфера крепится на стержне 4, который соединен с основанием 5, выполненном в виде полой камеры с круговыми отверстиями, направленными в сторону полусферы. Предварительное движение образца материала происходит за счет прерывистого потока возду-

ха, подаваемого через отверстия камеры в течении одной минуты, длительность импульсов составляет 3-5 секунд, пауза между импульсами прерывистого потока воздуха составляет 1-3 секунды. В зависимости от жесткости материала, образец принимает определенную форму, проекция которой отображается на плоскость в виде замкнутой кривой. Регистрацию проекции образца материала осуществляют через три минуты после прекращения подачи воздуха с помощью планшетного сканера, подключенного к компьютеру.

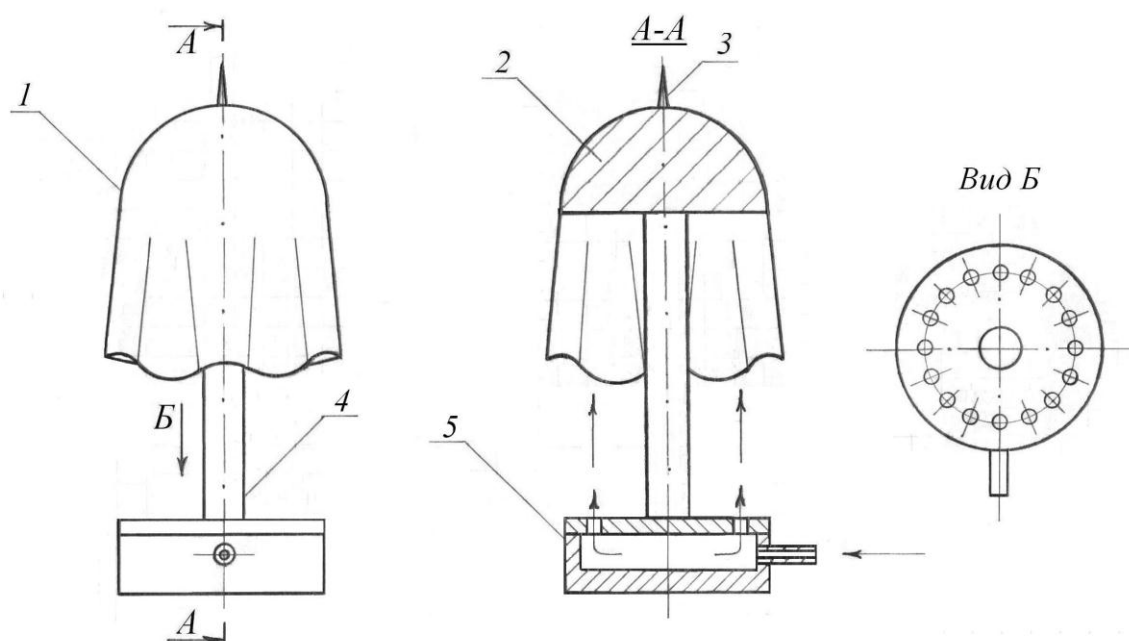


Рисунок 3.6 – Схема усовершенствованного прибора для определения драпируемости материалов дисковым методом

Преимущество предложенного способа определения драпируемости материалов заключается в том, что он позволяет повысить степень объективности результатов и снизить затраты времени на испытание.

3.3 Обоснование выбора факторов методом экспертных оценок

Планирование эксперимента позволяет выделить главные факторы, влияющие на формообразование изделия, и исключить в среднем влияние второстепенных факторов. Первоначально выбор факторов производится с помощью технологической и экономической целесообразности [112].

Для выявления факторов, которые в большей степени влияют на формообразование поверхности швейных изделий, использовалось априорное ран-

жирование факторов. Экспертам был предложен следующий список факторов: X_1 – размерные признаки тела человека; X_2 – длина изделия; X_3 – количество швов в изделии; X_4 – направление швов в изделии; X_5 – технологическая обработка швов; X_6 – жесткость ткани на изгиб; X_7 – отделка ткани; X_8 – поверхностная плотность ткани; X_9 – крутка нитей; X_{10} – волокнистый состав ткани; X_{11} – форма поперечного сечения составляющих волокон; X_{12} – вид переплетения ткани; X_{13} – растяжение ткани; X_{14} – толщина ткани; X_{15} – несминаемость ткани; X_{16} – электризуемость ткани; X_{17} – раздвигаемость нитей в тканях; X_{18} – гигроскопические свойства ткани; X_{19} – действие светопогоды; X_{20} – оптические свойства ткани. Согласно экспертной оценке (в данном случае мнения 25 экспертов из числа преподавателей кафедры «Технология изделий легкой промышленности» и специалистов, работающих в швейной промышленности) определены факторы, оказывающие существенное влияние на критерий оптимизации. Результаты опроса экспертов обработаны с помощью программы «Ранг» и представлены в табл. ПЗ (приложение 3). Коэффициент конкордации равен $W=0,86$, следовательно, можно считать, что мнения специалистов согласуются между собой. Диаграмма рангов, построенная с помощью программы «Ранг», представлена на рис. 3.7.

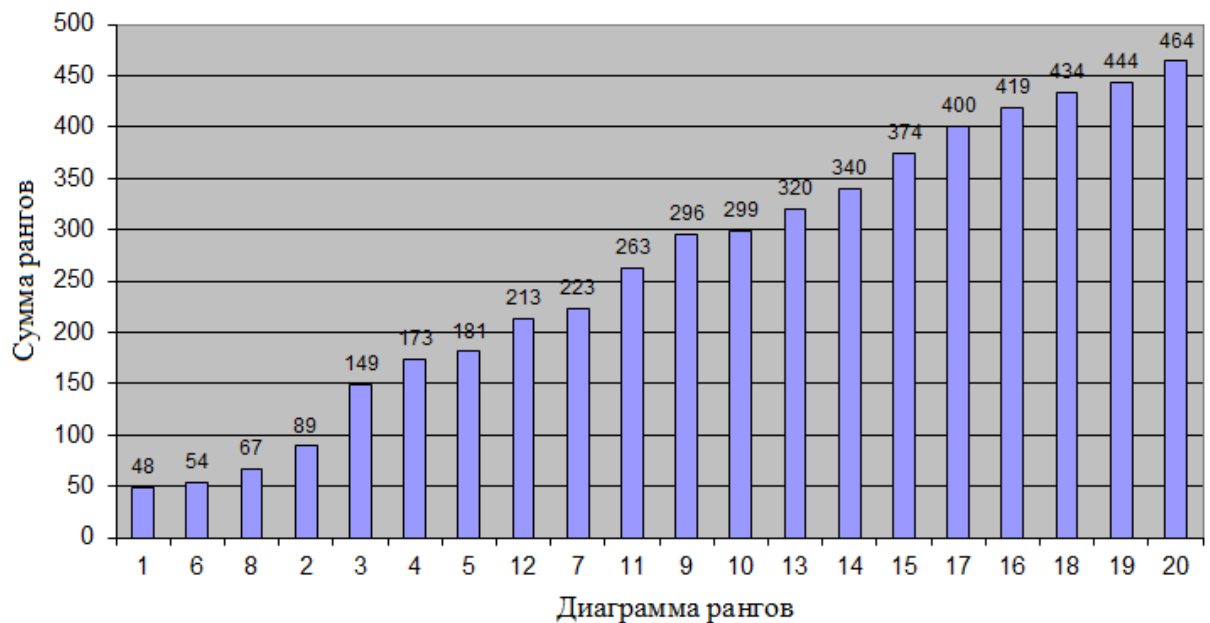


Рисунок 3.7 – Диаграмма рангов

В результате статистической обработки выделены следующие наиболее значимые факторы, влияющие на формообразование поверхности швейных изделий (по степени значимости влияния на критерий оптимизации): X_1 – размерные признаки тела человека, X_3 – жесткость ткани на изгиб, X_5 – поверхностная плотность материала, X_2 – длина изделия, X_6 – количество швов в изделии. Таким образом, для рассматриваемой модели пространственной формы однослойной конической юбки наиболее значимыми факторами являются: обхват талии O_t , м; обхват бедер O_b , м; расстояние от линии талии до линии бедер H , м; длина юбки L , м; жесткость материала B , м; поверхностная плотность материала Ms , г/м²; количество соединительных швов p , шт.

На рис. 3.8 представлена схема исследования пространственной формы модели юбки в виде «черного ящика».

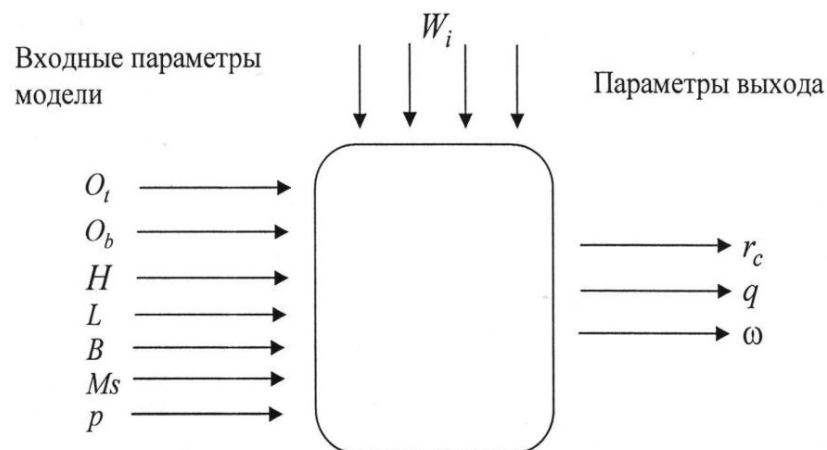


Рисунок 3.8 – Схема исследования пространственной формы модели юбки в виде «черного ящика»

Соответственно, это означает конкретные условия проведения опытов. Если перебирать все возможные состояния условий проведения опытов, то получим все множество возможных состояний изучаемого «черного ящика», при этом количество возможных состояний «черного ящика» будет равно числу всех проведенных опытов [113].

Функциями отклика рассматриваемой модели юбки являются величины параметров среднего радиуса r_c , амплитуды q и частоты ω . Эффекты

взаимодействия второстепенных факторов, оказывающих малые воздействия на модель, исключаются в среднем для сравнительно небольшого количества опытов на основе центрального композиционного ротatableльного планирования (ЦРКП) для полнофакторного эксперимента [114].

3.4 Применение теории подобия для сокращения количества проводимых опытов

Теория подобия применяется как аппарат, позволяющий существенно уменьшить трудовые и материальные затраты на изготовление новых изделий, выбрать близкие к оптимальным значения геометрических, силовых и других характеристик [115].

Суть метода подобия состоит в том, что у подобных явлений есть безразмерный комплекс, имеющий одно и то же значение в характерных точках, этот комплекс называется критерием подобия (геометрического, кинематического или динамического).

Два изделия называются подобными, если параметры одного из них могут быть рассчитаны на основе параметров другого. Подобие двух изделий называется абсолютным, если все параметры, характеризующие одно изделие, пропорциональны всем параметрам другого изделия. Для двух геометрических фигур их подобие означает пропорциональность размеров этих фигур (рис. 3.9)

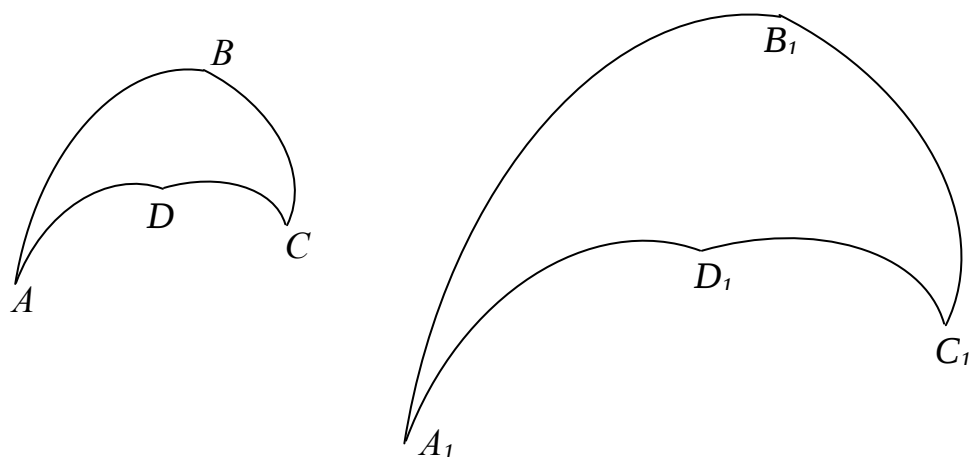


Рисунок 3.9 – Подобные фигуры с коэффициентом пропорциональности линейных размеров, равным двум

Фигуры $ABCD$ и $A_1B_1C_1D_1$ имеют коэффициент пропорциональности линейных размеров, равный двум. В общем случае для двух подобных фигур $ABCD$ и $A_1B_1C_1D_1$ имеют место соотношения

$$\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{A_1C_1}{AC} = \frac{A_1D_1}{AD} = \frac{B_1C_1}{BC} = \kappa, \quad (3.1)$$

где κ – коэффициент подобия.

Соответственно, для площадей этих фигур можно составить отношение

$$\frac{S_{A_1B_1C_1D_1}}{S_{ABCD}} = \kappa^2. \quad (3.2)$$

Для физических явлений понятие геометрического подобия обобщается и распространяется на все параметры, описывающие исследуемый процесс. Так как физический процесс происходит в пространстве и во времени, то такое подобие называют динамическим. Поскольку при этом отдельные параметры процесса также изменяются в пространстве и во времени, то они создают поля скоростей, давлений, температур и т.д. Подобие таких полей называют кинематическим подобием [115]. Применительно к проводимому эксперименту, можно сказать, что силы, оказывающие воздействие на изделие, в соответствующих точках при проведении экспериментальных исследований и на теоретической модели должны быть пропорциональны для подобных изделий. Такое же подобие должно иметь место для изделий, имеющих пропорционально меньшие геометрические размеры.

Преимущество использования метода подобия состоит в том, что существенно сокращается число проводимых опытов по плану полнофакторного эксперимента (ПФЭ). Как было показано в пункте 3.3, число входных параметров модели по определению формы поверхности модели юбки равно 7, соответственно по плану ПФЭ количество опытов равно

$$n = 2^7 = 128. \quad (3.3)$$

Если же параметры 1) обхват талии; 2) обхват бедер; 3) расстояние от линии талии до линии бедер; 4) длина юбки определять, исходя из геометрического подобия, то число факторов модели уменьшится до трех, соответственно число опытов по плану эксперимента равно

$$n = 2^3 = 8,$$

т.е. число проводимых опытов сократится в 32 раза.

Размерность модуля упругости, $E, H/m^2$ связана с размерностью поверхностной плотности ткани $M_s, g/m^2$ и определяется по формуле

$$E = [H/m^2] = \left[\frac{kg \cdot m}{c^2} \cdot \frac{1}{m^2} \right] = \left[\frac{kg}{m^2} \cdot \frac{m}{c^2} \right] = M_s \cdot \left[\frac{m}{c^2} \right]. \quad (3.4)$$

Таким образом, определив связь между величинами E и M_s , найдем зависимость величины M_s от B . Следовательно, для проведения опытов достаточно иметь значения лишь двух независимых факторов: 1) жесткость материала на изгиб B и 2) количество швов p . Тогда количество опытов по плану эксперимента будет равно

$$n = 2^2 = 4. \quad (3.5)$$

Третья теорема подобия М.В. Кирпичева и А.А. Гухмана формулируется следующим образом: необходимыми и достаточными условиями для создания подобия является пропорциональность сходственных параметров, входящих в условия однозначности, и равенство критериев подобия сопоставляемых явлений [116]. Условия однозначности не зависят от механизма самого явления и представляют собой:

- геометрические свойства исследуемого изделия;
- физические параметры изделия;
- начальное состояние изделия (начальные условия);
- граничные или краевые условия.

Исходя из принципа подобия, легко рассчитать параметры исследуемых изделий с помощью разработанных приборов, представленных в пункте 3.2. Так как для экспериментальных исследований диаметр диска составляет 22 см, а для приборов диаметр диска равен 5 см, то

$$\kappa = \frac{D_{\text{лаб}}}{D_{\text{пр}}} = \frac{22}{5} = 4,4. \quad (3.6)$$

Исследуемая модель описывается в общем случае дифференциальным уравнением связи между факторами (входными параметрами) и параметрами

оптимизации. Необходимым условием подобия двух изделий является один и тот же вид дифференциального уравнения. В этом случае, если характер описания пространственной формы изделий одинаковый, то их можно отнести к одному виду.

3.5 Использование планирования эксперимента для исследования пространственной формы замкнутого элемента тонкой оболочки

В качестве замкнутого элемента тонкой оболочки рассмотрена краевая круговая полоса материала шириной 1,5 см, являющаяся элементом изделия, которое проектируется в форме прямого кругового усеченного конуса. Ширина замкнутого элемента тонкой оболочки определена, исходя из условия его достаточной приближенности к элементу тонкой оболочки и условия, чтобы элемент не перекручивался вокруг собственной оси.

Экспериментальные исследования проводились по методике, описанной в пункте 3.1. По краю диска закреплялись гибкие нерастяжимые нити равной длины и на одинаковом расстоянии друг от друга, противоположные концы нитей закреплялись по краю замкнутого элемента тонкой оболочки (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Стенд для исследования пространственной формы замкнутого элемента тонкой оболочки

Требуется установить зависимость пространственной формы замкнутого элемента тонкой оболочки от жесткости материала и геометрических параметров элемента. Рассмотрим зависимость формы замкнутого элемента тонкой оболочки от двух входных факторов:

X_1 – жесткость материала на изгиб, $мкН \cdot см^2$;

X_2 – количество швов, *шт.*

В качестве параметров оптимизации модели рассмотрим средний радиус r_c , амплитуду q и частоту проекции ω .

Количество значений, которые факторы X_1 и X_2 могут принимать, называются уровнями фактора. Полный факторный эксперимент характеризуется тем, что при неизменных возмущающих воздействиях W_i минимальное число уровней каждого фактора равно двум. В этом случае, зафиксировав один из факторов, необходимо провести два измерения, соответствующих двум уровням другого фактора. Последовательно осуществляя такую процедуру для каждого из факторов X_i , получили необходимое число N опытов в ПФЭ для реализации всех возможных сочетаний уровней факторов $N = 2^2 = 4$.

Каждый из факторов X_1 и X_2 имеет область определения, которая установлена до проведения эксперимента. Основная проблема состоит в выборе области варьирования факторов, поскольку эта задача является неформализованной [117]. Комбинацию факторов можно представить как точку на плоскости, характеризующую состояние системы. На практике целью многофакторного эксперимента является установление зависимости

$$M(Y) = f(\bar{X}; \bar{\beta}), \quad (3.7)$$

где Y – среднее по выборке значение функции отклика Y ;

$M(Y)$ – математическое ожидание среднего Y ;

$\bar{X}$ – вектор входных параметров модели;

$\bar{\beta} = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots)$ – вектор коэффициентов регрессии.

Вид зависимости (3.7) определяется из условия адекватности модели, описывающей поведение объекта. В настоящей работе модель (3.7) рассматривалась в виде полинома второй степени

$$f_1(\bar{X}; \bar{\beta}) = \beta_0 + \beta_1 B + \beta_2 p + \beta_3 \cdot B \cdot p. \quad (3.8)$$

Для построения плана эксперимента выбран основной уровень и интервал варьирования управляемых параметров X_1 и X_2 . Для каждого из факторов X_1 и X_2 интервал варьирования определялся по формуле

$$I_i = \frac{X_i^{\max} - X_i^{\min}}{2}, i = 1, 2, \quad (3.9)$$

а основной уровень – как среднее значение

$$X_i^0 = \frac{X_i^{\max} + X_i^{\min}}{2}; \quad (3.10)$$

здесь: $X_i^{\max}, X_i^{\min}$ – наибольшие и наименьшие значения факторов X_1 и X_2 , при значении индекса $i=1$ рассматривался фактор X_1 , а при $i=2$ – фактор X_2 .

Для упрощения планирования эксперимента вместо реальных (натуральных) уровней X_i использовались кодированные значения факторов при помощи следующего преобразования

$$x_i = \frac{X_i - X_i^0}{I_i}. \quad (3.11)$$

В результате x_i принимает значения на границах -1 и 1, а на основном уровне $x_i = 0$. Уровни и интервалы варьирования факторов в кодированных и в соответствующих им реальных переменных представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 - Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Уровни варьирования			Интервалы варьирования, I_i
	-1	0	1	
B – жесткость материала, $мкН \cdot см^2$	420	702	984	282
p – количество швов, <i>шт.</i>	2	3	4	1

Исходные данные параметров элемента следующие:

$$\begin{aligned} \text{длина окружности диска} &= 0,82 \text{ м;} \\ \text{длина замкнутого элемента тонкой оболочки} &= 1,46 \text{ м;} \\ \text{длина нитей} &= 0,525 \text{ м.} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Каждая точка из области эксперимента представляет собой конкретный вариант элемента тонкой оболочки с соответствующими параметрами. Точке (-1;-1) соответствует элемент с наименьшей жесткостью материала, равной $420 \text{ мкН} \cdot \text{см}^2$ и наименьшим числом швов, равным 2. В этом случае элемент имеет 5 вершин и 5 впадин. Точкам (-1;1) (жесткость $420 \text{ мкН} \cdot \text{см}^2$ и число швов 4) и (1;-1) (жесткость $984 \text{ мкН} \cdot \text{см}^2$ и число швов 2) соответствуют элементам, для которых эксперимент показал наличие 4 вершин и 4 впадин на срединной линии. Точке (1;1) соответствует элемент с наибольшей жесткостью, равной $984 \text{ мкН} \cdot \text{см}^2$ и наибольшим числом швов, равным 4. В этом случае срединная линия элемента имеет 3 вершины и 3 впадины.

Все результаты значений экспериментальных расстояний (в метрах) от центра до вершин M_i и до впадин проекций N_i представлены в табл. 3.2 в соответствии с порядком следования вершин, т.е. вершины и впадины с номерами от 1 до 5 соответствуют точке (-1;-1), с номерами от 6 до 9 – точке (-1;1), с номерами от 10 до 13 – точке (-1;1), с номерами от 14 до 16 – точке (1; 1).

Таблица 3.2 – Величины расстояний от центра до вершин и впадин проекции элемента тонкой оболочки по результатам эксперимента

№ п/п	Вершины	Впадины	№ п/п	Вершины	Впадины
1	0,178	0,095	9	0,190	0,102
2	0,182	0,107	10	0,197	0,123
3	0,195	0,097	11	0,193	0,132
4	0,192	0,090	12	0,190	0,134
5	0,178	0,085	13	0,200	0,112
6	0,184	0,110	14	0,221	0,170
7	0,192	0,105	15	0,210	0,157
8	0,185	0,102	16	0,232	0,148

Для каждой точки плана эксперимента определены значения r_c и q по формулам

$$r_c = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{r_{\max,i} + r_{\min,i}}{2}; q = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{r_{\max,i} - r_{\min,i}}{2}, \quad (3.13)$$

где: $r_{\max,i}$ – расстояние от вершин M_i до центра проекции;

$r_{\min,i}$ – расстояние от впадин M_i до центра проекции;

$i = 1, 2, \dots, k$; k – количество вершин (впадин) проекции.

В табл. 3.3. представлены экспериментальные данные средних по каждой выборке значений r_c и q для матрицы рототабельного центрального композиционного планирования (РЦКП) по плану Бокса-Уилсона.

Таблица 3.3 – Матрица планирования РЦКП в кодированных переменных и результаты эксперимента

№ уровня фактора	x_1	x_2	Средний радиус r_c , м	Амплитуда q , м	Количество складок ω , шт.
1	–	–	0,1851	0,0451	5
2	–	+	0,186	0,0415	4
3	+	–	0,1863	0,03675	4
4	+	+	0,1996	0,028	3

По матрице планирования в *Maple 9.5* рассчитана регрессионная модель зависимости среднего радиуса r_c , от входных параметров x_1, x_2 :

$$r_c = 10^{-2}(15,935 + 1,6275x_1 + 1,0275x_2 + 0,71x_1x_2). \quad (3.14)$$

Проверим модель (3.14) на адекватность эксперименту по критерию Фишера [118]. Для этого приведем схему проверки статистической гипотезы о значимости зависимости (3.14).

Найдем сумму квадратов отклонений значений функции $r_c(x_1, x_2)$ от среднего для результирующего фактора R_c по формуле:

$$Q_{R,r_c} = \sum_{k=1}^n \left(r_c(x_{1,k}; x_{2,k}) - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n R_{c,k} \right)^2, \quad (3.15)$$

где: k – номер опыта из табл. 3.2 с соответствующими значениями $x_{1,k}, x_{2,k}, k = 1, 2, \dots, n$;

$R_{c,k}$ – экспериментальные значения среднего радиуса;

$r_c(x_{1,k}; x_{2,k})$ – значения среднего радиуса;

$n = 16$ – количество проведенных опытов.

Остаточная сумма квадратов, характеризующая влияние неучтенных факторов, вычисляется по формуле

$$Q_{e,r_c} = \sum_{k=1}^n (r_c(x_{1,k}, x_{2,k}) - R_{c,k})^2. \quad (3.16)$$

Наблюдаемое значение статистики критерия Фишера

$$F_{\text{набл}} = \frac{Q_{R,r_c} \cdot (n-m)}{Q_{e,r_c} \cdot (m-1)}, \quad (3.17)$$

где $m=5$ – число оцениваемых параметров модели.

Уравнение значимо на уровне α , если фактически наблюдаемое значение статистики

$$F_{\text{набл}} > F_{(\alpha; k_1; k_2)}, \quad (3.18)$$

где: α – уровень значимости критерия,

$F_{(\alpha; k_1; k_2)}$ – табличное значения критерия Фишера, определенное на уровне α и при $k_1 = m-1$ и $k_2 = n-m$ степенях свободы.

Для проверки значимости уравнения (3.14) вычислим сумму квадратов отклонений значений для модельной зависимости от выборочного среднего для фактора R_c по формуле (3.15)

$$Q_{R,r_c} = 10^{-3} \cdot 5,8035.$$

Остаточная сумма квадратов, характеризующая влияние неучтенных факторов, равна

$$Q_{e,r_c} = 10^{-3} \cdot 0,3132.$$

Найдем значение статистики критерия Фишера

$$F_{\text{набл}} = 50,957.$$

Табличное значение критерия на уровне значимости $\alpha = 0,05$ и при степенях свободы $k_1 = 4$, $k_2 = 11$ равно

$$F_{(\alpha=0,05; 4; 11)} = 3,36.$$

Табличное значение критерия на уровне значимости $\alpha = 0,01$ и при $k_1 = 4$, $k_2 = 11$ равно

$$F_{(\alpha=0,01; 4; 11)} = 5,67.$$

Так как $F_{\text{набл}} > F_{(\alpha; k_1; k_2)}$, то есть гипотеза о зависимости между факторами R_c и x_1, x_2 значима как на уровне $\alpha = 0,05$, так и на уровне $\alpha = 0,01$, то гипотеза о модельной зависимости (3.14) принимается как правдоподобная.

Проверим гипотезы о значимости каждого из коэффициентов $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_3$ зависимости (3.14), проверка проводится по t – критерию Стьюдента [119]. Для проверки гипотезы о значимости коэффициента β_i построим симметричный относительно нуля доверительный интервал с правой границей [120]

$$\Delta_{R_c} = \frac{t(\alpha; n-m) \sqrt{Q_{e, r_c}}}{\sqrt{n}}.$$

где $t(\alpha; n-m)$ – критическая точка распределения Стьюдента на уровне значимости α при $n-m$ степенях свободы.

Если модуль коэффициента β_i больше Δ_{R_c} , то коэффициент β_i является значимым для модели (3.14) то есть влияние слагаемого, содержащего коэффициент β_i существенно для модели. Если $\beta_i \leq \Delta_{R_c}$ коэффициент β_i является незначимым, то влиянием слагаемого модели можно пренебречь.

На уровне значимости $\alpha = 0,05$ при $n-m=11$ по таблице вычисляем значение распределения критических точек

$$t(\alpha = 0,05; 11) = 2,201.$$

Находим правую границу доверительного интервала

$$\Delta_{R_c} = \frac{2,201 \cdot \sqrt{10^{-3} \cdot 0,3132}}{4} = 0,009738.$$

Сравнивая модули коэффициентов модели со значением Δ_{R_c} , приходим к выводу, что статистически значимыми факторами модели являются как фактор x_1 , так и фактор x_2 . Статистически незначимым является лишь фактор совместного влияния x_1, x_2 . При этом влияние каждого из факторов x_1 и x_2 на функцию отклика R_c положительное. Найдем зависимость параметра оптимизации от входных параметров модели в реальных переменных, для чего выполним обратные преобразования к (3.11)

$$B = 282x_1 + 702; \quad p = x_2 + 3. \quad (3.19)$$

Пользуясь формулами (3.21), получим зависимость в виде (3.20)

$$r_c = 10^{-3}(141,034 - 0,0178 \cdot B - 7,3995p + 0,0252 \cdot B \cdot p). \quad (3.20)$$

Найдем регрессионную зависимость амплитуды проекции q от входных параметров и проверим ее на адекватность.

На основе статистических данных табл. 3.2 в среде *Maple 9.5* рассчитана регрессионная модель зависимости амплитуды проекции q от входных параметров x_1, x_2

$$q = 10^{-2}(3,7838 - 0,5463x_1 - 0,3088x_2 - 0,1288x_1x_2). \quad (3.21)$$

Для проверки значимости уравнения (3.23) вычислим сумму квадратов отклонений значений для модельной зависимости от выборочного среднего для фактора q

$$Q_{R,q} = 0,59416 \cdot 10^{-3}.$$

Остаточная сумма квадратов, характеризующая влияние неучтенных факторов, равна

$$Q_{e,r_c} = 0,25845 \cdot 10^{-3}.$$

Найдем значение статистики критерия Фишера

$$F_{\text{набл}} = 6,3221.$$

Табличное значение критерия на уровне значимости $\alpha = 0,05$ и при степенях свободы $k_1 = 4$, $k_2 = 11$ равно

$$F_{(\alpha=0,05; 4; 11)} = 3,36.$$

Табличное значение критерия на уровне значимости $\alpha = 0,01$ и при $k_1 = 4$, $k_2 = 11$ равно

$$F_{(\alpha=0,01; 4; 11)} = 5,67.$$

Так как $F_{\text{набл}} > F_{(\alpha; k_1; k_2)}$ в обоих случаях, то гипотеза о зависимости между факторами q и x_1, x_2 значима уровнях $\alpha = 0,05$ и $\alpha = 0,01$, то есть гипотеза о модельной зависимости (3.21) принимается как правдоподобная.

Проверим гипотезы о значимости коэффициентов $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_3$ модельной зависимости (3.21) по критерию Стьюдента. По рассчитанному значению $t(\alpha = 0,05; n - m = 11) = 2,201$ находим правую границу доверительного интервала

$$\Delta_{R_c} = \frac{2,201 \cdot \sqrt{10^{-3} \cdot 0,28845}}{4} = 0,008846.$$

Сравнивая модули коэффициентов модели (3.21) со значением Δ_q , приходим к выводу, что статистически значимым фактором является только фактор величины среднего значения амплитуды.

Найдем зависимость параметра оптимизации от входных параметров модели в реальных переменных

$$q = 10^{-4}(510,8298 - 0,05674 \cdot B + 11,7553p - 0,04565 \cdot B \cdot p). \quad (3.22)$$

Регрессионные зависимости (3.20) и (3.22) определяют значения параметров r_c , q по результатам статистических исследований формы замкнутого элемента тонкой оболочки при входных параметрах в виде (3.8). На основании критерия Фишера подтверждены регрессионные зависимости для среднего радиуса и амплитуды замкнутого элемента тонкой оболочки.

3.6 Исследование пространственной формы модели юбки

с использованием планирования эксперимента второго порядка

Исследовалась зависимость формы проекции низа модели юбки от двух входных параметров (факторов):

B – жесткость ткани на изгиб, $мкН \cdot см^2$;

p – количество соединительных швов, $шт.$

Параметрами оптимизации модели являлись средний радиус R_c , амплитуда q и частота проекции ω .

Для построения плана эксперимента выбирались основной уровень и интервалы варьирования параметров B и p по формулам (3.9), (3.10). Для упрощения планирования эксперимента вместо реальных уровней X_i использовались кодированные значения факторов с помощью преобразования (3.11).

Тогда кодированные переменные x_i принимают значения на границах -1 и 1, а на основном уровне $x_i = 0$. Уровни и интервалы варьирования факторов в кодированных и реальных переменных представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Уровни и интервалы варьирования факторов при определении формы низа модели юбки

Факторы	Уровни варьирования			Интервалы варьирования, I_i
	-1	0	1	
B – жесткость ткани на изгиб $мкН \cdot см^2$	95	359	623	264
p – количество швов, шт.	3	5	7	2

Входные данные геометрических параметров образца юбки следующие:

$$O_t (\text{обхват талии}) = 0,76 \text{ м};$$

$$O_b (\text{обхват бедер}) = 1,04 \text{ м};$$

$$h (\text{расстояние от линии талии до линии бедер}) = 0,197 \text{ м};$$

$$L (\text{длина изделия}) = 0,72 \text{ м}.$$

(3.23)

Каждая точка области эксперимента представляет собой конкретный вариант однослойного конического изделия (юбки) с соответствующими параметрами. Точке (-1;-1) соответствует изделие с наименьшей жесткостью, равной $95 \text{ мкН} \cdot \text{см}^2$ и наименьшим количеством швов, равным 3. В этом случае проекция низа юбки имеет 8 вершин и 8 впадин. Точкам (-1;1) (жесткость $95 \text{ мкН} \cdot \text{см}^2$ и количество швов 7) и (1;-1) (жесткость $623 \text{ мкН} \cdot \text{см}^2$ и число швов 3) соответствуют изделиям, для которых эксперимент показал наличие 6 вершин и 6 впадин на проекции низа модели юбки. Точке (1;1) соответствует изделие с наибольшей жесткостью $623 \text{ мкН} \cdot \text{см}^2$ и наибольшим количеством швов, равным 7. В этом случае проекция низа модели юбки имеет 4 вершины и 4 впадины.

Все результаты экспериментальных значений расстояний от центра проекций до вершин M_i и впадин N_i представлены в табл. 3.5 в соответствии с

порядком следования вершин, т.е. вершинам с номерами от 1 до 8 соответствует точка $(-1;-1)$, с номерами от 9 до 14 – точка $(-1;1)$, с номерами от 15 до 20 – точка $(-1;1)$, с номерами от 21 до 24 – точка $(1; 1)$.

В каждой точке плана эксперимента определены значения r_c и q по формулам (3.13). Средние по каждой выборке значения r_c и q по экспериментальным данным представлены в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Расстояния от центров до вершин и впадин проекций модели юбки по результатам эксперимента

№ п/п	Вершины	Впадины	№ п/п	Вершины	Впадины
1	0,201	0,16	13	0,215	0,172
2	0,208	0,154	14	0,212	0,16
3	0,210	0,165	15	0,211	0,152
4	0,205	0,155	16	0,217	0,164
5	0,205	0,158	17	0,203	0,158
6	0,205	0,160	18	0,219	0,158
7	0,215	0,165	19	0,217	0,152
8	0,215	0,162	20	0,219	0,165
9	0,208	0,164	21	0,235	0,160
10	0,217	0,157	22	0,230	0,170
11	0,201	0,159	23	0,240	0,170
12	0,205	0,162	24	0,227	0,165

Матрица планирования РЦКП в кодированных переменных и средние значения r_c, q проекции низа модели юбки представлены в табл. 3.6

Таблица 3.6. - Матрица планирования РЦКП в кодированных переменных и средние значения r_c, q проекции низа модели юбки

№ опыта	x_1	x_2	средний радиус $r_c, м$	амплитуда $q, м$	Количество складок $\omega, шт.$
1	–	–	0,1843	0,02406	8
2	–	+	0,186	0,02367	6
3	+	–	0,1863	0,02808	6
4	+	+	0,1996	0,03337	4

По матрице планирования рассчитана регрессионная модель зависимости среднего радиуса r_c для низа модели юбки от входных параметров x_1, x_2 :

$$r_c = 10^{-2}(18,895 + 0,3984x_1 + 0,3859x_2 + 0,2828x_1x_2). \quad (3.24)$$

Для проверки значимости уравнения (3.24) вычислим сумму квадратов отклонений значений от выборочного среднего для фактора R_c

$$Q_{R,r_c} = 10^{-3} \cdot 0,71196.$$

Соответственно, остаточная сумма квадратов, характеризующая влияние неучтенных факторов, равна

$$Q_{e,r_c} = 10^{-3} \cdot 0,37528.$$

Найдем значение статистики критерия Фишера

$$F_{\text{набл}} = 9,4857.$$

Табличное значение критерия на уровне значимости $\alpha = 0,05$ и при степенях свободы $k_1 = 4$, $k_2 = 19$ равно

$$F_{(\alpha=0,05; 4; 19)} = 2,90.$$

Табличное значение критерия на уровне значимости $\alpha = 0,01$ при $k_1 = 4$, $k_2 = 19$ равно

$$F_{(\alpha=0,01; 3; 11)} = 4,50.$$

Так как $F_{\text{набл}} > F_{(\alpha; k_1; k_2)}$ в обоих случаях, то гипотеза о зависимости между факторами R_c и x_1, x_2 значима как на уровнях $\alpha = 0,05$ и $\alpha = 0,01$, то есть гипотеза о модельной зависимости (3.24) принимается как правдоподобная.

Проверим гипотезы о значимости коэффициентов $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ модельной зависимости (3.24) с помощью критерия Стьюдента. На уровне значимости $\alpha = 0,05$ при $n - m = 19$ по таблице критических точек распределения Стьюдента вычисляем значение

$$t(\alpha = 0,05; 19) = 2,093.$$

Находим правую границу доверительного интервала

$$\Delta_{R_c} = \frac{2,093 \cdot \sqrt{10^{-3} \cdot 0,37528}}{\sqrt{24}} = 0,008276.$$

Сравнивая модули коэффициентов модели (3.24) со значением Δ_{R_c} , приходим к выводу, что статистически значимым фактором является только фактор величины среднего радиуса модели юбки.

Найдем зависимость параметра оптимизации от входных параметров модели в реальных переменных. Для этого сделаем обратные преобразования (3.11) с учетом значений, приведенных в табл. 3.5

$$B = 264x_1 + 359; \quad p = 2x_2 + 5. \quad (3.25)$$

Пользуясь формулами (3.25), получим зависимость в виде (3.26)

$$r_c = 10^{-3}(183,5011 - 0,01169 \cdot B + 0,00678p + 0,00536 \cdot B \cdot p). \quad (3.26)$$

Найдем регрессионную зависимость амплитуды проекции q от входных параметров, и проверим ее на адекватность.

На основе статистических данных табл. 3.5 рассчитана регрессионная модель зависимости амплитуды проекции q от входных параметров x_1, x_2 :

$$q = 10^{-2}(2,7297 + 0,3432x_1 + 0,1224x_2 + 0,1422x_1x_2). \quad (3.27)$$

Для проверки значимости уравнения (3.27) вычислим сумму квадратов отклонений значений от выборочного среднего для фактора q

$$Q_{R,q} = 10^{-3} \cdot 0,29979.$$

Остаточная сумма квадратов, характеризующая влияние неучтенных факторов

$$Q_{e,r_c} = 10^{-3} \cdot 0,19795.$$

Значение статистики критерия Фишера равно

$$F_{\text{набл}} = 7,1939.$$

По рассчитанному значению $t(\alpha = 0,05; n - m = 19) = 2,093$ определяется правая граница доверительного интервала

$$\Delta_{R_c} = \frac{2,093 \cdot \sqrt{10^{-3} \cdot 0,19795}}{\sqrt{24}} = 0,006011.$$

Сравнивая модули коэффициентов модели (3.27) со значением Δ_q , приходим к выводу, что статистически значимым фактором является только фактор величины средней амплитуды.

Найдем зависимость параметра оптимизации от входных параметров модели в реальных переменных. Для этого применим преобразование (3.25), после упрощений получим

$$q = 10^{-3}(24,403 - 0,000464 \cdot B - 0,354788p - 0,002693 \cdot B \cdot p). \quad (3.28)$$

Регрессионные зависимости (3.24) и (3.28) определяют значения параметров r_c и q по результатам статистических исследований формы низа модели юбки при входных данных в виде (3.23). На основании критерия Фишера подтверждены регрессионные зависимости для среднего радиуса и амплитуды проекции низа модели юбки.

3.7 Сопоставление результатов теоретического расчета и экспериментальных исследований по определению пространственной формы замкнутого элемента тонкой оболочки и формы модели юбки

Проведенный в предыдущих пунктах расчет параметров регрессионных зависимостей, определяющих пространственную форму замкнутого элемента тонкой оболочки и форму низа модели юбки выполнен с помощью методов многомерного статистического анализа.

Выполним сопоставление расчетных формул с результатами экспериментальных исследований, для чего представим табличную и графическую визуализацию приведенных зависимостей (рис. 3.10). Сначала сравним пространственную форму замкнутого элемента тонкой оболочки в теоретических расчетах и экспериментальных исследованиях при одинаковых значениях входных параметров модели, задаваемых в виде (3.12) при значениях жесткости $B = 420 \text{ мкН} \cdot \text{см}^2$ и количества швов $p = 2$, т.е. для точки (-1;-1) из плана эксперимента.

Рассогласование между теоретической и экспериментальной кривыми для замкнутого элемента тонкой оболочки по радиусу не превосходит 9% (рис. 3.11).

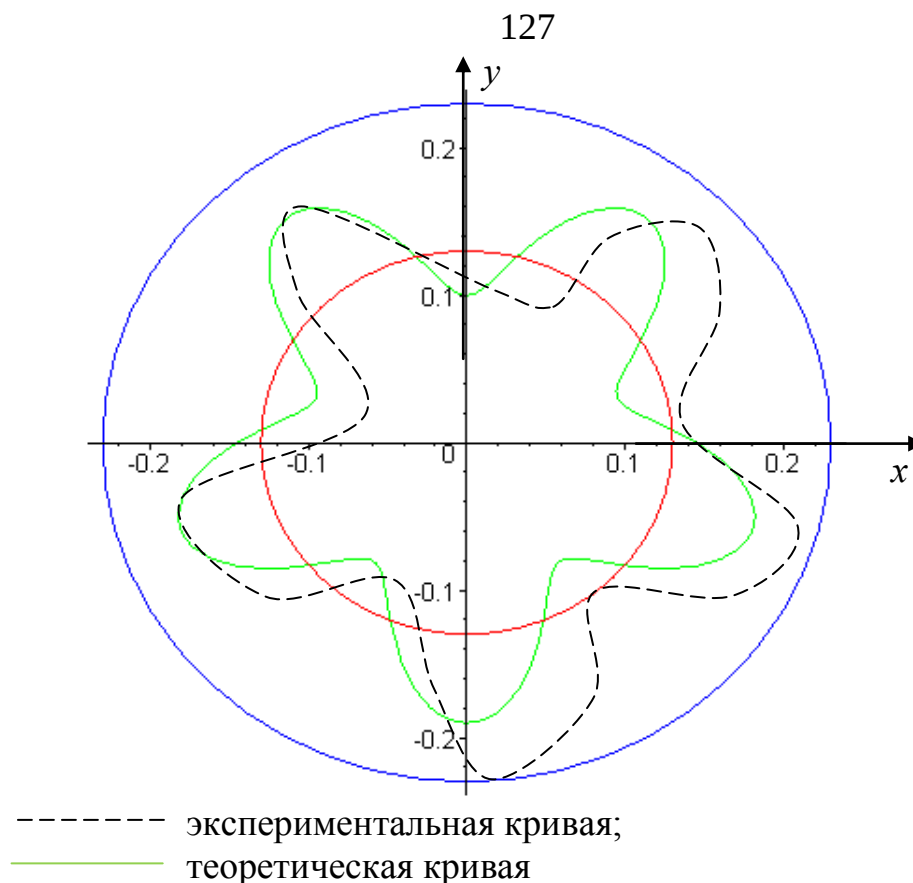


Рисунок 3.11 – Сравнение теоретической и экспериментальной
 кривых для замкнутого элемента тонкой оболочки

В табл. 3.7 приведено сравнение теоретических параметров среднего радиуса замкнутого элемента тонкой оболочки r_c и амплитуды q со средними по выборке экспериментальными данными.

Таблица 3.7 – Сравнение теоретических параметров r_c и q с экспериментальными данными для элемента тонкой оболочки

	Радиус r_c , м	Амплитуда q , м	Число складок ω , шт.
по теории	0,19	0,0429	5
по эксперименту	0,185	0,0441	5

Относительная погрешность рассогласования теоретических расчетов r_c и q с экспериментальными данными для замкнутого элемента тонкой оболочки определяется по следующим формулам

$$\delta_{r_c} = \frac{|r_{ct} - r_{cэ}|}{r_{ct}} \cdot 100\% = \frac{|0,19 - 0,185|}{0,19} \cdot 100\% = 2,632\%.$$

$$\delta_q = \frac{|q_T - q_{\text{э}}|}{q_T} \cdot 100\% = \frac{|0,0429 - 0,0441|}{0,0429} \cdot 100\% = 2,797\%.$$

Таким образом, относительная погрешность рассогласования теоретических расчетов среднего радиуса замкнутого элемента тонкой оболочки r_c и амплитуды q с экспериментальными значениями не превышает 3 %.

На рис. 3.12 приведено графическое сравнение формы проекции низа модели юбки, полученные в результате теоретических и экспериментальных исследований.

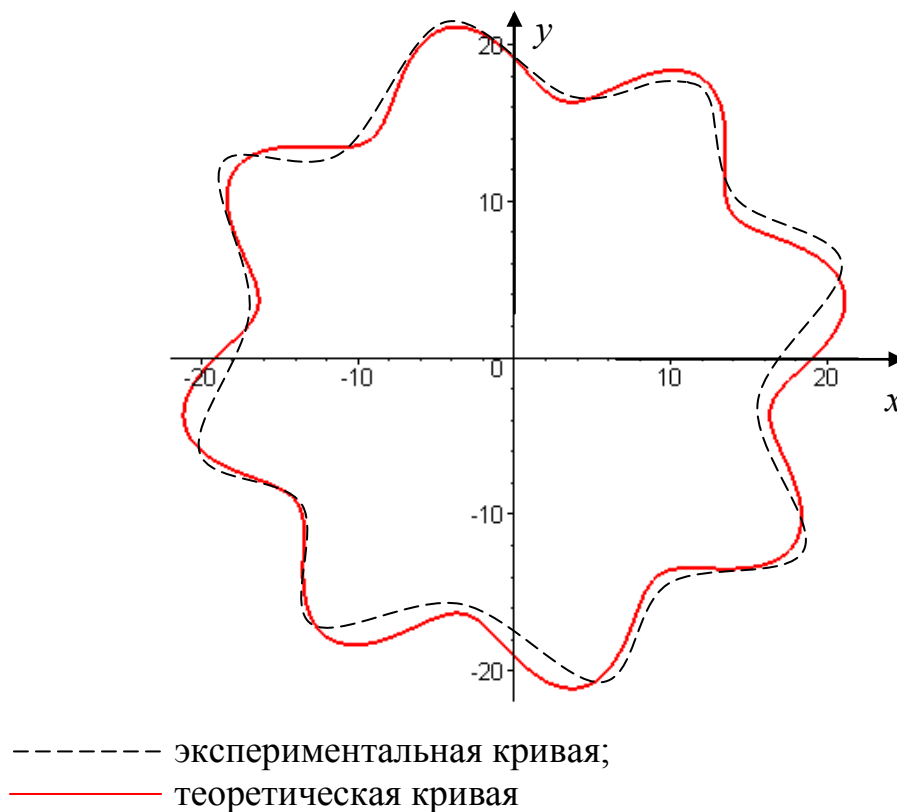


Рисунок 3.12 – Сравнение теоретической и экспериментальной кривых низа модели юбки

Рассогласование между теоретической и экспериментальной кривыми для нижней границы юбки по радиусу не превышает 7% (приложение 1).

В табл. 3.8 приведено сравнение теоретических параметров среднего радиуса модели юбки r_c и амплитуды q с экспериментальными значениями.

Таблица 3.8 – Сравнение теоретических параметров r_c и q со средними по выборке экспериментальными данными для модели юбки

	Радиус r_c , м	Амплитуда q , м	Число складок ω , шт.
по теории	0,1843	0,02406	8
по эксперименту	0,1909	0,02407	8

Относительная погрешность рассогласования теоретических расчетов среднего радиуса юбки r_c и амплитуды q с экспериментальными исследованиями не превышает 3,5 %.

3.8 Обсуждение результатов экспериментальных исследований жесткости тканей со швами

Цель проведения экспериментальных исследований – установление влияния жесткости ткани в продольном и поперечном направлениях относительно шва на жесткость составной детали.

Принципиальная схема стенда для определения жесткости материалов представлена на рис. 3.13. Для проведения экспериментальных исследований использовали ткань артикула 2105 полотняного переплетения. Соединительный шов вразутюжку с припусками 10мм располагался вдоль посередине составной детали, при этом общая ширина припусков разутюженного шва 20мм. Общий размер составной детали 100×300 мм.

Составную деталь 1 перемещали с интервалом 10 мм по горизонтальной плоскости 2. Сверху составную деталь прижимали пластиной 3. Изменяя длину свешивающейся части детали, измеряли прогиб f и горизонтальную проекцию $p_{гор}$ с точностью до 0,1 мм. Каждый опыт повторяли три раза. Геометрию поперечного края составной детали при определенной величине свешивающейся части фиксировали фотокамерой 6.

Изменение формы поперечного края составной детали в зависимости от длины свешивающейся части представлено на рис. П4.1 в приложении 4.

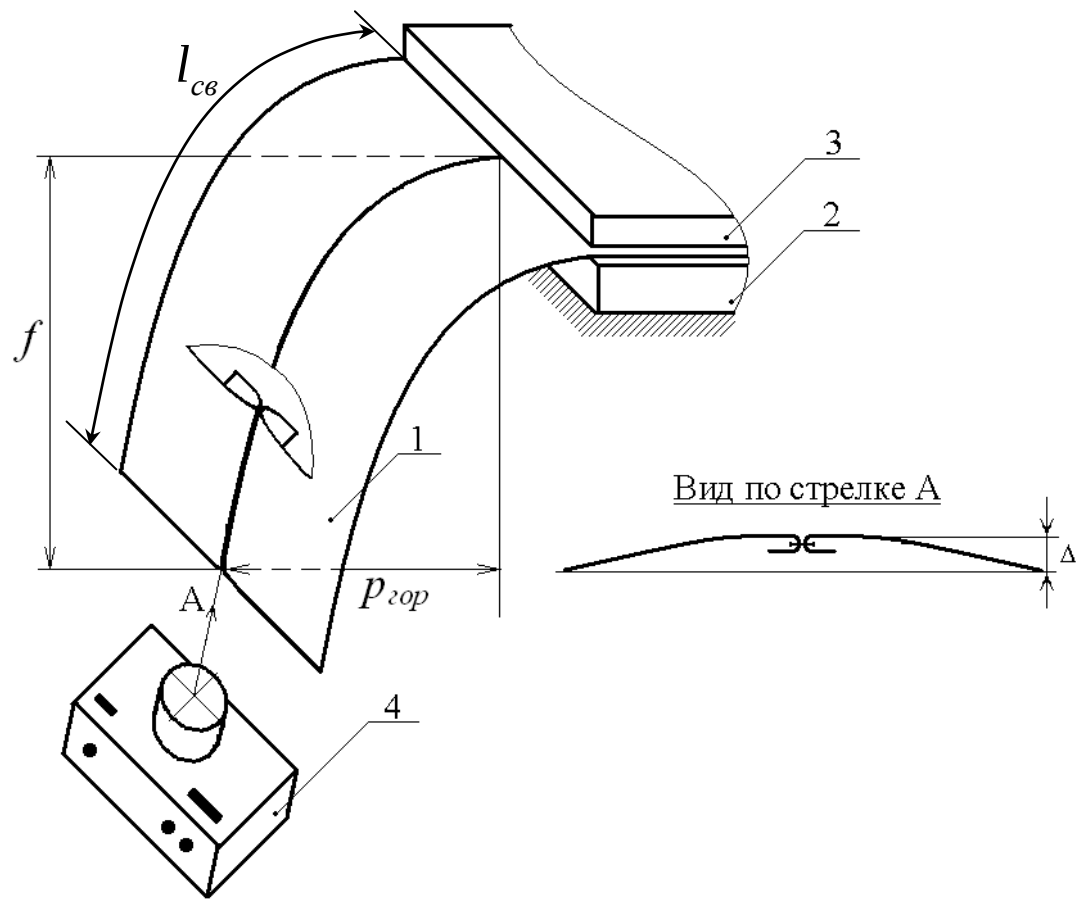


Рисунок 3.13 – Принципиальная схема стенда для определения жесткости материалов

При длине свешивающейся части детали от 10 мм до 80 мм поперечный край принимает форму, представленную на рис. 3.13, вид по стрелке А. Величина прогиба поперечного края составной детали Δ принимает максимальное значение при длине свешивающейся части 40 мм, при увеличении длины свешивающейся части детали величина Δ уменьшается, при этом форма поперечного края детали постепенно выравнивается и приближается к отрезку прямой. Таким образом, форма поперечного края составной детали из текстильных материалов зависит от длины свешивающейся части.

Относительный прогиб составной детали определяется по формуле

$$f_0 = \frac{f}{l_{cv}} \quad (3.29)$$

где f – прогиб детали, мм;

l_{cv} – длина свешивающейся части детали, мм.

По величине относительного прогиба f_0 возможно оценить жесткость исследуемого материала: чем он больше, тем меньше жесткость материала.

Результаты измерений прогиба f , горизонтальной проекции $p_{гор}$ и относительного прогиба f_0 для составной детали со швом и детали без шва в зависимости от длины свешивающейся части представлены в табл. 3.9.

Таблица 3.9 – Результаты измерений прогиба и горизонтальной проекции свешивающейся части детали

№ п/п	Длина свешивающейся части детали $l_{св}$, мм	Прогиб f , мм		Относительный прогиб f_0		Горизонтальная проекция $p_{гор}$, мм	
		деталь без шва	деталь со швом	деталь без шва	деталь со швом	деталь без шва	деталь со швом
1	10	1,0	0,8	0,10	0,08	8,0	9,0
2	20	4,1	2,5	0,21	0,13	18,0	19,0
3	30	15,4	8,0	0,51	0,27	27,0	29,0
4	40	31,0	20,0	0,78	0,50	29,0	34,0
5	50	44,0	35,0	0,88	0,70	27,5	35,0
6	60	54,9	50,0	0,92	0,83	23,0	33,0
7	70	65,9	62,0	0,94	0,89	17,0	28,0
8	80	76,5	73,0	0,96	0,91	12,0	22,0
9	90	87,2	84,0	0,97	0,93	9,0	19,0
10	100	97,6	95,0	0,98	0,95	7,0	17,0
11	110	108,4	105,5	0,99	0,96	6,0	15,5
12	120	118,4	116,0	0,99	0,97	5,0	14,0
13	130	128,6	126,5	0,99	0,98	4,0	13,0
14	140	139,1	137,0	0,99	0,98	3,0	12,0
15	150	148,9	148,0	0,99	0,98	2,0	11,0

На рис. 3.14 представлены графики зависимости относительного прогиба от длины свешивающейся части для составной детали со швом и детали без шва.

Из графиков рис. 3.14 видно, что для составной детали со швом и для детали без шва с увеличением длины свешивающейся части возрастает относительный прогиб. При длине свешивающейся части детали более 80 мм величина относительного прогиба стремится к единице.

На рис. 3.15 представлены графики зависимости горизонтальной проекции от длины свешивающейся части для составной детали со швом и для детали без шва.

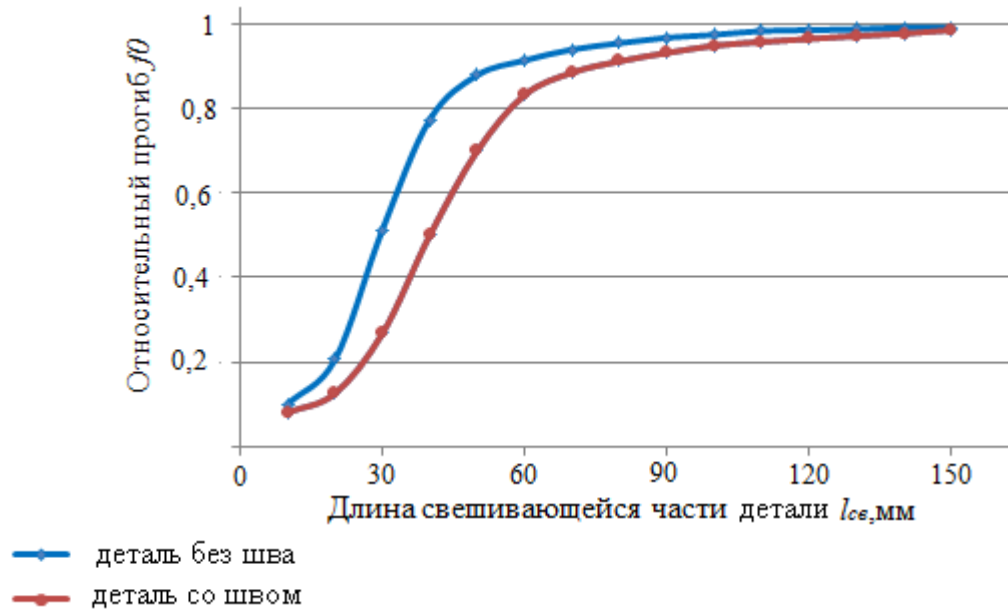


Рисунок 3.14 – Зависимость относительного прогиба от длины свешивающейся части детали

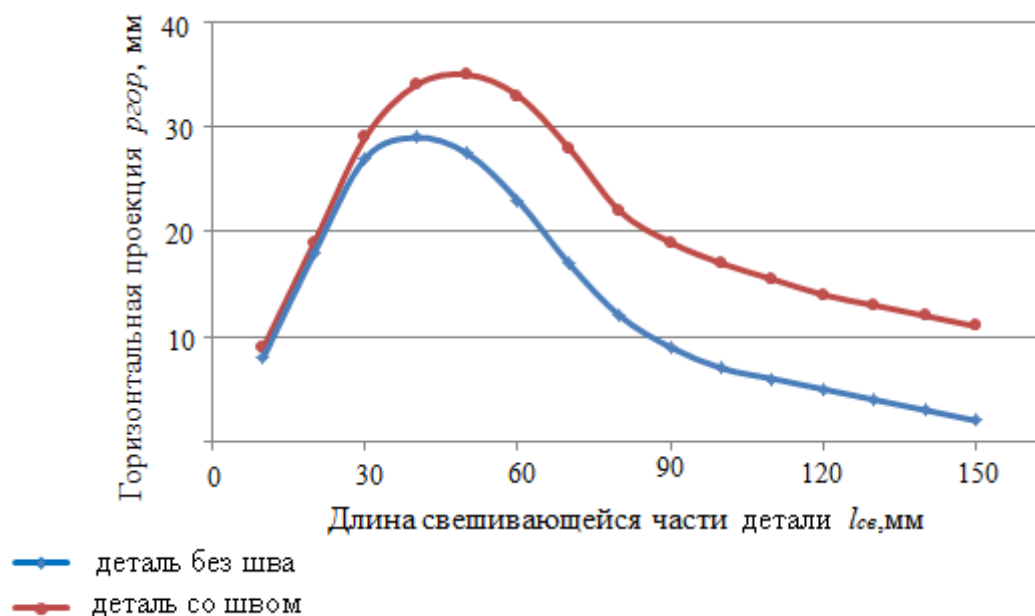


Рисунок 3.15 – Зависимость горизонтальной проекции от длины свешивающейся части детали

Из графиков рис. 3.15 видно, что величина горизонтальной проекции составной детали увеличивается и достигает максимального значения для детали

со швом при длине свешивающейся части 50 мм, а для детали без шва 40 мм. При большей длине свешивающейся части детали величина горизонтальной проекции уменьшается.

Из рис. 3.14 и 3.15 следует, что при одной и той же длине свешивающейся части величина относительного прогиба составной детали со швом меньше, а величина горизонтальной проекции больше, следовательно, жесткость детали со швом больше, чем детали без шва.

На основе данных эксперимента, представленных в табл. 3.9 в среде *Maple 9.5* для детали со швом получено уравнение регрессии прогиба в зависимости от длины свешивающейся части

$$f_{0,шв} = 0,47 + 0,35 \cdot \arctg(0,74x + 2,9). \quad (3.30)$$

Для детали без шва уравнение регрессии прогиба в зависимости от длины свешивающейся части получено в виде

$$f_{0,бш} = 0,48 + 0,35 \cdot \arctg(0,1x + 2,9). \quad (3.31)$$

Регрессионная зависимость горизонтальной проекции от длины свешивающейся части для детали со швом предложена в виде

$$p_{гор,шв} = \frac{2 + 0,064x + 0,0008x^2}{0,402 - 0,0134x + 0,000188x^2}. \quad (3.32)$$

Регрессионная зависимость горизонтальной проекции от длины свешивающейся части для детали без шва имеет вид:

$$p_{гор,бш} = \frac{1,1 + 0,054x + 0,0001x^2}{0,432 - 0,0118x + 0,00012x^2}, \quad (3.33)$$

Относительные рассогласования между точками эксперимента и зависимостями (3.30) – (3.33) не превышают 3%, что является удовлетворительным для практики.

Таким образом, на основе экспериментальных исследований установлено, что жесткость составной детали из анизотропного материала вдоль шва соединения зависит от жесткости этого материала как вдоль, так и поперек шва. Жесткость составной детали вдоль шва больше, чем жесткость материала вдоль и поперек шва, при этом величина прогиба ее поперечного

края зависит от длины свешивающейся части. В результате статистической обработки экспериментальных данных получены регрессионные зависимости прогиба и горизонтальной проекции от длины свешивающейся части составной детали.

Выводы по главе 3

1. Экспериментальные исследования формообразования замкнутого элемента тонкой оболочки и модели юбки выполнены в форме активного эксперимента и с применением теории подобия, что позволило сократить количество опытов и получить представительную выборку по плану эксперимента.
2. Методами многомерного статистического анализа получены регрессионные зависимости среднего радиуса и амплитуды для замкнутого элемента тонкой оболочки и для модели юбки, гипотезы о регрессионных зависимостях проверены по критерию Фишера и приняты как правдоподобные. Относительная погрешность рассогласования теоретических расчетов среднего радиуса и амплитуды с экспериментальными значениями для элемента тонкой оболочки не превосходит 3%, а для низа модели юбки не превышает 3,5%.
3. Анализ полученных результатов экспериментальных исследований подтвердил адекватность теоретических расчетов, при этом погрешность рассогласования между теоретической и экспериментальной кривыми формы для замкнутого элемента тонкой оболочки не превосходит 9%, а для низа модели юбки не превышает 7%.
4. Усовершенствован прибор для определения драпируемости материалов дисковым методом, что позволило повысить точность результатов исследования за счет приближения условий испытания к реальным и уменьшения искажения проекции образца материала.
5. На основе аналитических и экспериментальных исследований установлено, что жесткость составных деталей из анизотропных материалов вдоль шва соединения зависит от жесткости этих материалов как вдоль, так и поперек шва, при этом жесткость образца вдоль шва соединения составных деталей образца больше, чем жесткость ткани вдоль и поперек шва.

ГЛАВА 4

ПОСТРОЕНИЕ ПЛОТНОЙ РАСКЛАДКИ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОДНОСЛОЙНЫХ КОНИЧЕСКИХ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

4.1 Построение плотной раскладки спиральных разверток юбок

При выполнении раскладок деталей швейных изделий важным показателем является процент межлекальных выпадов, при этом существенное влияние на расход материалов для изделия со спиралевидными линиями членений оказывает количество оборотов спиральной развертки и длина изделия, так как с ростом числа оборотов увеличивается кривизна краевых срезов деталей развертки.

Одним из показателей качества швейных изделий является соблюдение технических условий при раскрое деталей изделий [121]. Для анализа влияния соблюдения направления нити основы материала в деталях на качество посадки изделия со спиралевидными линиями членений, на спиральной развертке юбки в программе *Maple 9.5* намечены положения линий боковых швов, середин переднего и заднего полотнищ для спиральной развертки конической юбки, состоящей из трех деталей при количестве оборотов $p=2$ (рис. 4.1).

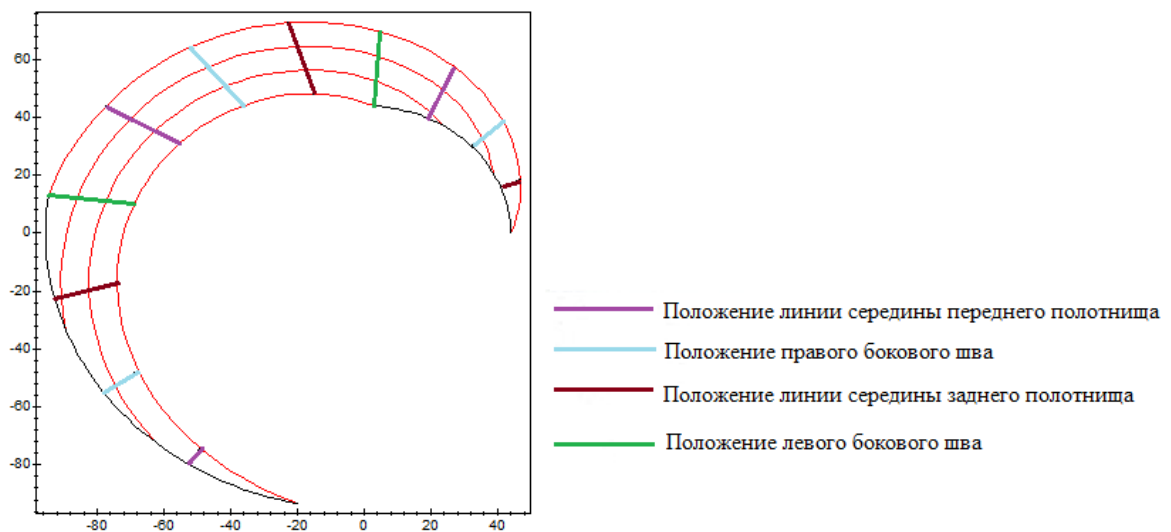


Рисунок 4.1 – Спиральная развертка конической юбки с нанесенными линиями положения боковых швов, середин переднего и заднего полотнищ

На одной и той же детали линии боковых швов, середины переднего и заднего полотнищ юбки меняют свои направления и отклоняются до 86° относительно любой прямой, совмещенной с нитью основы (рис. 4.1).

С целью изучения влияния соблюдения направления нити основы на расход материалов, выполнены раскладки деталей спиральных разверток конической юбки без учета соблюдения нити основы и раскладки, направление нити основы в деталях которых расположены перпендикулярно верхнему краю юбки. Результаты выполненных раскладок показали, что раскладка без соблюдения нити основы в деталях более экономичная, при этом с увеличением количества оборотов деталей развертки процент межлекальных выпадов увеличивается.

Для оценки качества посадки изделий изготавливались макеты юбок, детали которых выкраивались с соблюдением и без соблюдения направления нити основы. Детали сметывались накладным швом с открытым срезом с соблюдением контрольных надсечек. Качество посадки макетов юбок оценивалось визуально экспертами при статическом положении тела человека. По результатам оценки качества изделий было отмечено, что заломы и морщины на поверхности изделий отсутствуют, изделия равновесны, поэтому при раскрое изделий со спиралевидными линиями членений с целью экономного расхода материалов рекомендуется выполнять раскладки лекал деталей изделия без соблюдения направления нити основы.

Рассмотрена задача построения плотной раскладки спиральных разверток юбок в рамке прямоугольной формы, длина и ширина которой значительно больше, чем линейные размеры одной развертки. Форма спиральных разверток, имеющих количество оборотов p , определена из условия минимизации межлекальных отходов. Параметры развертки юбки найдены для женской фигуры типового телосложения 164-96-104

$$O_t (\text{обхват талии}) = 0,76 \text{ м}; O_b (\text{обхват бедер}) = 0,104 \text{ м}; \quad (4.1)$$

$$h (\text{расстояние от линии талии до линии бедер}) = 0,2 \text{ м};$$

$$L (\text{длина изделия}) = 0,53 \text{ м}.$$

В работе [95] получены уравнения границ спиральной развертки кругового усеченного конуса в полярной системе координат в виде:

$$\begin{aligned} r_{лев} &= \frac{L}{\alpha \cdot p} \cdot (\varphi - \alpha) + R_v, \alpha \leq \varphi \leq \alpha \cdot (p+1); \\ r_{пр} &= \frac{L}{\alpha \cdot p} \cdot \varphi + R_v, 0 \leq \varphi \leq \alpha \cdot p; r = R_v; r = R_p, \end{aligned} \quad (4.2)$$

где: r – полярный радиус, φ – полярный угол;

R_p – образующая конуса; α – центральный угол развертки конуса;

R_v – образующая усеченной части конуса;

$r_{лев}, r_{пр}$ – левая и правая границы спиральной развертки.

Уравнения границ спиральной развертки усеченного конуса в виде (4.2) являются базовыми при решении задачи о плотной раскладке деталей.

Построим раскладку спиральных разверток при двух значениях параметра p , т.е. будем рассматривать значения $p = m$ и $p = -m$, при этом значение m будем определять из условия минимизации межлекальных выпадов. Спиральные развертки, полученные в среде *Maple 9.5* при исходных данных в виде (4.1) и $m = 0,44$, представлены на рис. 4.2.

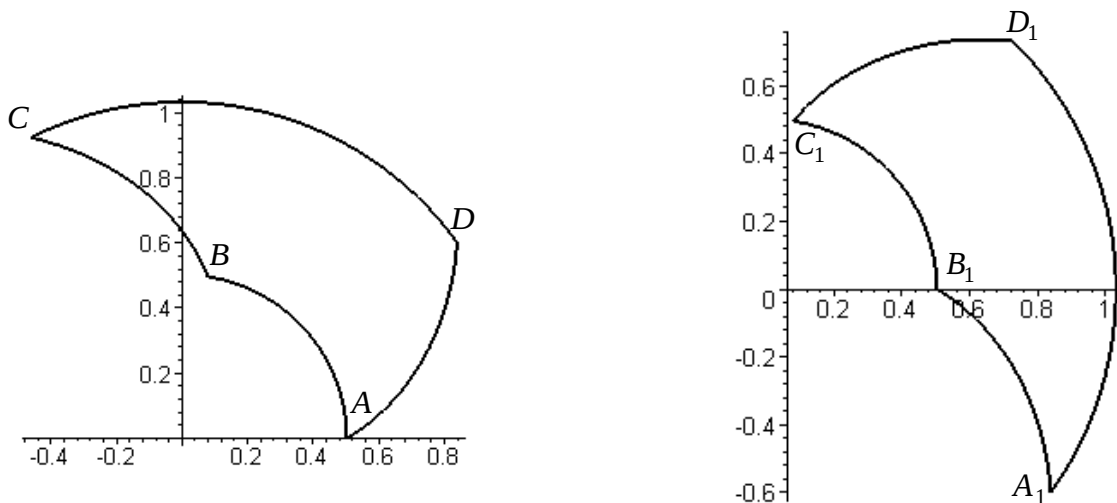


Рисунок 4.2 – Спиральные развертки конуса при: а) $p = 0,44$; б) $p = -0,44$

Спиральную развертку, изображенную на рис. 4.2 а) назовем левой, а на рис. 4.2 б) – правой.

С помощью преобразований поворота и параллельного переноса на плоскости к левой развертке добавим правую развертку так, что точка A ле-

вой развертки будет близка к точке B_1 правой развертки, а точка C_1 будет совмещена с точкой D . Копию правой развертки (ее вершины обозначим соответственно A_2, B_2, C_2, D_2) добавим слева от первого экземпляра правой развертки так, что точка B_1 будет близка к точке D_2 , а точка C_2 совмещена с точкой B (рис. 4.3). При преобразованиях поворота и параллельного переноса вершины фигур для удобства обозначены теми же буквами.

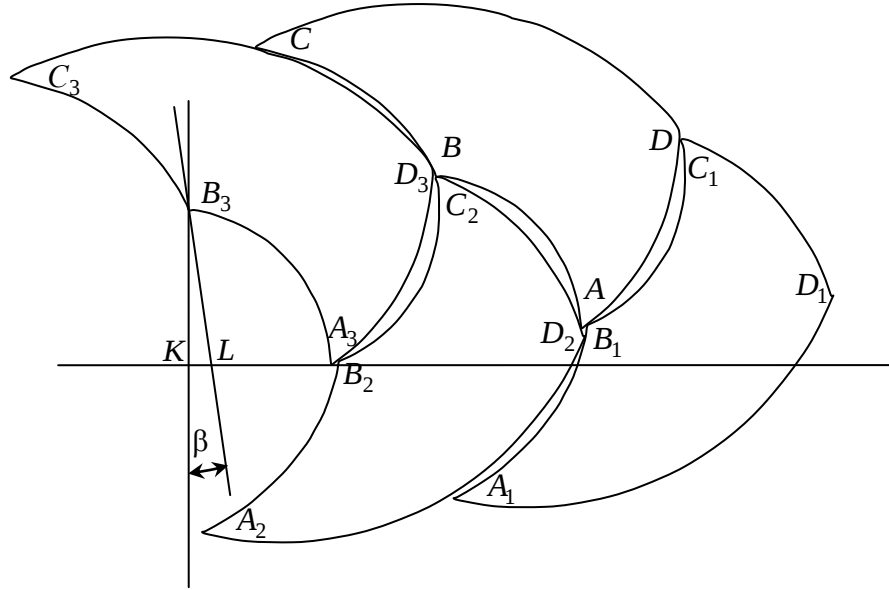


Рисунок 4.3 – Совмещение спиральных разверток на плоскости

Найдем площадь каждой из разверток. Все они являются равновеликими фигурами. Их площадь равна площади развертки, которая вычисляется по формуле для кругового сектора с центральным углом α (рад)

$$S_{\text{сект}} = \frac{\alpha}{2} \cdot (R_p^2 - R_v^2) = 0,57474 \text{ м}^2. \quad (4.3)$$

Определим координаты вершин фигуры $ABCD$. Точка A имеет координаты

$$x_A = R_v = O_t \sqrt{\frac{1}{4\pi^2} + \frac{h^2}{(O_b - O_t)^2}} = 0,50252 \text{ м}; y_A = 0. \quad (4.4)$$

Координаты точки B в полярной системе имеют вид $B(\alpha; R_v)$, соответственно в декартовой системе координат получим

$$x_B = R_v \cos \alpha = 0,07903 \text{ м}; y_B = R_v \sin \alpha = 0,49627 \text{ м}. \quad (4.5)$$

Координаты точки C в полярной системе имеют вид $C(\alpha(1+m); R_m)$, соответственно в декартовой системе координат

$$x_C = R_m \cos[\alpha(1+m)] = -0,49627m; y_C = R_v \sin[\alpha(1+m)] = 0,92348m.$$

Аналогично, координаты точки $D(\alpha m; R_m)$ равны

$$x_D = R_m \cos[\alpha m] = 0,83935m; y_D = R_v \sin[\alpha m] = 0,60133m. \quad (4.6)$$

Пользуясь такими же рассуждениями, найдем вершины $A_1B_1C_1D_1$

$$\begin{aligned} x_{A_1} &= R_m \cos[-\alpha m] = 0,83935m; y_{A_1} = R_v \sin[-\alpha m] = -0,60133m; \\ x_{B_1} &= R_v = 0,50252m; y_{B_1} = 0; \\ x_{C_1} &= R_v \cos \alpha = 0,07903m; y_{C_1} = R_v \sin \alpha = 0,49627m; \\ x_{D_1} &= R_m \cos[\alpha(1-m)] = 0,72585m; y_{D_1} = R_v \sin[\alpha(1-m)] = 0,73433m. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Расстояния AD и B_1C_1 соответственно равны

$$AD = 0,68924; \quad B_1C_1 = 0,65240,$$

то есть эти расстояния близки, что подтверждает возможность совмещения фигур $ABCD$ и $A_1B_1C_1D_1$ в виде, показанном на рис. 4.3. Найдем расстояние C_2D_2

$$C_2D_2 = C_1D_1 = AD = 0,68924.$$

Таким образом, подтвердили условие близости точек D_2 , A и B_1 , показанное на рис. 4.3. Выполним преобразование поворота и параллельного переноса развертки $A_1B_1C_1D_1$ так, чтобы она заняла положение, показанное на рис. 4.3. Так как первоначально положения точек A и B_1 совпадают, то новое положение точки B_1 будет вблизи старого и точка B_1 принадлежит кривой AD . Уравнение кривой AD в полярных координатах имеет вид

$$r_{np} = \frac{L}{\alpha \cdot m} \cdot \varphi + R_v, \quad 0 \leq \varphi \leq \alpha \cdot m \quad (4.8)$$

Расстояние от точки B_1 до точки D равно

$$\begin{aligned} &\left(\left(\frac{L}{\alpha \cdot m} \cdot \varphi_{B_1} + R_v \right) \cos \varphi_{B_1} - R_m \cos[\alpha m] \right)^2 + \\ &+ \left(\left(\frac{L}{\alpha \cdot m} \cdot \varphi_{B_1} + R_v \right) \sin \varphi_{B_1} - R_m \sin[\alpha m] \right)^2 = (0,6524)^2. \end{aligned} \quad (4.9)$$

Решим уравнение (4.9) относительно неизвестного значения φ_{B_1}

$$\varphi_{B_1} = 0,04217(\text{рад}).$$

$$r_{B_1} = \frac{L}{\alpha \cdot m} \cdot \varphi_{B_1} + R_v = 0,53848$$

В декартовых координатах точка B_1 имеет вид

$$x'_{B_1} = r_{B_1} \cos \varphi_{B_1} = 0,53800; \quad y'_{B_1} = r_{B_1} \sin \varphi_{B_1} = 0,02270. \quad (4.10)$$

Преобразование параллельного переноса фигуры $A_1B_1C_1D_1$, при котором точка A будет перемещена в точку B_1 , можно представить в виде

$$x' = x + x_{AB_1} = 0,53800 - 0,50252 = 0,03547; \quad y' = y + y_{AB_1} = 0,02270. \quad (4.11)$$

Выполним поворот развертки $A_1B_1C_1D_1$ относительно точки B_1 на угол, при котором точка C_1 переместится в точку D . Новое положение точки C_1 находим, используя (4.7) и (4.11)

$$x'_{C_1} = R_v \cos \alpha + 0,03547 = 0,11450 \text{ м}; \quad y'_{C_1} = R_v \sin \alpha + 0,02270 = 0,51897 \text{ м}; \quad (4.12)$$

Угол поворота, при котором точка C_1 переместится в точку D , равен углу $\angle DB_1C_1$, положение точки C_1 определяется по формулам (4.12)

$$\angle DB_1C_1 = \arccos \frac{\overline{B_1C_1} \cdot \overline{B_1D}}{|\overline{B_1C_1}| \cdot |\overline{B_1D}|} = 1,18659(\text{рад}).$$

Найдем новые координаты точек C_1, D_1, A_1 . Формулы, по которым выполняется преобразование поворота вокруг точки B_1 , имеют вид [122]

$$\begin{cases} x' = (x - x_{B_1}) \cos \angle DB_1C_1 - (y - y_{B_1}) \sin \angle DB_1C_1; \\ y' = (x - x_{B_1}) \sin \angle DB_1C_1 + (y - y_{B_1}) \cos \angle DB_1C_1, \end{cases} \quad (4.13)$$

где: x', y' – новые координаты каждой из точек развертки $A_1B_1C_1D_1$;

x, y – старые координаты.

Координаты точки C_1 после преобразования поворота имеют вид

$$\begin{cases} x''_{C_1} = x'_{B_1} + (x'_{C_1} - x_{B_1}) \cos \angle DB_1C_1 + (y'_{C_1} - y_{B_1}) \sin \angle DB_1C_1; \\ y''_{C_1} = y'_{B_1} - (x'_{C_1} - x_{B_1}) \sin \angle DB_1C_1 + (y'_{C_1} - y_{B_1}) \cos \angle DB_1C_1. \end{cases} \quad (4.14)$$

По формулам (4.14) получим

$$x''_{C_1} = 0,839354; \quad y''_{C_1} = 0,601339,$$

что с достаточной точностью согласуется с координатами точки D из (4.6).

Аналогично, пользуясь формулами (4.13), находим новые координаты точки D_1 . Преобразование параллельного переноса дает

$$\begin{aligned}x'_{D_1} &= x_{D_1} + x' = 0,72585 + 0,03547 = 0,76133; \\y'_{D_1} &= y_{D_1} + y' = 0,73433 + 0,02270 = 0,75703.\end{aligned}\quad (4.15)$$

С учетом (4.14) после поворота координаты точки D_1 равны

$$\begin{cases}x''_{D_1} = x'_{D_1} + (x'_{D_1} - x_{B_1})\cos \angle DB_1C_1 + (y'_{D_1} - y_{B_1})\sin \angle DB_1C_1; \\y''_{D_1} = y'_{D_1} - (x'_{D_1} - x_{B_1})\sin \angle DB_1C_1 + (y'_{D_1} - y_{B_1})\cos \angle DB_1C_1.\end{cases}\quad (4.16)$$

По формулам (4.16) находим координаты точки D_1 после поворота

$$x''_{D_1} = 1,30648; \quad y''_{D_1} = 0,09488.$$

По формулам (4.13) находим новые координаты точки A_1 . Преобразование параллельного переноса дает

$$\begin{aligned}x'_{A_1} &= x_{A_1} + x' = 0,83935 + 0,03547 = 0,87482; \\y'_{A_1} &= y_{A_1} + y' = -0,60133 + 0,02270 = -0,57863.\end{aligned}\quad (4.17)$$

С учетом (4.17) после поворота координаты точки A_1 равны

$$\begin{cases}x''_{A_1} = x'_{A_1} + (x'_{A_1} - x_{B_1})\cos \angle DB_1C_1 + (y'_{A_1} - y_{B_1})\sin \angle DB_1C_1; \\y''_{A_1} = y'_{A_1} - (x'_{A_1} - x_{B_1})\sin \angle DB_1C_1 + (y'_{A_1} - y_{B_1})\cos \angle DB_1C_1.\end{cases}\quad (4.18)$$

По формулам (4.18) находим координаты точки A_1 после поворота

$$x''_{A_1} = 0,10675; \quad y''_{A_1} = -0,51496.$$

Развертку $A_2B_2C_2D_2$ разместим так, что вершина C_2 совпадет с точкой B (рис. 4.3). Координаты вершин развертки $A_2B_2C_2D_2$ определим с помощью преобразования параллельного переноса фигуры $A_1B_1C_1D_1$ на вектор $\overline{DB}$. Используя формулы (4.5) и (4.6), вычислим координаты вектора $\overline{DB}$

$$\overline{DB} = (-0,76032; -0,10506).\quad (4.19)$$

Учитывая равенство (4.19), получим координаты вершин фигуры $A_2B_2C_2D_2$

$$\begin{aligned}x_{A_2} &= x''_{A_1} + x_{\overline{DB}} = -0,65356; & y_{A_2} &= y''_{A_1} + y_{\overline{DB}} = -0,62002. \\x_{B_2} &= x_{B_1} + x_{\overline{DB}} = -0,22232; & y_{B_2} &= y_{B_1} + y_{\overline{DB}} = -0,08236. \\x_{C_2} &= x''_{C_1} + x_{\overline{DB}} = 0,07904; & y_{C_2} &= y''_{C_1} + y_{\overline{DB}} = 0,49628. \\x_{D_2} &= x''_{D_1} + x_{\overline{DB}} = 0,54219; & y_{D_2} &= y''_{D_1} + y_{\overline{DB}} = -0,01416.\end{aligned}\quad (4.20)$$

Координаты точки C_2 совпадают с координатами точки B , что соответствует рис. 4.3. При этом точка D_2 лежит правее и ниже точки A , что подтверждается сравнением их координат по формулам (4.4) и (4.20).

По формулам (4.10) и (4.20) определяем, что точка D_2 лежит правее и ниже точки B_1 . Левую развертку $A_3B_3C_3D_3$ получим из развертки $ABCD$ параллельным переносом ее на вектор $\overline{DB}$.

Комбинацию из четырех спиральных разверток (2 левых и 2 правых) назовем базовой. Возьмем достаточно большое количество базовых комбинаций и совместим их друг с другом (рис. 4.4)

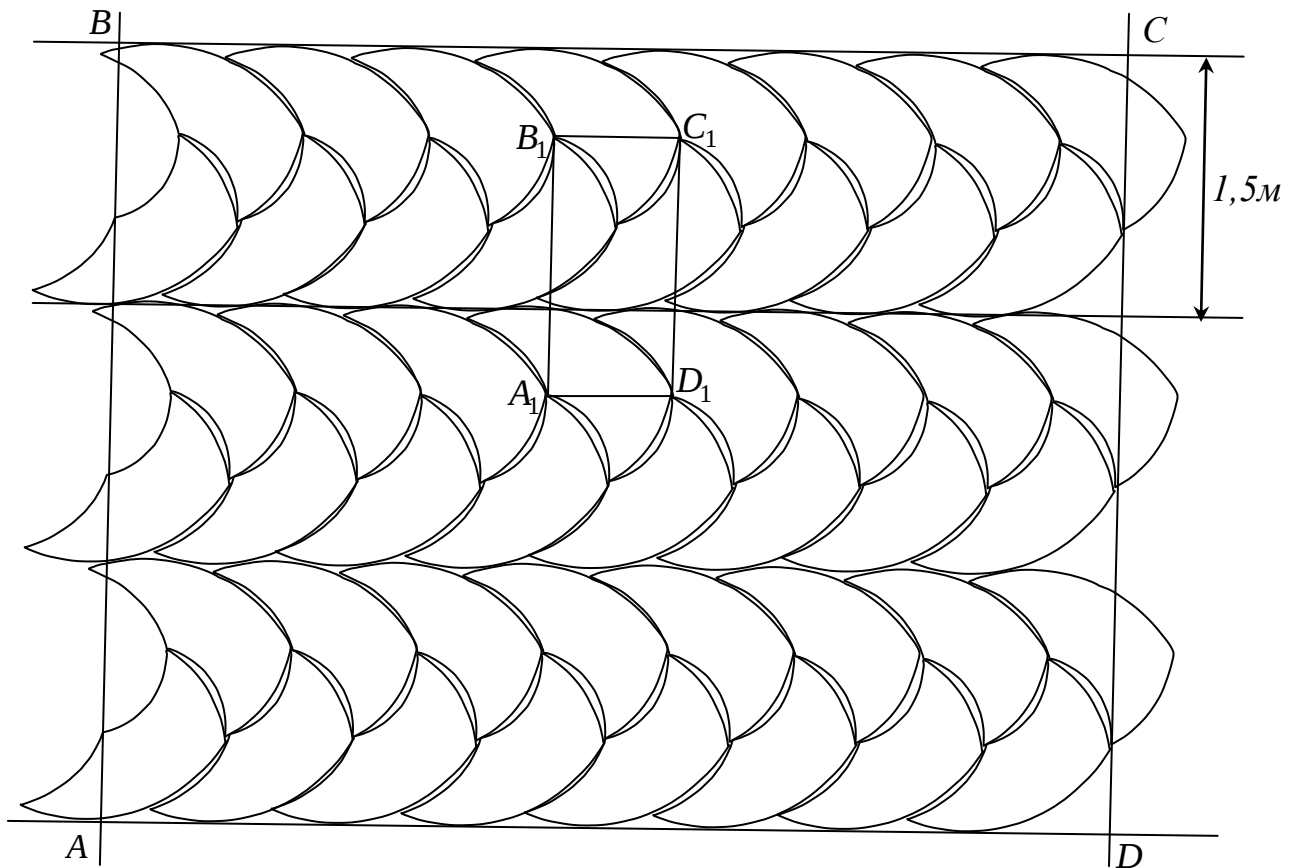


Рисунок 4.4 – Пример плотной раскладки спиральных разверток юбок

С помощью прямоугольника $ABCD$ выделим на рис. 4.4 исследуемый участок. Расстояние между прямыми AB и CD равно 0,13 м, а расстояние между прямыми BC и AD равно 0,103 м. Таким образом, площадь прямоугольника $ABCD$ равна

$$S_{ABCD} = 0,01339 \text{ м}^2 \quad (4.21)$$

Определим пропорции масштаба спиральных разверток, представленных на рис. 4.2. Измерив, получаем, что 1 м на рис.4.2 равен 0,043 м. Линейные размеры разверток на рис. 4.4 по сравнению с рис. 4.2 уменьшены в два раза. Коэффициент пропорциональности между развертками составил 0,0215. Следовательно, используя формулу (4.3) площадь одной развертки составляет

$$S_{Разв} = 0,57474 \cdot 0,0215^2 = 10^{-4} \cdot 2,65674 \text{ м}^2.$$

Расчет показывает, что в прямоугольник $ABCD$ укладывается 48 спиральных разверток, таким образом полезная площадь $ABCD$ равна

$$S_{Полезн} = 10^{-4} \cdot 2,65674 \cdot 48 = 0,0127523 \text{ м}^2. \quad (4.22)$$

Определяем процент межлекальных отходов

$$B = \frac{S_{ABCD} - S_{Полезн}}{S_{ABCD}} \cdot 100\% = 4,76228\%.$$

Выполним расчет процента межлекальных выпадов для характерного элемента $A_1B_1C_1D_1$, представленного на рис. 4.4 и рис. 4.5.

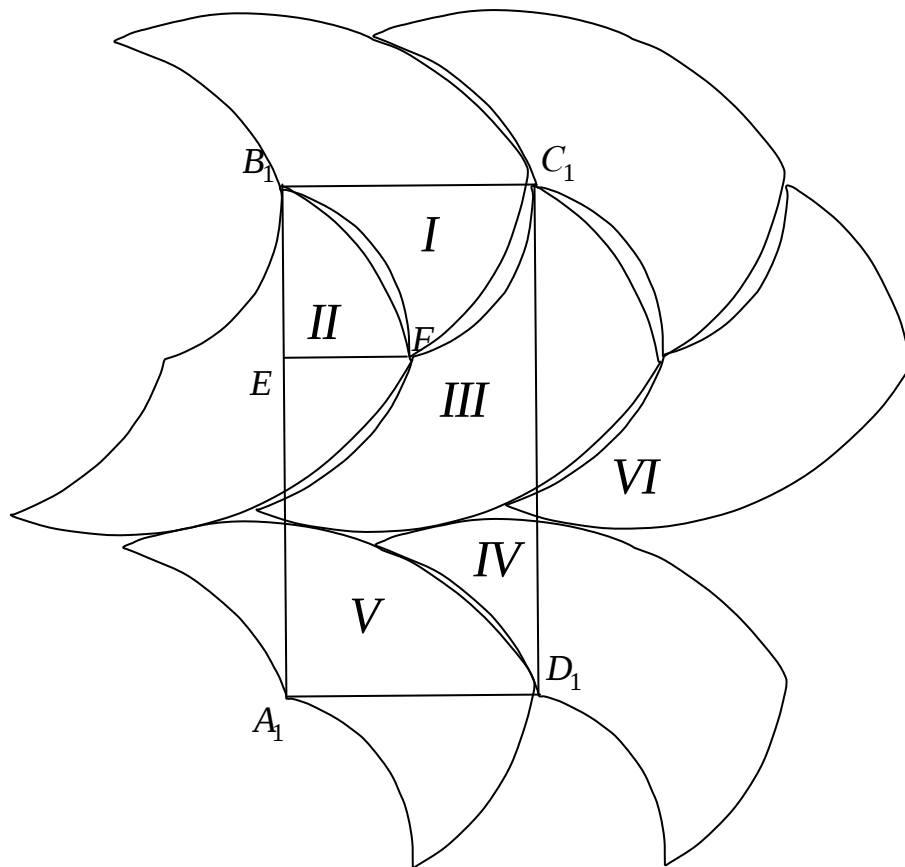


Рисунок 4.5 – Схема характерного элемента раскладки

Схема элемента $A_1B_1C_1D_1$ получена из графиков, построенных в *Maple* и затем, с соблюдением пропорций, скопированных в *Word*. Длина отрезка EF в *Word* равна 1,62 см. Построение в среде *Maple* показывает, что длина проекции дуги AB на ось Ox равна

$$x_A - x_B = 0,50252 - 0,07903 = 0,42349 \text{ м.}$$

Развертка рис. 4.5 получена из рис. 4.3 поворотом на угол $\beta = 7^\circ$, тогда величина EF из рис. 4.5 равна

$$(x_A - x_B) \cdot (1 - \operatorname{tg} \beta \cdot y_B) = 0,42349 \cdot (1 - 0,12278 \cdot 0,49627) = 0,37149 \text{ м.}$$

Таким образом, коэффициент пропорциональности между линейными размерами рис. 4.5 и графиками в *Maple* равен

$$k = \frac{0,0162}{0,37149} = 0,0436079. \quad (4.23)$$

Так как площадь одной развертки, вычисленная по формуле (4.3) равна

$$S_{раз} = 0,57474 \text{ м}^2,$$

то площадь одной развертки на рис. 4.5, учитывая (4.23) составляет

$$S_{раз,рис4} = 0,57474 \cdot k^2 = 10^{-3} \cdot 1,09295 \text{ м}^2. \quad (4.24)$$

Объединение участков I , IV и V дает одну полную развертку. Кроме того, объединение участков II , III и уступа участка VI , лежащего внутри прямоугольника $A_1B_1C_1D_1$, составляет полную развертку. Используя (4.24), площадь полезной части прямоугольника $A_1B_1C_1D_1$ равна

$$S_{полезн} = 10^{-3} \cdot 1,09295 \cdot 2 = 10^{-3} \cdot 2,1859 \text{ м}^2. \quad (4.25)$$

Площадь $A_1B_1C_1D_1$ составляет

$$S_{A_1B_1C_1D_1} = 0,0336 \cdot 0,068 = 10^{-3} \cdot 2,2848 \quad (4.26)$$

Из (4.25) и (4.26) рассчитываем процент межлекальных выпадов

$$B = \frac{S_{A_1B_1C_1D_1} - S_{полезн}}{S_{A_1B_1C_1D_1}} \cdot 100\% = \frac{2,2848 - 2,1859}{2,2848} \cdot 100\% = 4,329\% \quad (4.27)$$

Таким образом, получена плотная раскладка лекал деталей юбок, которые представляют собой правосторонние и левосторонние спиральные развертки усеченного конуса, при этом процент межлекальных выпадов составил 4,4%. Ширина характерного элемента раскладки равна 1,5 м, что имеет прак-

тическую значимость при выполнении раскладок для материалов ограниченной ширины.

4.2 Разработка программы визуализации пространственной формы однослойных конических швейных изделий

4.2.1 Назначение программы и ее информационное обеспечение

Программный продукт предназначен для демонстрации пространственной формы однослойных швейных изделий (юбок) конической формы в поле сил тяжести и с учетом упругих свойств материалов. Визуализация пространственной формы изделия позволяет сопоставить результаты теоретических расчетов со значениями экспериментальных исследований, выявить взаимосвязь между геометрией изделия и свойствами материалов.

Основой для создания программы выбрана среда Embarcadero C++ Builder XE5, которая включает набор классов примитивов для работы библиотекой OpenGL, язык программирования для данной среды C++.

Для построения 3D графических объектов использовалось программное обеспечение – фреймворк, которое предназначено для облегчения объединения компонентов программного проекта, при этом объединение происходило за счет использования единого API адреса.

В качестве фреймворка для работы с 3D объектами при написании программного обеспечения использовался FireMonkey, который представляет собой векторный 2D объект как средство работы с примитивами. FireMonkey представляют собой набор простейших кривых, плоских и объемных фигур. С помощью встроенного редактора имеется возможность создания нового компонента на основе одного или нескольких базовых.

Так как одежда имеет сложную объемно-пространственную форму, то визуализация ее поверхности лишь на основе примитивов нецелесообразна, так как приводит к повышенному использованию оперативной памяти компьютера и, соответственно, возникает необходимость описания пространственной формы поверхности изделия аналитическими методами.

Для визуализации формообразования поверхности изделия и ввода соответствующих параметров проектирования юбки разработан интерфейс программы, с помощью которого осуществляется возможность выбора длины и величины расклешения юбки, жесткости материала, числа оборотов и количества спиралевидных соединительных швов. По заданным параметрам реализуется построение 3D поверхности однослойной конической юбки.

4.2.2 Основные команды и функции, реализующие работу программы

Фреймворки предоставляют возможность объединять отдельные компоненты для создания моделей, при этом компоненты предполагают непосредственное задание вершин элементарного участка поверхности (рис. 4.6).

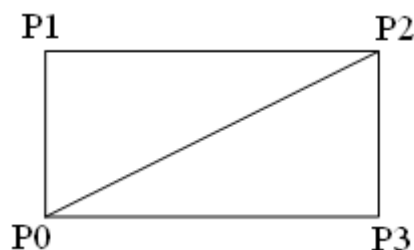


Рисунок 4.6 – Элементарный участок поверхности в OpenGL

Каждый элементарный участок задается координатами четырех вершин в трехмерном пространстве. Для создания поверхности из элементарных участков в OpenGL используется два буфера. В одном (Vertex Buffer) хранятся координаты вершин, во втором (Index Buffer) – индексы вершин, задающие опорные треугольники, при этом буферы позволяют хранить массивы данных, описывающих модель в оперативной памяти. Преимущество такого подхода состоит в увеличенной скорости обработки графики, но при этом существенно загружается оперативная память.

FireMonkey предоставляет оболочку для работы с элементарными функциями OpenGL. Для прорисовки модели с использованием буфера вершин, расположенного в оперативной памяти, в OpenGL устанавливаются указатели на различные атрибуты вершин функциями из Vertex Buffer, при этом Index Buffer определяет порядок следования вершин при построении геометрии.

В 3D моделях многие вершины принадлежат сразу нескольким треугольникам. Для того, чтобы несколько раз не дублировать в буфере вершин одинаковые точки, введена индексация вершин. Таким образом, геометрия модели описывается списком индексов, указывающих на соответствующие вершины. Использование индексированной геометрии значительно ускоряет прорисовку модели за счет использования post-TnL кэша (набора данных, к которым обращается программа). Видеокарта хранит последние преобразования, и если индекс указывает на уже преобразованную вершину, то повторного преобразования не происходит. В контексте работы с FireMonkey работа с буфером вершин и буфером индексов сводится к заполнению данных буферов, исходя из задаваемых параметров изделий и их математических моделей.

Для построения модели используются два объекта класса TMesh, причем имеется возможность независимого заполнения массивов данных. Оба объекта обладают одинаковыми свойствами: width (вид), height (высота), depth (глубина), rotation angle (поворот угла), position (позиция) и scale (масштаб). Это позволяет произвести наложение моделей и их последующую синхронизацию.

При синхронизации используются два свойства объекта Mesh – Rotation Angle и Scale. Rotation Angle определяет угол поворота системы координат относительно каждой из осей. В программе имеется возможность поворота модели вокруг вертикальной оси, что позволяет представить пространственную форму изделия при любом угле поворота.

4.2.3 Алгоритм построения модели юбки

Построение модели пространственной формы однослойной конической юбки состоит из нескольких этапов – построения модели пространственной формы изделия, границ юбки и соединительных швов юбки.

Алгоритм построения модели поверхности юбки представлен на рис. 4.7

Алгоритм построения границ юбки представлен на рис. 4.8.

На рис. 4.9 представлена блок-схема алгоритма прорисовки одного шва. Остальные швы прорисовываются путем изменения начального угла Ug_0 .

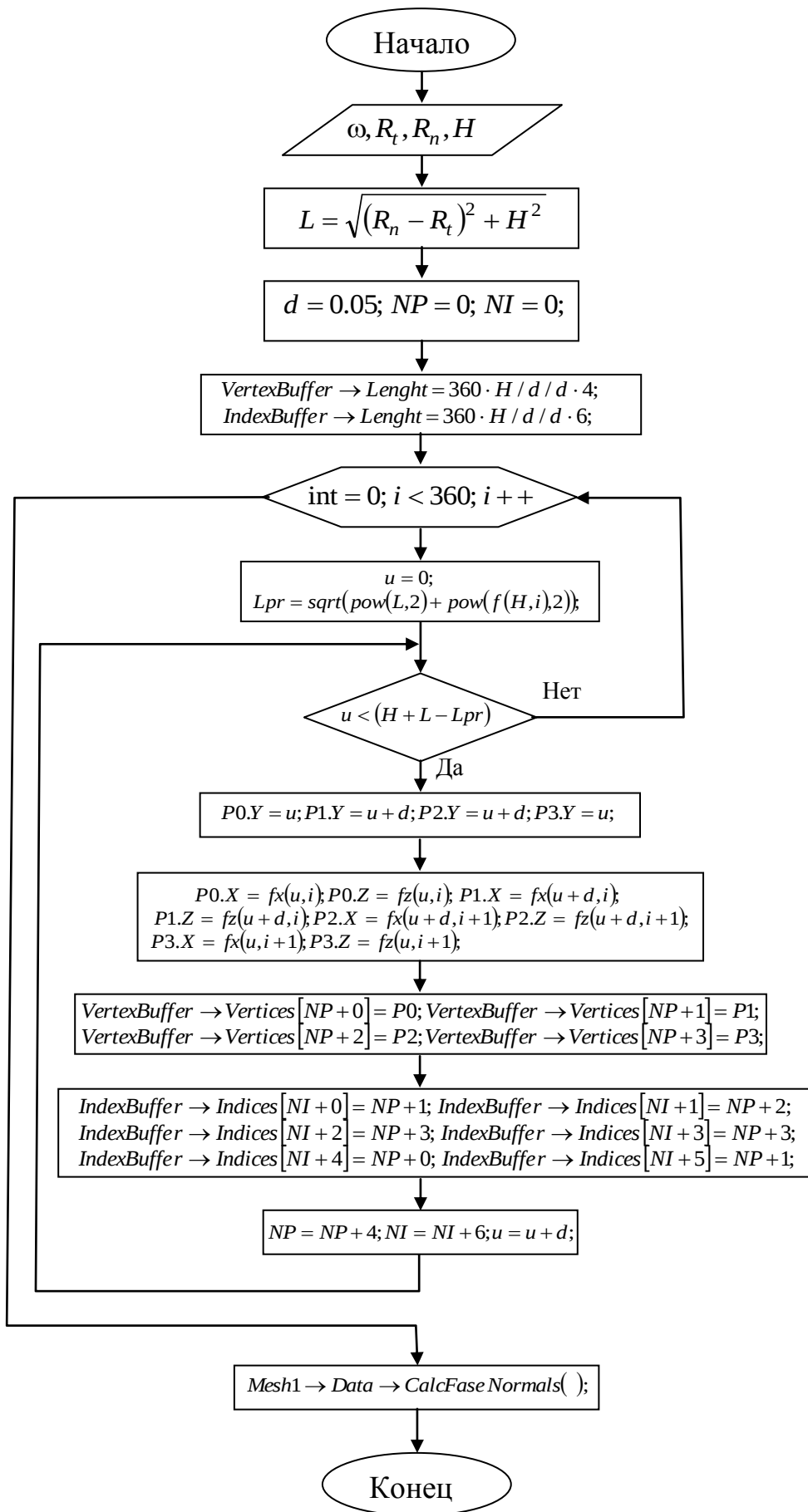


Рисунок 4.7 – Блок-схема алгоритма построения поверхности юбки

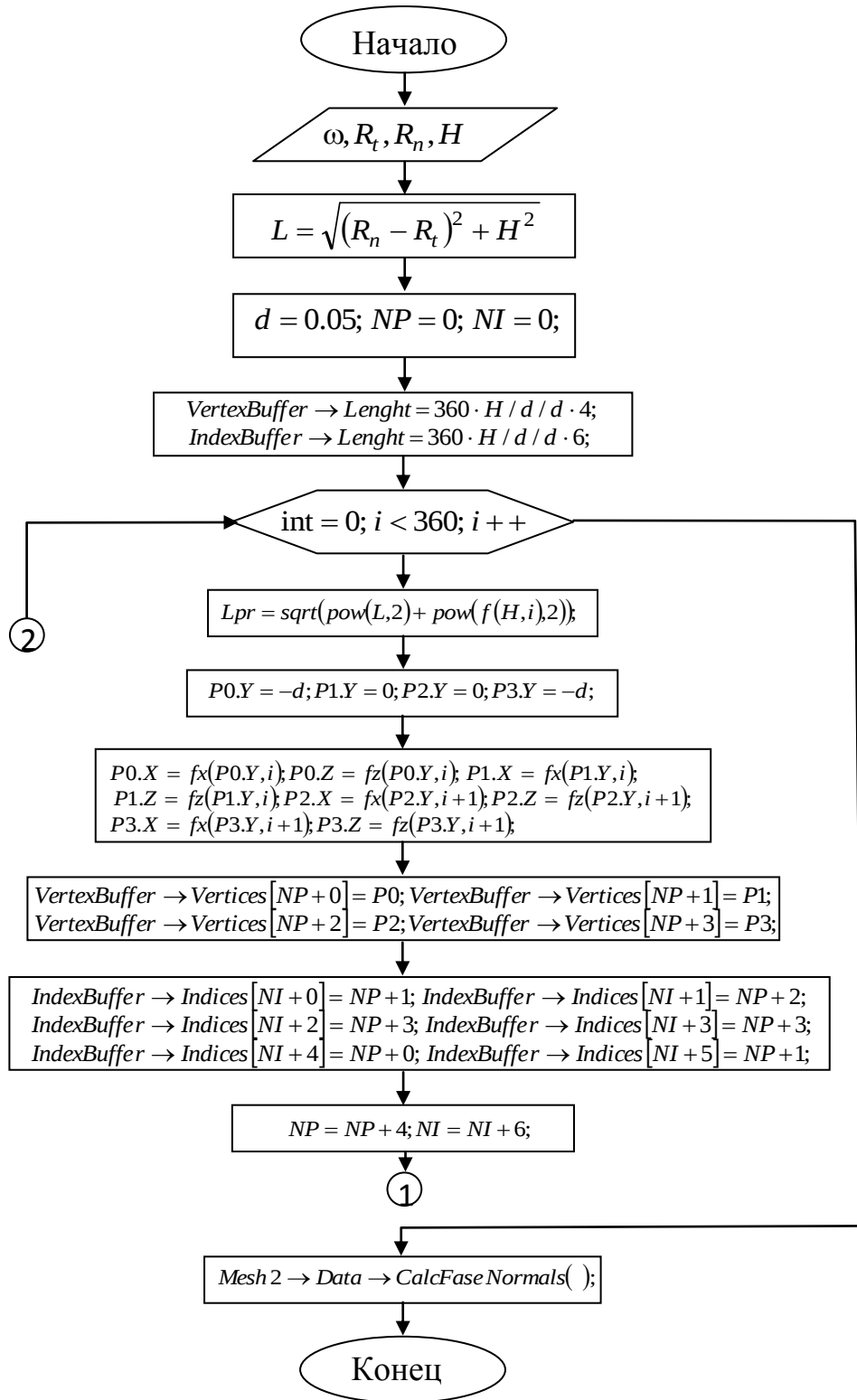


Рисунок 4.8 – Блок-схема алгоритма построения границ юбки

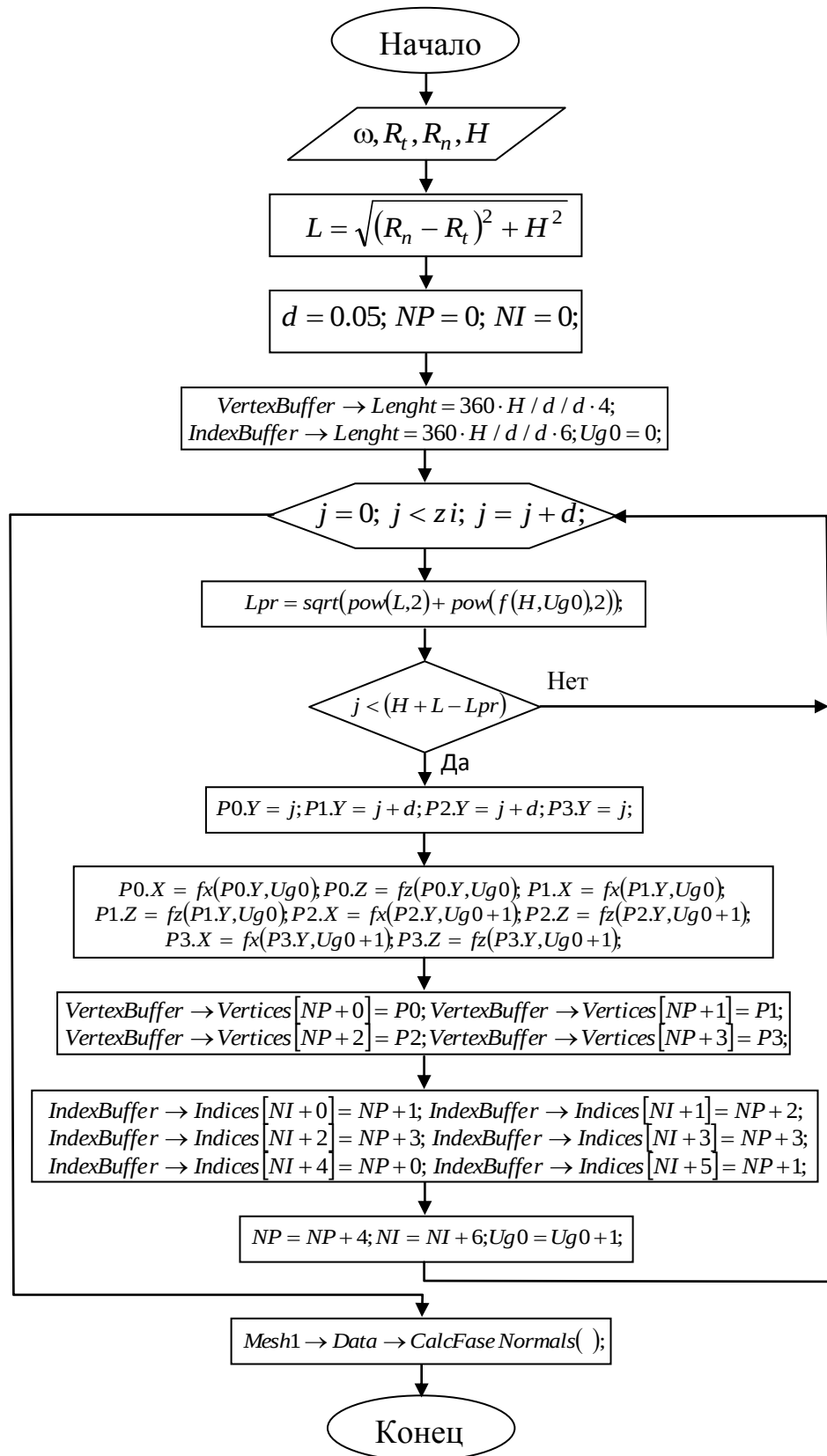


Рисунок 4.9 – Блок-схема алгоритма построения одного шва

Описанные алгоритмы построения поверхности юбки и ее технологических элементов далее будут использованы для 3D моделирования изделия.

4.2.4 Структуризация построения манекена и юбки

В качестве формата визуализации 3D изделия выбран формат OBJ, который содержит информацию о геометрии модели (описание координат вершин, связь координат текстуры, нормали координат вершин и др.).

Визуализация и вращение 3D манекена вокруг вертикальной оси в программе происходит с использованием объекта класса TModel3D. Пространственная поверхность изделия описывается в списке координат вершин, текстурных координат и нормалей.

С целью синхронизации движения манекена с моделью юбки использовано свойство Rotation Angle, которое является одинаковым как для объекта Model3D, так и для объекта Mesh. Также совмещены системы координат всех объектов изображения.

Загружаемая модель 3D манекена представлена на рис. 4.10.

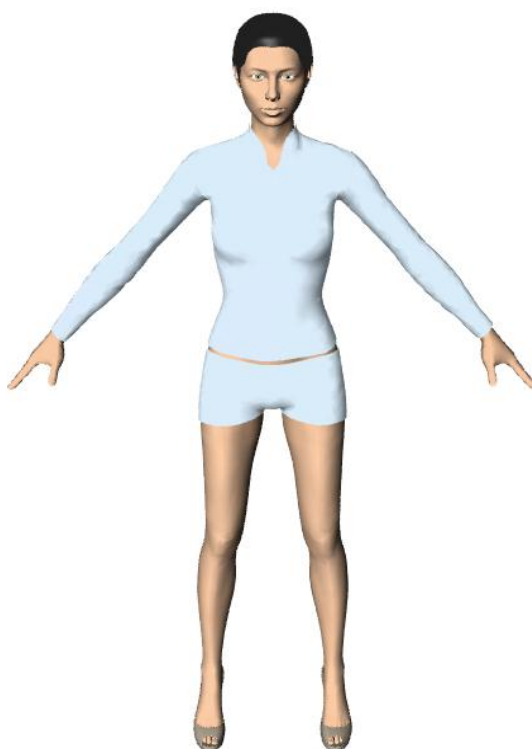


Рисунок 4.10 – Общий вид 3D модели манекена

На рис. 4.11 представлена совмещенная модель манекена и юбки со спиралевидными конструктивно-декоративными швами.



Рисунок 4.11 – Совмещенная модель манекена и юбки

В программе имеется возможность визуализации юбки отдельно от манекена (рис. 4.12).



Рисунок 4.12 – Визуализация поверхности юбки

Главное окно программы состоит из области отображения и панели управления (рис. 4.13). На панели управления находятся поля ввода для задания параметров моделирования юбки (длины и величины расклешения изделия, жесткости материала, числа оборотов и количества швов), кнопка, вызывающая подпрограмму построения модели, кнопка вызова формы отображения проекций юбки, трекбар для вращения модели относительно вертикальной оси.



Рисунок 4.13 - Главное окно программы

Форма отображения проекций юбки вызывается в качестве модальной, то есть основная программа не доступна, пока открыта модальная. Алгоритмы расчета построения 3D модели юбки и формы проекций юбки совпадают и приводят их нецелесообразно. Для получения проекций юбки использовано свойство Rotation Angle. На рис. 4.14 показана форма юбки при отображении ее фронтальной проекции.

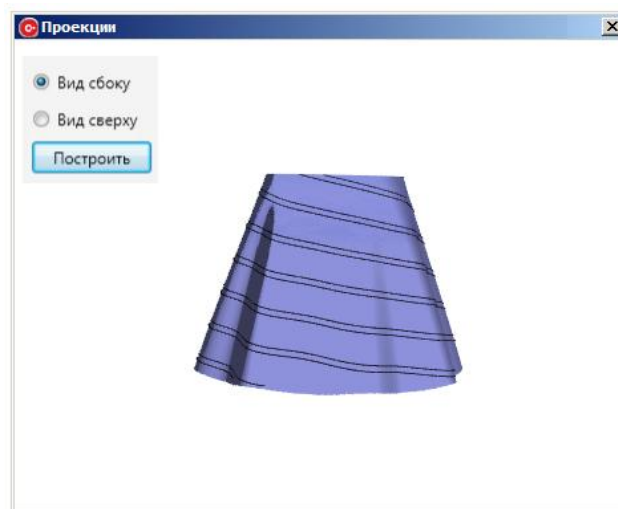


Рисунок 4.14 - Фронтальная проекция юбки

На рис. 4.15 представлена форма юбки при отображении его горизонтальной проекции. Переключение между режимами отображения проекций юбки происходит при помощи двух объектов класса TCheckBox, построение происходит при нажатии кнопки «Построить».

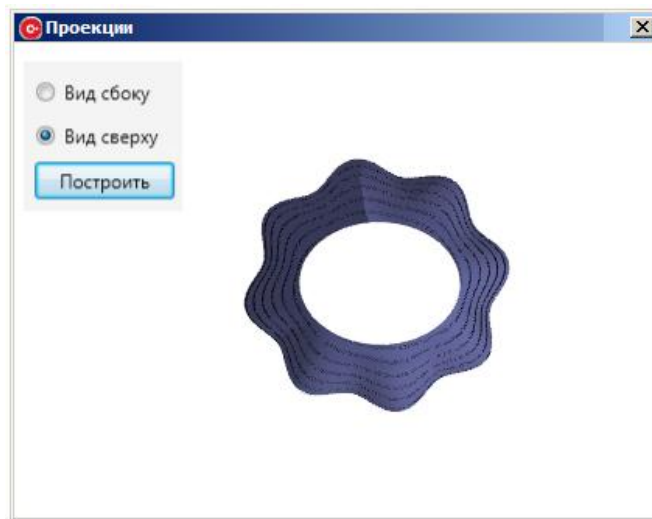
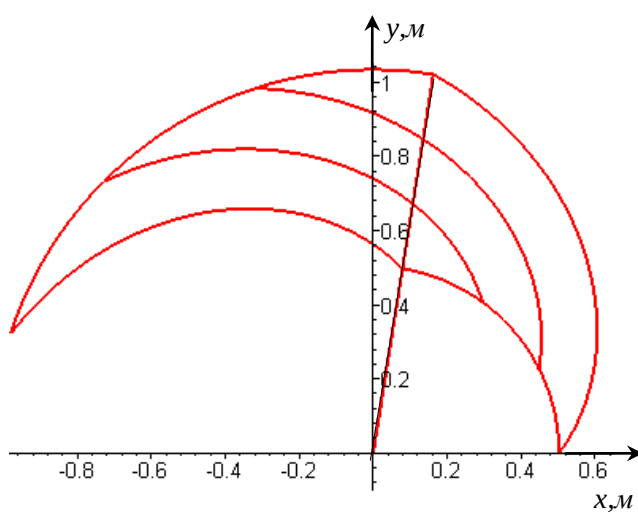
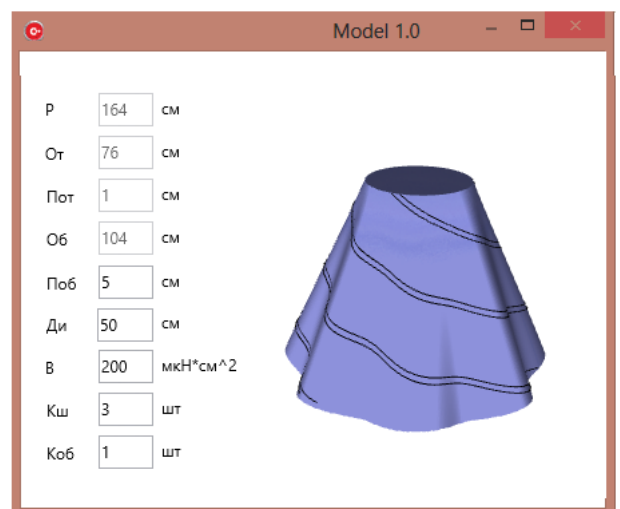


Рисунок 4.15 - Горизонтальная проекция юбки

На рис. 4.16 представлен модельный пример спиральной трехзаходной развертки конической юбки с количеством оборотов $p=1$ на женскую фигуру типового телосложения 164-96-104 (а) и визуализация пространственной формы изделия (б).



а)



б)

Рисунок 4.16 – Спиральная развертка (а) и пространственная форма (б) конической однослойной юбки

Разработанное программное обеспечение позволяет визуализировать пространственную форму однослойных конических юбок и основывается на аналитическом описании модели изделия. Программа позволяет по заданным размерным признакам и с учетом жесткости материала построить 3D изделие и возможностью вращения его вокруг вертикальной оси, а также получить проекции юбки при минимальной загрузке оперативной памяти компьютера. Фронтальная проекция позволяет оценить художественно-эстетические показатели изделия, горизонтальная проекция – определить количество и глубину складок.

Применение программы при проектировании изделий позволяет минимизировать материальные и трудовые затраты на создание новых моделей одежды за счет создания виртуальных образцов 3D моделей юбок, возможности оперативных изменений в образцах моделей и передачи их по сети интернет. Программа может служить вспомогательным инструментом для проектировщиков швейных изделий.

4.3 Разработка модельной конструкции конической юбки со спиралевидными линиями членений

При разработке модельной конструкции конической юбки, целесообразно учитывать форму конического расклешения, которое может быть малым, средним и большим. При проектировании конических юбок всех видов расклешения, прибавки на посадку изделий должны обеспечивать необходимый объем изделия для нижнего опорного конструктивного пояса.

Для построения конструкции конической юбки со спиралевидными линиями членений разработана программа в *Maple 9.5*. В программе имеется возможность выбора величины расклешения, числа оборотов, количества спиралевидных деталей и оформления краев деталей изделия согласно заданным размерным признакам тела человека.

Качество посадки юбки на фигуре человека зависит от правильного опорного баланса, который обеспечивается распределением разницы размеров

изделия по линии талии и линии бедер в вытачки. При несоответствии объема юбки форме нижнего опорного пояса возникают дефекты, которые проявляются в виде вертикальных мягких складок в области талии и горизонтальных складок, возникающих из-за излишне плотного облегающего в области бедер [11]. С целью устранения возможных дефектов и лучшей посадки конических юбок в зависимости от количества линий членения возможно перераспределять вытачки в спиралевидные линии членений.

Юбки малого конического расклешения повторяют форму поверхности тела человека на участке от линии талии до линии бедер, поэтому для их лучшей посадки возможно проектировать отрезные кокетки шириной до линии бедер с учетом раствора и длины талиевых вытачек.

Так как разработанная программа предназначена для построения швейных изделий в форме конуса, а нижний опорный пояс тела человека представляет собой сложную объемную поверхность, то для лучшей посадки юбок малого объема предлагается совместить две программы для построения отрезной кокетки юбки и нижней части юбки со спиралевидными линиями членений. Построение базовой основы юбки и моделирование отрезной кокетки юбки на женскую фигуру типового телосложения 164-96-104 в САПР «Грация» представлено в приложении 5. Алгоритм построения конструкции трехзаходной юбки с количеством оборотов $p=1$ на фигуру типового телосложения 164-96-104 с построением линии отрезной кокетки представлен в приложении 6. Необходимым условием совмещения двух программ для построения модельной конструкции юбки является то, что длина нижнего среза кокетки и длина верхнего среза нижней части юбки должны быть равными.

С применением предложенного способа проектирования швейных изделий изготовлены образцы юбок с применением в качестве отделочного материала тесьмы-молнии и перьевой тесьмы. Фотографии изделий представлены в приложении 7.

Таким образом, предложенный способ проектирования изделий со спиралевидными линиями членений позволяет разрабатывать эксклюзивные ди-

зайнерские модели одежды и расширить модельный ряд изделий за счет изменения количества спиралевидных полос и числа оборотов, при этом границы полос могут быть представлены в форме спирали Архимеда и других плоских кривых: алгебраических, синусоид, ломаных.

4.4 Практические рекомендации по изготовлению конических однослойных швейных изделий со спиралевидными линиями членения

С целью соответствия эстетическим, экономическим и эргономическим показателям, проектирование форм одежды должно основываться на закономерностях тектоники и принципах архитектоники [124]. Современные эксклюзивные модели одежды отличает сложный крой, при этом объемно-пространственная форма изделия достигается за счет конструктивного решения модели изделия в соответствии со свойствами применяемых материалов и технологической обработкой изделия.

При применении предложенного способа проектирования швейных изделий, линии боковых швов, середин переднего и заднего полотнищ юбки на одной и той же спиралевидной детали меняют свои направления относительно нормали к верхнему краю юбки, поэтому при разработке рабочих лекал, во избежание возможных технологических дефектов, необходимо наносить монтажные надсечки по криволинейным срезам лекал, при этом с увеличением количества оборотов развертки необходимо сокращать расстояние между надсечками.

Припуски на швы необходимо проектировать с учетом кривизны срезов минимальными, но достаточными для качественного изготовления изделия, а также с учетом осыпаемости и раздвигаемости материалов, что особенно важно для изделий без подкладки. Срезы деталей из легкоосыпающихся материалов рекомендуется обметывать, вырезать зубцами, а в изделиях из синтетических материалов - оплавливать во время резания. Снижение трудоемкости обработки изделий достигается при использовании высокоскоростных специализированных стачивающе-обметочных машин при соединении деталей изделий.

Швы (соединительные и краевые) и отделочные элементы (ленты, тесьма, кружева), предусмотренные в швах, выступают в виде ребер жесткости; их количество, расположение и расстояние между ними влияют на получаемую объемно-пространственную форму изделия.

На формообразование изделия влияет жесткость нижнего контура, поэтому различного вида обработку низа изделия можно рассматривать как средство создания одежды различных конических форм (гладких или складчатых). Во избежание дефектов в готовом изделии, на этапе предпроектных работ рекомендуется оценивать соответствие жесткости материалов и отделочных элементов, так как в случае их несоответствия возможно возникновение косых деформаций на поверхности изделия. Застежку в поясных изделиях со спиралевидными линиями членений рекомендуется располагать в соединительном шве изделия.

При создании эксклюзивных моделей одежды, одним из вариантов достижения необходимой объемно-пространственной формы изделия является применение перьев птиц в качестве отделочно-декоративных материалов.

При изготовлении одежды с применением перьев возникают вопросы технологического характера, связанные с соединением перьев с деталями изделия. Одним из путей решения данной проблемы является применение перьевой тесьмы [125,126]. Конструкция перьевой тесьмы представлена на рис. 4.17.

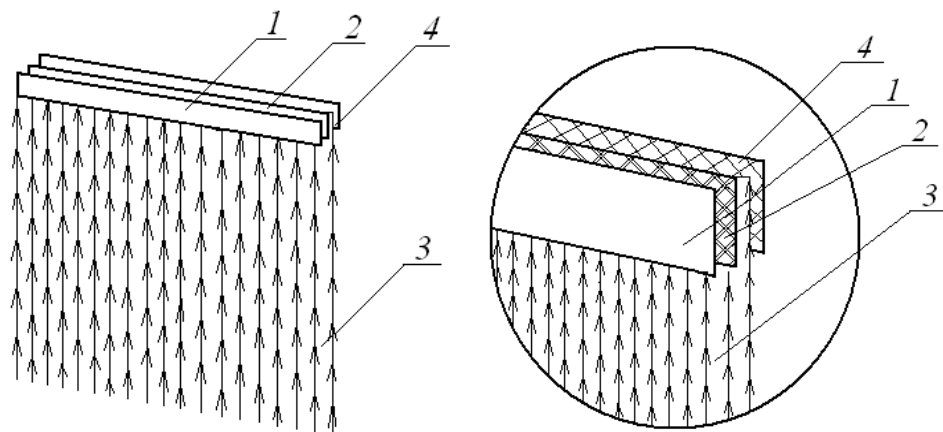


Рисунок 4.17 – Конструкция перьевой тесьмы

Конструкция перьевой тесьмы состоит из полоски натуральной кожи 1, клеевой сетки 2, опахальных частей перьев 3, полоски текстильного материала 4, скрепленных между собой термоклеевым или клеесварным способом. Перьевая тесьма может настрачиваться на детали изделия или втачивается между частями деталей; покрывать всю поверхность изделия или применяться на отдельных участках. Применение перьевой тесьмы при изготовлении изделий со спиралевидными линиями членения позволяет расширить модельный ряд изделий, придать одежде эксклюзивный внешний вид и рационально использовать перьевое и кожевенное сырье. Фотография изделия, изготовленного с применением перьевой тесьмы, представлены в приложении 7.

С применением предложенного способа проектирования изделий со спиралевидными линиями членений изготовлен головной убор, фотографии которого представлены в приложении 7.

При изготовлении изделий из натуральных кожевенных материалов предложенный способ проектирования одежды позволяет снизить материалоемкость изделия за счет использования пластических свойств кожи. Если раскраивать кожу (или межлекальные выпадки, образующиеся после раскроя кожи) на прямолинейные полосы постоянной ширины, то для получения необходимой объемно-пространственной формы изделия возможно деформировать кожу, при этом максимальная деформация при формовании не должна превышать 20% [20,127]. Для правильного проведения технологических процессов формообразования изделий из натуральной кожи необходимо учитывать вид и свойства используемой кожи, так как возможны необратимые структурные изменения кожи, которые могут значительно снизить ее прочностные свойства, эстетические показатели и качество изделия.

Таким образом, предложенный способ проектирования одежды, при использовании натуральной кожи, позволяет достичь необходимую объемно-пространственную форму изделия, повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции, художественно-эстетические показатели и рационально использовать кожевенные материалы.

Выводы по главе 4

1. Получена плотная раскладка лекал деталей юбок, представляющих собой правосторонние и левосторонние спиральные развертки прямого кругового усеченного конуса, при этом процент межлекальных выпадов составил 4,4%.

2. На основе математических моделей в среде Embarcadero C++ Builder XE5 разработан программный продукт, позволяющий визуализировать формообразование однослойной конической юбки на манекене в 3D графике с возможностью вращения его вокруг вертикальной оси, при этом параметры юбки задаются интерактивно. В программе имеется возможность визуализации горизонтальной и фронтальной проекций изделия.

3. Разработана модельная конструкция юбки с применением комбинированного способа построения разверток деталей изделия и практические рекомендации по проектированию конических швейных изделий со спиралевидными линиями членений, что позволяет расширить модельный ряд одежды и повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции за счет достижения высоких художественно-эстетических показателей изделий и рационального использования материалов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Научно обоснован метод проектирования швейных изделий конической формы, состоящей из одной или нескольких деталей в виде спиральных разверток, построение которых реализуется на основе прикладных пакетов математических программ.

2. Получены зависимости относительной деформации полосы развертки от ее ширины и порядкового номера оборота. Выявленные зависимости относительной деформации полосы позволяют прогнозировать ширину прямолинейной полосы при получении пространственной формы.

3. Предложена математическая модель пространственной формы элемента тонкой оболочки, который представляет собой усеченный конус малой высоты, закрепленный на диске с помощью нитей равной длины, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Приближенное решение задачи формообразования замкнутого элемента тонкой оболочки получено на основе методов вариационного исчисления, исходя из принципа минимума потенциальной энергии. Получена математическая модель, описывающая поверхность однослойной конической юбки с учетом жесткости и поверхностной плотности материалов.

4. Приведенные расчеты моментов инерции позволяют выявить закономерности их изменения в зависимости от расположения соединительных швов и расстояния между ними. На основе аналитических и экспериментальных исследований установлено, что жесткость составных деталей из анизотропных материалов вдоль шва соединения зависит от жесткости этих материалов как вдоль, так и поперек шва, при этом жесткость образца вдоль шва соединения составных деталей образца больше, чем жесткость ткани вдоль и поперек шва.

5. Для исследования способности материалов к формообразованию усовершенствован прибор для определения драпируемости материалов дисковым методом, что позволило повысить точность и объективность результатов исследования за счет приближения условий испытания к реальным и уменьшения искажения проекции образца материала.

6. На основе планирования активного эксперимента по плану Бокса-Уилсона и с применением теории подобия проведены экспериментальные исследования формообразования замкнутого элемента тонкой оболочки и образца юбки. Методами многомерного статистического анализа получены регрессионные зависимости среднего радиуса и амплитуды складок для замкнутого элемента тонкой оболочки и образца юбки, гипотезы о регрессионных зависимостях проверены по критерию Фишера и приняты как правдоподобные. Анализ полученных результатов экспериментальных исследований подтвердил адекватность результатов теоретических расчетов. Относительная погрешность рассогласования теоретических расчетов среднего радиуса и амплитуды с экспериментальными значениями для элемента тонкой оболочки не превосходит 3%, а для образца юбки не превышает 3,5%.

7. Получена плотная раскладка лекал деталей юбок на основе правосторонней и левосторонней спиральных разверток прямого кругового усеченного конуса, при этом процент межлекальных выпадов составил 4,4%.

8. На основе математических моделей в среде Embarcadero C++ Builder XE5 разработан программный продукт, позволяющий визуализировать формообразование однослойной конической юбки на манекене в 3D графике с возможностью вращения его вокруг вертикальной оси, при этом параметры задаются интерактивно. В программе имеется возможность визуализации горизонтальной и фронтальной проекций изделия.

9. Разработана модельная конструкция юбки и практические рекомендации по проектированию конических швейных изделий со спиралевидными линиями членений, что позволяет расширить модельный ряд одежды, повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции, художественно-эстетические показатели и рационально использовать материалы.

10. Результаты работы внедрены в производственный процесс ООО «Силуэт», ИП «Изотиков И.С.» г. Шахты и в учебный процесс кафедры «Технология изделий легкой промышленности» ИСОиП (филиала) ДГТУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. История бренда Herve Leger by Max Azria [Электронный ресурс]. – Энциклопедия моды, 2013. Режим доступа:
<http://wiki.wildberries.ru/brands/herve-leger-by-max-azria>
2. Ермилова, Д.Ю. История домов моды: учебное пособие для вузов – 2-е изд. / Д.Ю. Ермилова. – М.: Академия, 2004 – 288с.
3. Модные юбки осень 2014 [Электронный ресурс]. – Мода, 2014. Режим доступа <http://www.inmoment.ru/beauty/fashion/skirts-fall-2014.html>
4. Коллекция «Весна-лето 2014» Herve Leger by Max Azria [Электронный ресурс]. – Clamour moda, 2014. Режим доступа:
<http://www.glamour.ru/fashion/catwalks/7248/575007/>
5. Бренд Camilla and Mark [Электронный ресурс]. – Каталог брендов, 2014. Режим доступа: <http://www.relook.ru/brand/Camilla-and-Marc.html>
6. Платья из кожи: летние версии [Электронный ресурс]. – Все о моде, 2014. Режим доступа: <http://www.fashion-fashion.ru/trendy/200-leather-dress>
7. Giordgio Armani prive [Электронный ресурс]. – Показ коллекции Giordgio Armani. Режим доступа:
<http://www.elle.ru/moda/novosty/yaponia-giorgio-armani-prive/>
8. Шершнева, Л.П. Конструирование одежды: Теория и практика: учебное пособие / Л.П. Шершнева, Л.В. Ларькина.– ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 288с.
9. Медведева, Т.В. Художественное конструирование одежды: учебное пособие для вузов / Т.В. Медведева. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. – 480с.
10. Булатова, Е.Б. Конструктивное моделирование одежды: учеб. пособие для вузов / Е.Б. Булатова, М.Н. Евсеева. – М.: Академия, 2003. – 272с.
11. Мартынова, А.И. Конструктивное моделирование одежды: учеб. пособие для вузов / А.И. Мартынова, Е.Г. Андреева. – М.: Московская государственная академия легкой промышленности, 1999. – 216с.

12. Куприянов, М.П. Деформационные свойства кожи для верха обуви / М.П. Куприянов. – М.: Легкая индустрия, 1969. – 248с.
13. Андросова, Г.М. Оптимизация выбора полотен из матричных элементов на ассортимент изделий из кожи и меха / Г.М. Андросова, И.Г. Браилов, О.В. Свириденко, Я.А. Ерохова. – Омск: Омский государственный институт сервиса, 2011. – 194с.
14. Афанасьева, Р.Я. Справочник кожевника: сырье и материалы / Р.Я. Афанасьева, Н.С. Афонская, М.М. Бернштейн; под ред. проф. К.М. Зурабяна. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 384 с., ил.
15. Фукин, В.А. Технология изделий из кожи (часть 1): учебник для вузов / В.А. Фукин, А.Н. Калита. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 272с.
16. Бекмурзаев, Л.А. Технология одежды из кожи: учебное пособие / Л.А. Бекмурзаев, В.Ф. Водорезова, Е.И. Шайкевич. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004. – 144с.
17. Морозова, Л.П. Справочник обувщика (Проектирование обуви, материалы) / Л.П. Морозова, В.Д. Полуэктова, Е.Я. Михеева – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 432с.
18. ГОСТ 1875-83. Кожа для одежды и головных уборов. Технические условия – М.: Издательство стандартов, 1983. – 8с.
19. Зурабян, К. М. Материаловедение изделий из кожи: учебник для вузов / К.М. Зурабян, Б.Я. Краснов, М.Т. Бернштейн. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 416 с.
20. Михреева, Е.Я. Справочник обувщика: технология / Е.Я. Михреева, Г.А. Мореходов, Т.П. Швецова. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 416с.
21. Найханов, В.В., Павлова, С.В. Построение разверток при проектировании одежды [Электронный ресурс] //International Conference Graphion – 1998, Moscow, Russia. Режим доступа: <http://www.graphion.ru/>
22. Трухан, Г.Л. Конструирование одежды / Г.Л. Трухан. – М.: Легкая индустрия, 1969. – 335с.

23. Сухарев, М.И. Принципы инженерного проектирования одежды / М.И. Сухарев, А.М. Бойцов. – М: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 282с.
24. Раздомахин, Н.Н. Аналитическое описание разверток объемных поверхностей манекена и одежды // Швейная промышленность, 1997. – №6. – С.35.
25. Козлова, Е.В. Детская одежда. Справочник по моделированию и конструированию / Е.В. Козлова. – СПб.: Политехника, 2011. – 326с.
26. Стебельский, М.В. Макетно-модельный метод проектирования одежды / М.В. Стебельский – М.: Легкая индустрия, 1979. – 160с.
27. Высоцкая, Н.Н. Технические развертки изделий из листового материала / Н.Н. Высоцкая, А.М. Иерусалимский, Р.А. Невельсон, В.А. Федоренко. – М., 1968. – 272с.
28. Савостицкий, А.В. Основные теоретические положения конструирования деталей одежды из тканей и других материалов / А.В. Савостицкий. – Науч. тр./ МТИЛП, М., 1962. – №22.
29. Коблякова, Е.Б. Конструирование одежды с элементами САПР: учебник для вузов / Е.Б. Коблякова, Г.С. Ивлева, В.Е. Романов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 464с.
30. Бузов, Б.А. Материаловедение швейного производства / Б.А. Бузов, Т.А. Модестова, Н.Д. Алыменкова. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 424с.
31. Сухарев, М.И. Материаловедение: учебное пособие / М.И. Сухарев. – М.: Легкая индустрия, 1973. – 264с.
32. Склянников, В.П. Строение и качество тканей: монография / В.П. Склянников. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 176 с.
33. Кукин, Г.Н. Текстильное материаловедение: текстильные полотна и изделия: учеб. пособие для вузов / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев, А.И.Кобляков. – М.: Легпромбытиздат – 1992. – 272 с.
34. Садыкова, Ф.Х. Текстильное материаловедение и основы текстильного производства / Ф.Х. Садыкова. – М.: Легкая индустрия, 1967. – 364с.
35. Тамаркина, М.А., Русаков, С.И. Об оценке драпируемости ткани // Швейная промышленность – 1969. – №1– С. 24-29.

36. ГОСТ 26666.6 – 89 Мех искусственный трикотажный. Метод определения драпируемости – М.: Издательство стандартов, 1990. – 8с.
37. Бузов, Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство): учебник для вузов / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 448с.
38. Патент RU 2324935 С2 Способ определения способности текстильных материалов к образованию ниспадающих складок / Смирнова Н.А., Иванова О.В., Борисова Е.Н., Хохлова Е.Е. – КГТУ – 2008.
39. Патент RU 2409811 С1 Способ определения драпируемости материалов для одежды / Жихарев А.П., Оганесян А.А., Абу С.В. – МГУДТ – 2011.
40. Патент SU 1760450 А1 Способ определения подвижности структуры и драпируемости текстильных материалов в изделиях и устройство для его осуществления / Терпенова О.К., Белкина В.А., Иванникова И.М. – ВЗИТЛП – 1989.
41. Патент RU 2255335 С1 Способ определения анизотропии драпируемости / Смирнова Н.А., Иванова О.В., Смирнов А.В., Серикова С.Д., Тугунова Е.И. – КГТУ – 2004.
42. Патент RU 2119667 С1 Способ определения драпируемости текстильных материалов / Смирнова Н.А., Перепелкин К.Е., Койтова Ж.Ю., Борисова Е.Н., Смирнов А.В. – СПбГУТД, КГТУ – 1998.
43. Тамаркина, М.А. Образование форм одежды с учетом драпируемости ткани и основных конструктивных элементов изделий автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.19.04 / Москва. 1970. – 24с.
44. Авторское свидетельство СССР N1688162, кл. G01N33/36.1989
45. Тимченко, В.А., Борисова, Е.Н. Разработка неразрушающего метода оценки драпируемости меховых полуфабрикатов // Швейная промышленность –2013. – №5 – С.27-28.
46. Патент G01N33/36 Способ оценки драпируемости швейных текстильных и кожевенных материалов / Железняков А.С., Старкова Г.П., Дремлюга О.А., Александров В.А. – ВГУЭС – 2010.

47. Дремлюга, О.А., Шеромова, И.А., Старкова, Г.П., Железняков, А.С. Компьютерная технология оценки драпируемости легкодеформируемых материалов // Швейная промышленность – 2012. – №3 – С. 23-25.
48. Патент на изобретение № 2154391 RU. Способ компьютерного моделирования одежды // Зак И.С., Сизова Р.И., Марченко О.Д.; опубл. 20.08.2000.
49. Патент на изобретение № 2388606 RU. Способ получения трехмерного объекта сложной формы / Петросова И.А., Андреева Е.Г., Мартынова А.И.// патентообладатель: МГУДТ; заявл. 06.10.2008; опубл. 10.05.2010, Бюл. №13.
50. Лаврис, Е.В. Теория и методы проектирования объемных малошовных оболочек с триаксиальной и мультиаксиальной структурой: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.19.04 / МГУДТ, Москва. 2011. – 46с.
51. Гусева, М.А. Совершенствование метода трехмерного проектирования элементов конструкции плечевой одежды: дис. ... канд. техн.наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2007. – 238 с.
52. Линник, Ю.В. Разработка метода трехмерного проектирования сопряжения сложных поверхностей плечевой одежды: дис. ...канд. тех. наук: 05.19.04/ Линник Юлия Владимировна. – М., 2008. – 205с.
53. Киселева, М.В. Разработка параметрического метода 3–D моделирования женских поясных изделий : дис....канд. техн. наук: 05.19.04 /МГУДТ, Москва, 2011. – 232 с.
54. Гальцова, Л.О. Разработка метода трехмерного проектирования внешней формы изделия на типовые и индивидуальные фигуры: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2012. – 245 с.
55. Раздомахин, Н.Н. Теоретические основы и методическое обеспечение трехмерного проектирования одежды: дис. ...д-ра. тех. наук: 05.19.04/ Раздомахин Николай Николаевич. – М., 2004. – 168с.
56. Раздомахин, Н. Н., Басуев, А.Г., Сурженко, Е.Я. Система трехмерного автоматизированного проектирования одежды и перспективы ее развития // Вестник СПбГУТД. - СПб. - 1996. - № 1

57. Ли Ю., Кузьмичев, В.Е. Новая технология обработки и проектирования виртуальных систем «женская фигура-куртка». // Швейная промышленность. – 2009, № 1. – С.32-35.
58. Ло Ю., Кузьмичев, В.Е. Конструктивное обоснование получения объемно–пространственной формы одежды// Швейная промышленность. – 2010, № 4. – С. 40-43.
59. Васильев, Д.А., Горелова, А.Е., Давыдова, Е.С., Корнилова, Н.Л. Определение взаимосвязи характеристик деформации развертки 3-D изделия со свойствами материалов // Технология легкой промышленности – 2012. – №2 – С. 56-60.
60. Павенко, Е.Н., Фроловский, В.Д. Разработка и исследование алгоритма построения квазиразвертки поверхности [Электронный ресурс] – Материалы международной конференции по компьютерной графике – 2006. – Режим доступа: <http://www.graphicon.ru>
61. Фроловский, В.Д. Моделирование поведения ткани на поверхности компьютерного манекена // Известия вузов, технология текстильной промышленности – 2006. – №4 –С.68-71.
62. Фроловский, В.Д., Ландовский, В.В. Разработка и исследование компьютерных методов трехмерного проектирования одежды // Омский научный вестник – 2006. – № 3 (36) – С. 132-137.
63. Ландовский, В.В. Моделирование сборки деталей из тканых материалов на твердотельных поверхностях // Материалы 16-й междунар. конф. по компьютерной графике: институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН – 2006. – С. 53-58.
64. Sze K.Y., Liu X.H. Fabric drape simulation by solid-shell finite element method // Hong Kong, PR China – 2007. – P. 819-838.
65. Sze K.Y., Wang C. Solving cloth frictionless contact problems by optimization algorithm // Acta Mech. Solida Sin., 26 – 2005. – P. 482-484.
66. Sze K.Y., Liu X.H. A new skeletal computational model for fabric drapes // Int. J. Mech. Mater. Des. 2 – 2005. – P. 225-243.

67. Sze K.Y., Liu X.H. A corporation grid-based model for fabric drapes // Int. J. Numer. Methods Eng., 57 – 2003. – P. 1503-1521.
68. Magnenat-Thalmann N., Volino P., Cordier F. Avenues of Research in Dynamic Clothing // MIRALab, C.U.I., University of Geneva - CH-1211, Switzerland. – 2002.
69. Volino P., Cordier F., Magnenat-Thalmann N. From early virtual garment simulation to interactive fashion design // Computer-Aided Design Journal – 2005, Vol.37., Is.6.- P.593-608.
70. Magnenat-Thalmann N., Volino P., Bonanni U., Summers I. R., Bergamsco M., Salsedo F., Wolter F.E. From Physics-based Simulation to the Touching of Textiles: The HAPTEX Project // The International Journal of Virtual Reality, 6(3). – P. 35-44 – 2007.
71. Thomaszewski B., Wacker M., Straber W. A consistent bending model for cloth simulation with corotational subdivision finite elements // Eurographics/ ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation – 2006.
72. Baraff D., Witkin A. Large steps in cloth simulation // In: Proceedings of SIGGRAPH, Orlando, FL, 19-24 July 1998. – New York: ACM, 1998. – P.43-54.
73. Ascher U., Boxerman E. On the modified conjugate gradient method in cloth simulation // The Visual Computer. - 2003, Vol.19, Is.7-8, P.526-531.
74. Eischen J.W. Continuum versus Particle Representations // Cloth Modeling and Animation A. K. Peters Publishing. – P. 2-32.
75. Ilea D.E., Whelan P.F. Image segmentation based on the integration of color - texture descriptors - A review// Pattern Recognition.- 2011, Vol.44, Is.10-11.- P.2479-2501.
76. Taylor A., Unver E., Worth G. Innovative potential of 3D software applications in fashion and textile design // Digital Creativity – 2003, Vol.14, Is.4, No.12. – P.211-218.

77. Петросова, И.А. Разработка методологии проектирования внешней формы одежды на основе трехмерного проектирования: дис...д-ра. техн. наук: 05.19.04 / Петросова Ирина Александровна. – М., 2014 – 522с.
78. Мязина, Ю.С. САПР одежды: учебное пособие / Ю.С. Мязина, Л.Н. Лисенкова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 48с.
79. Зыков, С.Н. САД системы в текстильных САПР: учебно-методическое пособие / С.Н. Зыков, К.С. Ившин. – Ижевск: УдГУ, 2008. – 18с.
80. Савостицкий, А.В. Технология швейных изделий: учебник для высш. учеб. заведений / А.В. Савостицкий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 440с.
81. Водорезова, В.Ф. Технология швейных изделий: конспект лекций / В.Ф. Водорезова – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2008. – 182с.
82. Меликов, Е.Х. Лабораторный практикум по технологии швейных изделий: учеб. пособие для вузов / Е.Х. Меликов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 272с.
83. Сурикова, Г.И. Проектирование раскладок лекал деталей одежды в САПР: учебное пособие / Г.И. Сурикова, М.В. Сурикова, О.В. Сурикова. – Иваново: ИГТА, 2005. – 152с.
84. Скатерной, В.А. Оптимизация раскроя материалов в легкой промышленности / В.А. Скатерной. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 144с.
85. Попандопуло, В.Н. Анализ экономичности моделей одежды / В.Н. Попандопуло – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 96с.
86. Герасимова, Н.И. Разработка способов сокращения отходов материалов при раскрое в многокомплектных раскладках корсетных изделий: автореф. дис...канд. техн. наук: 05.19.04 / Н.И. Герасимова – М., 1983. – 24с.
87. Козлов, Б.А. Плотные многокомплектные раскладки деталей швейных изделий / Б.А. Козлов. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 152 с.
88. Залгаллер, В.А. Об одном необходимом признаке плотнейшего расположения фигур / В.А. Залгаллер. – Успехи математических наук Т. 8. Вып. 4, 1953. – с. 153-162.

89. Зозулевич, Д.М. – К задаче рационального раскроя / Д.М. Зозулевич. – Вычислительная техника в машиностроении №10 – 1967. – с. 55-62.
90. Краснов, Н.М. Рациональный раскрой листовых материалов с применением ЭВМ в условиях судостроительного производства: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.19.04 / Н.М. Краснов – Л., 1976.
91. Прудис, В.Н. Метод определения оптимального плана раскроя при массовом производстве одежды: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04 / В.Н. Прудис. – К., 1973.
92. Бабаев, Ф.В. Рациональный раскрой листа на детали сложных геометрических конфигураций / Ф.В. Бабаев. – Производство изделий сложной конфигурации №8 – 1968. – С. 12-14.
93. Бабаев, Ф.В. Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ / Ф.В. Бабаев. – М.: Машиностроение, 1982. – 168с.
94. Балайтис, Д.Г. Разработка методов автоматического размещения лекал в раскладке: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04 / Д.Г. Балайтис – СПб., 1996. – 154 с.
95. Мышкис, Д.А. Математика для вузов. Специальные курсы / Д.А. Мышкис. – М.: Наука, 1971 г. – 632 с.
96. Бекмурзаев, Л.А., Бырдина, М.В., Назаренко, Е.В. Разработка нового подхода к проектированию эксклюзивных моделей швейных изделий // Швейная промышленность. – 2014 - № 3. – С. 24-26.
97. Бырдина, М.В. Проектирование эксклюзивных моделей одежды с использованием аналитического способа развертки // Швейная промышленность. – 2014. - № 3. – С. 40-41.
98. Новожилов, В.В. Линейная теория тонких оболочек / В.В. Новожилов, К.Ф. Черных, Е.И. Михайловский. – Л.: Политехника, 1991. – 656 с.
99. Бекмурзаев, Л.А., Бырдина, М.В., Назаренко, Е.В. Исследование и моделирование формообразования тонкой оболочки // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. - № 4 – С. 58-64.

100. Власов, В.З. Избранные труды. Том 2. Тонкостенные упругие стержни. Принципы построения общей технической теории оболочек / В.З. Власов. – М.: Наука, 1963. – 507с.
101. Васидзу, К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности / К. Васидзу. – М.: Мир, 1987. – 542 с.
102. Прудников, А.П. Интегралы и ряды / А.П. Прудников, Ю.А. Брычков, О.И. Маричев. – М.: Физматлит, 2003. – 687 с.
103. Камке, Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям: / Э. Камке. – М.: Наука, 1971. – 576 с.
104. Эдвардс, Р. Ряды Фурье в современном изложении. Т.1 / Р. Эдвардс. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
105. Писаренко, Г.С. Сопротивление материалов. 5-е изд. / Г.С. Писаренко, В.А. Агаев, А.Л. Квитка, В.Г. Попов, Э.С. Уманский.– К.: Вища шк, 1986.– 775 с.
106. Кан, С.Н. Избранные главы по строительной механике оболочек / под ред. С.Н. Кана – Харьков, 1964. – 227 с.
107. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 608 с.
108. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 384 с.
109. Патент на полезную модель № 140398 Российская Федерация, МПК U1 G01N 33/36 Способ определения драпируемости материалов для одежды / Бекмурзаев Л.А., Назаренко Е.В., Бырдина М.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС». №2013125396/15 заявл. 31.05.2013; опубл. 10.05.2014 Бюл. №13.
110. Патент на изобретение № 254503 Российская Федерация, МПК G01N 33/36 Способ определения драпируемости материалов для одежды / Бекмурзаев Л.А., Назаренко Е.В., Бырдина М.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «ДГТУ». №2013156737/15(088422) заявл. 19.12.2013.

111. Патент на изобретение № 2528876 Российская Федерация, МПК G1 33/36 Способ определения драпируемости материалов для одежды / Бекмурзаев Л.А., Назаренко Е.В., Бырдина М.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС». №2528876 заявл. 12.03.2013; опубл. 20.09.2014 Бюл. №26.
112. Кендалл, М. Статистические выводы и связи / М. Кендалл, А. Стьюарт. – М.: Наука, 1973. – 467с.
113. Круг, К.Г. Планирование эксперимента / К.Г. Круг. – М.: Наука, 1966. – 424 с.
114. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий: монография / Ю.П.Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 139 с.
115. Седов, Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1981. – 448 с.
116. Кирпичев, М.В. Теория подобия / М.В. Кирпичев. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – 96 с.
117. Хикс, Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Ч. Хикс. М.: Мир, 1967. – 432 с.
118. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1999. – 479с.
119. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1970. – 720 с.
120. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. для вузов / Н.Ш. Кремер. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 543 с.
121. Ларькина, Л.В. Конструирование одежды / Л.В. Ларькина, Л.П. Шершнева. – Изд-во: Форум-Инфра-М, 2006. – 228с.
122. Беклемишев, Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры / Д.В. Беклемишев. – М: Физматлит, 2005. – 304 с.

123. Галынкер, И.И. Справочник по подготовке к раскрою материалов при производстве одежды / И.И. Галынкер. – М.: Легпромбытиздат, 1981–272с.
124. Назаренко, Е.В., Бырдина, М.В. Общие принципы формообразования и направление совершенствования проектирования форм и конструкций одежды // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте: сб. материалов международной научно-практической конференции. – Одесса. – 2013. – С. 89-91.
125. Патент на изобретение № 2518802 Российская Федерация, МПК C1 D04D 9/00 Конструкция перьевой тесьмы/ Бекмурзаев Л.А., Назаренко Е.В., Бырдина М.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС». № 2012145478/12 заявл. 25.10.2012; опубл. 10.06.2014 Бюл. №16.
126. Назаренко, Е.В., Бырдина, М.В., Синявская, Я.Н., Чернохлебова, А.А. Технологические решения изготовления перьевой тесьмы // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2014: сб. материалов международной научно-практической конференции – Одесса. – 2014. – С.85-88.
127. Назаренко, Е.В., Бырдина, М.В. Разработка нетрадиционных способов проектирования изделий из кожевенных материалов // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2012: сб. материалов международной научно-практической конференции. – Одесса. - 2012. – С. 64-66.

Пример расчета пространственной формы юбки с учетом швов

Для участков без швов входные параметры имеют вид:

$$K_1 = 0,0828 \frac{H}{M^2}; B_1 = 400 \text{ мкН} \cdot \text{м}^2; R = 0,23 \text{ м}, R_t = 0,13 \text{ м}, L = 0,425 \text{ м}, h = 0,001 \text{ м}.$$

Для участков со швами входные параметры модели равны

$$K_2 = 0,1656 \frac{H}{M^2}; B_2 = 760 \text{ мкН} \cdot \text{м}^2; h = 0,002 \text{ м}.$$

Расчет в среде Maple 9.5

```
> restart;
> omega:=5;Rn:=23;Rt:=13;H:=20;L:=sqrt((Rn-Rt)^2+H^2);alpha:=0.18;
    omega:=5 Rn:=16 Rt:=11 H:=20 L:=5*sqrt(17) alpha:=0.18
> r:=(z,t)->(0.83*Rn-z*(0.83*Rn-Rt)/H+(Rn-z*(Rn-Rt)/H-Rt)/2.1*sin(omega*t));
    r:=(z,t) -> 0.83 Rn - \frac{z(0.83 Rn - Rt)}{H} + \frac{\left(Rn - \frac{z(Rn - Rt)}{H} - Rt\right) \sin(\omega t)}{2.1}
> with(plots):
p1:=plot3d([r(z,t)*cos(t),r(z,t)*sin(t),z],z=L-sqrt(L^2-(r(0,H,t)-Rt)^2)..20,t=0..2*Pi,numpoints=3000,color=green,thickness=1):
p2:=spacecurve([r(0,t)*cos(t),r(0,t)*sin(t),L-sqrt(L^2-(r(0,H,t)-Rt)^2)],t=0..2*Pi,numpoints=300,thickness=2,color=red):
p3:=spacecurve([Rt*cos(t),Rt*sin(t),20,t=0..2*Pi,numpoints=300],thickness=2:
p4:=spacecurve([r(t*10/Pi,t)*cos(t),r(t*10/Pi,t)*sin(t),10*t/Pi,t=0.1..2*Pi,num
points=300],thickness=1,color=black):
p5:=spacecurve([r(t*10/Pi,t+alpha)*cos(t+alpha),r(t*10/Pi,t+alpha)*sin(t+alpha)
,10*t/Pi,t=0.15..2*Pi,numpoints=300],thickness=1,color=black):
p6:=spacecurve([r(t*10/Pi,t+2*Pi/3)*cos(t+2*Pi/3),r(t*10/Pi,t+2*Pi/3)*sin(t+2*P
i/3),10*t/Pi,t=0..2*Pi,numpoints=300],thickness=1,color=black):
p7:=spacecurve([r(t*10/Pi,t+alpha+2*Pi/3)*cos(t+alpha+2*Pi/3),r(t*10/Pi,t+alpha
+2*Pi/3)*sin(t+alpha+2*Pi/3),10*t/Pi,t=0..2*Pi,numpoints=300],thickness=1):
p8:=spacecurve([r(t*10/Pi,t+4*Pi/3)*cos(t+4*Pi/3),r(t*10/Pi,t+4*Pi/3)*sin(t+4*P
i/3),10*t/Pi,t=0.1..2*Pi,numpoints=300],thickness=1,color=black):
p9:=spacecurve([r(t*10/Pi,t+alpha+4*Pi/3)*cos(t+alpha+4*Pi/3),r(t*10/Pi,t+alpha
+4*Pi/3)*sin(t+alpha+4*Pi/3),10*t/Pi,t=0.1..2*Pi,numpoints=300],thickness=1):
display({p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8,p9});
```

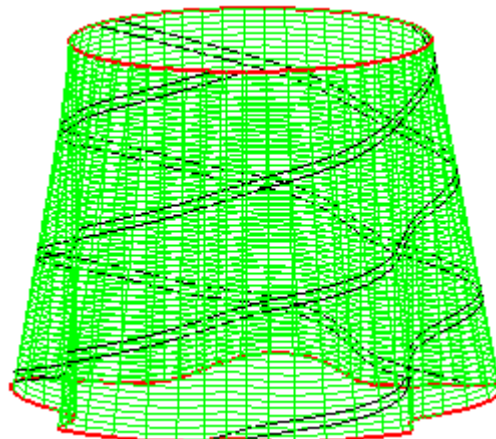


Рисунок П1.1 – Пространственная форма юбки с учетом соединительных швов

Расчет рассогласования между теоретической и
экспериментальной кривыми низа юбки в среде Maple 9,5

```
> restart;
> with(stats):
```

Статистические данные расстояний вершин и впадин от центральной точки

```
> R[max1]:=[0.201,0.208,0.21,0.205,0.205,0.205,0.215,0.215];
      R_max1:= [0.201, 0.208, 0.21, 0.205, 0.205, 0.205, 0.215, 0.215]
> R[min1]:=[0.16,0.154,0.165,0.155,0.158,0.160,0.165,0.162];
      R_min1:= [0.16, 0.154, 0.165, 0.155, 0.158, 0.160, 0.165, 0.162]
> R[max2]:=[0.208,0.217,0.201,0.205,0.215,0.212];
      R_max2:= [0.208, 0.217, 0.201, 0.205, 0.215, 0.212]
> R[min2]:=[0.164,0.157,0.159,0.162,0.172,0.16];
      R_min2:= [0.164, 0.157, 0.159, 0.162, 0.172, 0.16]
> R[max3]:=[0.211,0.217,0.203,0.219,0.217,0.219];
      R_max3:= [0.211, 0.217, 0.203, 0.219, 0.217, 0.219]
> R[min3]:=[0.152,0.164,0.158,0.158,0.152,0.165];
      R_min3:= [0.152, 0.164, 0.158, 0.158, 0.152, 0.165]
> R[max4]:=[0.235,0.23,0.24,0.227];
      R_max4:= [0.235, 0.23, 0.24, 0.227]
> R[min4]:=[0.16,0.17,0.17,0.165];
      R_min4:= [0.16, 0.17, 0.17, 0.165]
```

Расчет максимальных отклонений теоретической и экспериментальной кривых
19.711

```
> Rteor1:=0.1971;
      Rteor1:= 0.1971
> (0.215-0.1971)/0.1971;
      0.09081684424
> Rteor2:=0.201;
      Rteor2:= 0.201
> (0.217-0.201)/0.201;
      0.07960199005
> Rteor3:=0.201;
      Rteor3:= 0.201
> (0.219-0.201)/0.201;
      0.08955223881
> Rteor4:=0.2085;
      Rteor4:= 0.2085
> (0.227-0.2085)/0.2085;
      0.08872901679
```

Искажение геометрических размеров образца

```
> restart;
```

```
> iskag[proctnt]:=evalf((183-267)*100/267);
```

```
iskagproctnt := -31.46067416
```

Искажение на 1 мм в процентах $iskag[1]=iskag[proctnt]/h_0$ $h_0 = 91\text{мм}$

```
> h0:=91:
```

```
> iskag[1]:=evalf(iskag[proctnt]/h0);
```

```
iskag1 := -0.3457216941
```

Искажение прямопропорционально высоте h и изменяется по следующей зависимости

$iskag = iskag[proctnt]/h_0 * h$

```
> iskag:=iskag[proctnt]/h0*h;
```

```
iskag := -0.3457216941 h
```

```
> plot([iskag,-5,-10,-15],h=0..40,color=black,thickness=[3,1,1,1,1,1])
```



Рисунок П2.1 – Изменение геометрических размеров образца

Искажение размеров образца по площади

```
> restart;
```

```
> iskag[procent]:=evalf((126-181)*100/181);
```

```
-30.38674033
```

Искажение по площади на 1 мм в процентах $iskag[1]=iskag[proctnt]/h_0$ $h_0 = 91\text{мм}$

```
> h0:=91:
```

```
> iskag[1]:=evalf(iskag[procent]/h0);
```

```
-0.3339202234
```

Искажение прямопропорционально высоте h и изменяется по следующей зависимости

$iskag = iskag[proctnt]/h_0 * h$

```
> iskag:=iskag[procent]/h0*h;
```

```
-0.3339202234 h
```

```
> plot([iskag,-5,-10,-15],h=0..40,color=black,thickness=[3,1,1,1,1,1]);
```



Рисунок П2.2 – Изменение размеров образца по площади

Приложение 3

Таблица ПЗ.1 – Матрица рангов

Фактор Эксперт	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	K _k	Шаг
1	2	4	5	6	7	1	9	3	11	14	10	8	12	19	13	18	16	17	20	15	0,967	14
2	1	5	4	6	8	3	7	2	12	11	9	10	13	14	16	17	15	18	19	20		
3	4	2	5	9	8	3	6	1	14	13	10	7	12	11	18	16	17	15	20	19	0,954	11
4	3	4	5	7	6	1	10	2	16	14	9	8	19	11	12	15	13	17	18	20	0,933	7
5	2	3	6	5	8	1	10	4	11	12	9	7	13	14	15	17	16	18	20	19	0,983	20
6	1	4	5	17	8	2	9	3	13	11	10	7	12	18	6	14	15	20	19	16	0,899	2
7	1	3	4	6	7	5	10	2	9	12	15	8	11	18	13	16	20	14	17	19	0,950	10
8	2	3	5	6	8	1	9	4	15	16	10	7	12	13	19	14	11	18	17	20	0,944	9
9	1	5	3	6	8	4	7	2	11	13	9	10	12	15	14	16	20	18	17	19	0,973	16
10	2	4	5	6	7	1	8	3	12	11	10	9	13	14	16	18	20	17	19	15	0,970	15
11	1	4	5	6	8	3	7	2	11	12	9	10	14	13	15	18	16	17	20	19		
12	4	3	16	12	6	1	8	2	15	11	14	9	13	10	19	18	5	17	7	20	0,888	1
13	4	2	5	10	8	3	6	1	15	12	9	7	17	14	11	13	16	18	20	19	0,939	8
14	3	4	6	7	5	1	11	2	10	13	9	8	12	15	20	16	17	18	19	14	0,963	13
15	1	3	6	5	8	2	12	4	10	13	9	7	11	14	16	18	15	17	20	19	0,978	18
16	1	3	15	5	8	2	9	4	12	11	10	7	13	6	14	20	16	18	19	17	0,906	3
17	1	3	5	7	6	4	10	2	11	9	12	8	13	14	15	17	16	18	20	19		
18	3	5	4	6	7	1	8	2	10	12	18	9	13	15	14	16	19	17	11	20	0,928	6
19	3	2	4	6	8	1	12	5	11	9	15	14	13	7	10	16	19	17	20	18	0,915	4
20	1	5	3	6	7	4	8	2	11	13	10	9	12	15	14	17	16	18	19	20		
21	2	4	6	5	7	1	8	3	12	11	10	9	13	15	14	20	17	18	16	19	0,975	17
22	1	4	5	6	8	2	11	3	7	12	9	10	13	14	15	17	16	18	19	20	0,980	19
23	1	3	12	5	7	2	10	4	14	11	9	8	6	13	20	18	15	17	16	19	0,921	5
24	1	3	5	7	6	4	10	2	11	12	9	8	13	14	15	17	16	18	19	20		
25	2	4	5	6	7	1	8	3	12	11	10	9	15	14	20	17	18	16	13	19	0,958	12
Суммы рангов	48	89	149	173	181	54	223	67	296	299	263	213	320	340	374	419	400	434	444	464		
Квадр. отклон.	46010	30102	12882	8010	6642	43472	1560	38220	1122	1332	0,25	2450	3306	6006	12432	24492	18906	29412	32942	40602		



Длина свешивающейся части образца $l_{св}=20$ мм



$l_{св}=30$ мм



$l_{св}=40$ мм



$l_{св}=50$ мм



$l_{св}=60$ мм



$l_{св}=70$ мм



$l_{св}=80$ мм



$l_{св}=90$ мм



Рисунок П 4.1 – Изменения формы поперечного края в зависимости
от длины свешивающейся части составной детали

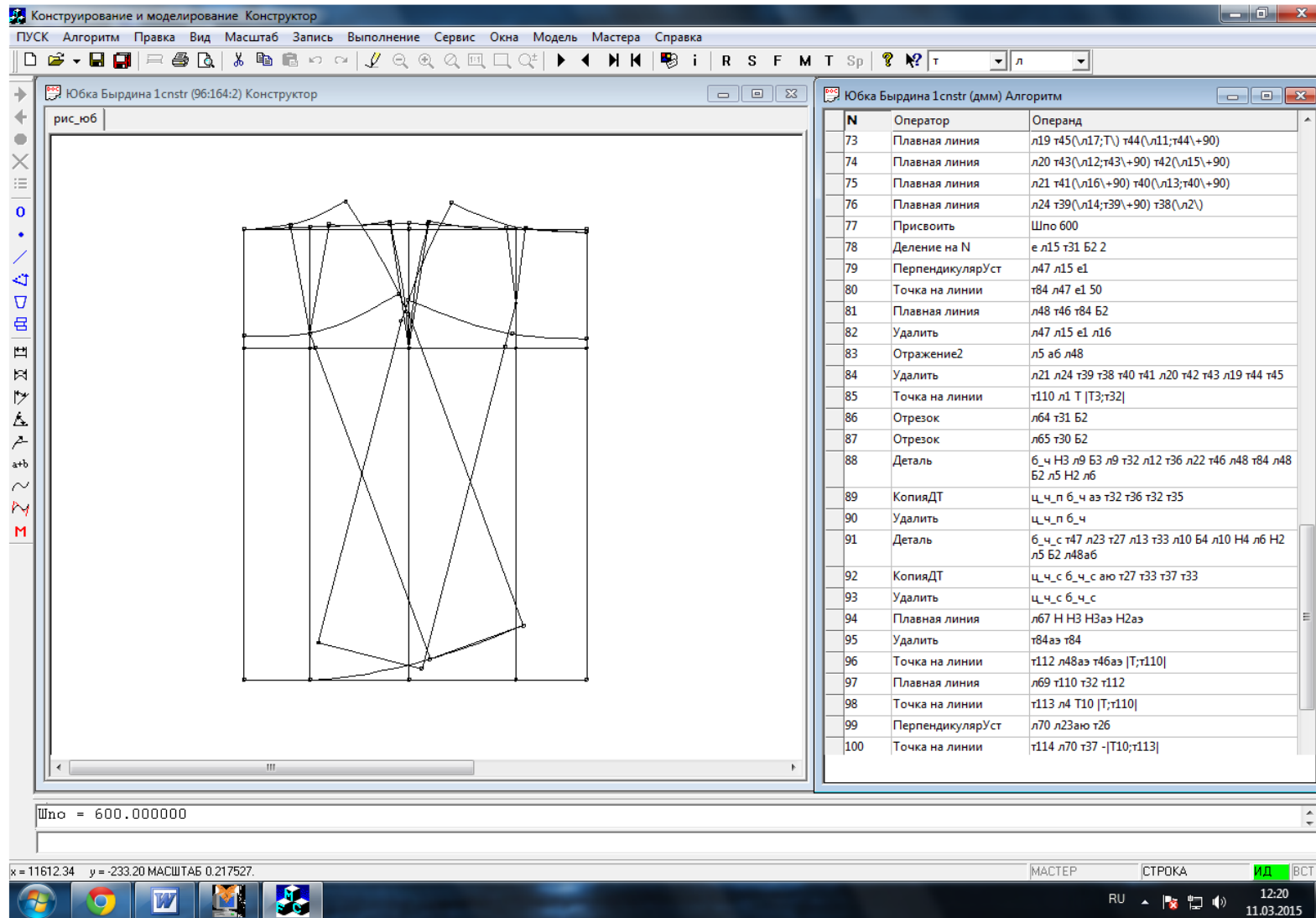


Рисунок П 5.1 – Построение кокетки юбки на женскую фигуру типового телосложения 164-96-104

```

restart:
htb:=19.7;Rb:=evalf(104/(2*Pi));Rt:=evalf(76/(2*Pi));H:=60;
      htb:=19.7 Rb:=16.55211408 Rt:=12.09577567 H:=60
Rn:=Rt+H*(Rb-Rt)/htb;
      Rn:=25.66837996

p:=1;
      p:=1
R:=Rn*sqrt(1+(htb/(Rb-Rt))^2);r:=Rt*sqrt(1+(htb/(Rb-Rt))^2);
      R:=116.3384322 r:=54.82245394
r2:=17;
      r2:=17
r1:=r+r2;
      r1:=71.82245394
L:=evalf(R-r);
      L:=61.51597826
alpha1:=evalf(71/r*180/Pi);
      α1=74.20317869
d:=r2*.2076399640e-1;
      d:=0.3529879388
SPIRAL:=a*phi+r;
      SPIRAL:=aφ+54.82245394
a:=evalf(L/alpha);
      a:=47.49939272

with(plots):
F:=plot([p*a*phi+r],phi=0..alpha/p,coords=polar):
G:=plot([p*a*(phi(alpha)/3)+r],phi=(alpha)/3..alpha/3+alpha/p,coords=polar):;
Q:=plot([p*a*(phi2*(alpha)/3)+r],phi=2*(alpha)/3..alpha/p+2*(alpha)/3,coords=polar):;
P:=plot([p*a*(phi-alpha)+r],phi=alpha..(1+1/p)*alpha,coords=polar):;
C1:=plot([r],phi=0..alpha,coords=polar):;
C2:=plot([R],phi=alpha/p..(1+1/p)*alpha,coords=polar):;
C3:=plot([r1],phi=d..alpha+d,coords=polar):;
display({F,C3,G,Q,P,C1,C2});

```

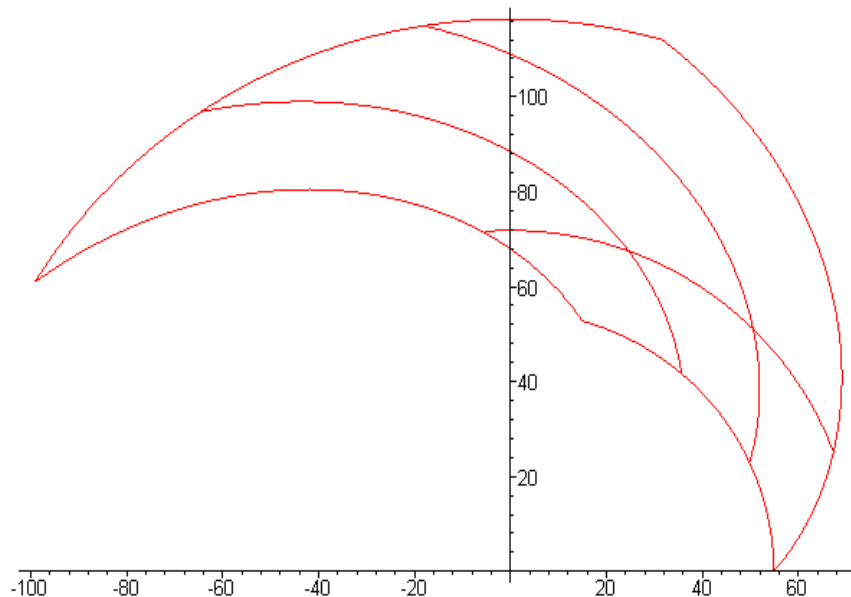


Рисунок П6.1 – Построение юбки на женскую фигуру типового телосложения 164-96-104 с линией отрезной кокетки



Рисунок П7.1 – Образец шляпы, изготовленной с применением предложенного метода проектирования швейных изделий

Продолжение приложения 7



Рисунок П7.2 – Образцы юбок, изготовленных с применением предложенного метода проектирования швейных изделий

ПАТЕНТЫ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ

ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ

ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

**АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2528876

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДРАПИРУЕМОСТИ
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса" (ФГБОУ ВПО "ЮРГУЭС") (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013110975

Приоритет изобретения **12 марта 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **25 июля 2014 г.**

Срок действия патента истекает **12 марта 2033 г.**

Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2542503

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДРАПИРУЕМОСТИ
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ**

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Донской государственный технический университет" (ДГТУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013156737

Приоритет изобретения **19 декабря 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **21 января 2015 г.**

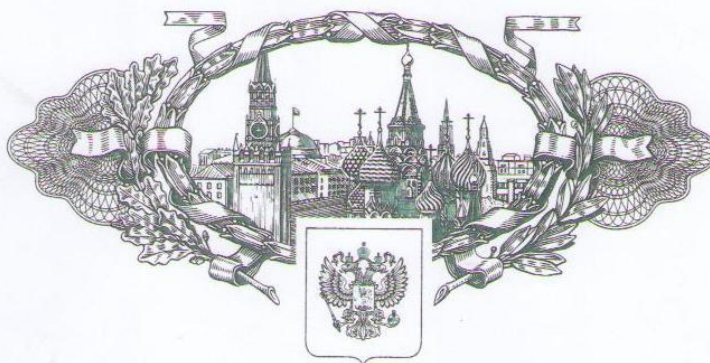
Срок действия патента истекает **19 декабря 2033 г.**

Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2518802

КОНСТРУКЦИЯ ПЕРЬЕВОЙ ТЕСЬМЫ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса" (ФГБОУ ВПО "ЮРГУЭС") (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012145478

Приоритет изобретения 25 октября 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 09 апреля 2014 г.

Срок действия патента истекает 25 октября 2032 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 140398

**ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДРАПИРУЕМОСТИ
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса" (ФГБОУ ВПО "ЮРГУЭС") (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013125396

Приоритет полезной модели 31 мая 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 08 апреля 2014 г.

Срок действия патента истекает 31 мая 2023 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014619892

**Программа визуализации формообразования поверхности
швейных изделий конических форм**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего профессионального
образования «Донской государственный технический
университет» (ДГТУ) (RU)*

Авторы: *Бекмурзаев Лёма Абдулхажиевич (RU), Бырдина Марина
Владимировна (RU), Назаренко Елена Владимировна (RU)*

Заявка № **2014617514**

Дата поступления **29 июля 2014 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **24 сентября 2014 г.**



Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «СИЛУЭТ»

ИНН 6155024710 КПП 615501001

Директору ИСОиП (филиал) ДГТУ
 профессору Страданченко С.Г.
 директора ООО «Силуэт» Ковалевой Л.В.

Акт внедрения

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы Бырдиной Марины Владимировны на тему «Исследование и моделирование пространственной формы швейных изделий», выполненной на кафедре «Технология швейных изделий и материаловедение» ИСОиП (филиал) ДГТУ, внедрены на предприятии ООО «Силуэт» в виде экспериментальных образцов изделий.

В результате внедрения достигнуты следующие результаты:

1. Новый подход к проектированию развертки поверхности конических изделий, позволяет разрабатывать эксклюзивные дизайнерские модели швейных изделий.
2. Предложенный подход к проектированию одежды позволяет изготавливать изделия, состоящие из различного количества спиралевидных полос с разным числом оборотов и вариантами оформления границ полос, что позволяет расширить модельный ряд швейных изделий.
3. Предложенный подход к проектированию изделий позволяет сократить материальные и трудовые затраты при проектировании и изготовлении эксклюзивных моделей одежды.
4. Внедрение разработанного программного продукта позволяет реализовывать выбор модели изделия и определять его форму, что дает возможность при необходимости производить оперативные изменения 3d модели в онлайн-режиме.

Ожидаемая эффективность

База для сравнения: существующие методы проектирования швейных изделий.

Организационно - технические преимущества предлагаемого подхода: автоматизация раскроя швейных изделий, компьютерная 3d визуализация изделий, ресурсосбережение материалов.

Ожидаемый годовой эффект от внедрения: 199 тыс. руб. от внедрения предлагаемого подхода к проектированию одежды.

Директор ООО «Силуэт»



Ковалева Л.В.

ИП «Изотиков И.С.»

ИНН 615511950678 ОГРНИП 307615526200060

Директору ИСОиП (филиал) ДГТУ
 профессору Страданченко С.Г.
 директора ИП «Изотиков И.С.»
 Изотикова И.С.

Акт внедрения

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы Бырдиной Марины Владимировны на тему «Исследование и моделирование пространственной формы швейных изделий», выполненной на кафедре «Технология швейных изделий и материаловедение» ИСОиП (филиал) ДГТУ, внедрены на предприятии ИП «Изотиков И.С.» в виде экспериментальных образцов изделий.

В результате внедрения достигнуты следующие результаты:

1. Новый подход к проектированию развертки поверхности конических изделий, позволяет разрабатывать эксклюзивные дизайнерские модели швейных изделий.
2. Предложенный подход к проектированию одежды позволяет изготавливать изделия, состоящие из различного количества спиралевидных полос с разным числом оборотов и вариантами оформления границ полос, что позволяет расширить модельный ряд швейных изделий.
3. Предложенный подход к проектированию изделий позволяет сократить материальные и трудовые затраты при проектировании и изготовлении эксклюзивных моделей одежды.
4. Внедрение разработанного программного продукта позволяет реализовывать выбор модели изделия и определять его форму, что дает возможность при необходимости производить оперативные изменения 3d модели в онлайн-режиме.

Ожидаемая эффективность

База для сравнения: существующие методы проектирования швейных изделий.

Организационно - технические преимущества предлагаемого подхода: автоматизация раскроя швейных изделий, компьютерная 3d визуализация изделий, ресурсосбережение материалов.

Ожидаемый годовой эффект от внедрения: 127 тысяч руб. от внедрения предлагаемого подхода к проектированию одежды.

Директор ИП «Изотиков И.С.»



Изотиков И.С.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Институт сферы обслуживания и
предпринимательства (филиал)
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
профессионального образования
«Донской государственный
технический университет» в г. Шахты
(ИСОи П (филиал) ДГТУ)

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по учебно-методической работе

Ершова С.И.



« 4 » сентября 2014 г.

М.П.

АКТ

внедрения результатов кандидатской
диссертационной работы в учебный процесс
Бырдиной Марины Владимировны

Комиссия в составе: председатель д.т.н., профессор каф. «ТИЛП» Бекмурзаев Л.А.

члены комиссии к.т.н., доцент каф. «ТИЛП» Румянская Н.С.,

к.т.н., доцент каф. «ТИЛП» Назаренко Е.В.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Исследование и моделирование пространственной формы однослойных швейных изделий», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, используются в учебном процессе при выполнении практических и лабораторных работ по дисциплинам «Основы научных исследований в легкой промышленности», «Ресурсосберегающие технологии», «Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности», «Технология одежды из кожи» в виде:

1. Технических предложений по выполнению раскладок лекал деталей швейных изделий
2. Приборов для определения драпируемости материалов для одежды
3. Эскизных проектов моделей одежды платьевого ассортимента
4. Рекомендаций по изготовлению однослойных швейных изделий

По результатам совместных разработок получено 2 патента на изобретение, 1 патент на полезную модель, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Использование указанных результатов позволяет повысить качество успеваемости студентов напр. 262000 «Технология изделий легкой промышленности» и эффективность проведения учебных занятий.

Результаты внедрялись при выполнении НИР по темам:

- Г-10.11. Т. Разработка прогрессивных методов проектирования швейных изделий из различных материалов;
- Г-13.11. Т. Разработка ресурсосберегающей технологии производства швейных изделий из различных материалов;
- Г-12.11. Т. Оценка качества материалов для изделий легкой промышленности и сервиса при воздействии на них технологических и эксплуатационных факторов.

Председатель комиссии

/Бекмурзаев Л.А./

Члены комиссии

/Румянская Н.С./

/Назаренко Е.В./

**Расчет экономического эффекта от внедрения результатов
диссертационной работы в деятельность ООО «Силуэт»**

ООО «Силуэт» оказывает услуги по изготовлению и ремонту одежды физическим и юридическим лицам. На предприятии организовано серийное и единичное производство изделий. Основной формой организации труда рабочих является бригадная форма с повременной оплатой труда, которая осуществляется на основе действующих на предприятии должностных окладов.

На ООО «Силуэт» предлагается внедрить выпуск изделий со спиралевидными линиями членений. Для оценки экономического эффекта проектируемой деятельности ООО «Силуэт» определены следующие показатели: экономия заработной платы, накладных расходов, амортизационных отчислений, сырья и материалов. Экономический эффект достигается за счет уменьшения трудоемкости изделия и экономии материалов. Сокращение трудоемкости достигается за счет внедрения прогрессивного оборудования (использования скоростной стачивающе-обметочной машины Siruba 747 K-514M-23/BK с функцией выполнения закрепки ($V=7000$ об/мин) вместо машины «KANSAI» VK 1004S-20F-1 ($V=6000$ об/мин), а экономия материалов за счет выполнения рациональной раскладки лекал деталей изделия. Оснащение швейного оборудования приспособлениями малой механизации позволяет повысить производительность труда и улучшить качество швейных изделий.

Общий экономический эффект определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = \mathcal{E}_{\text{зн}} + \mathcal{E}_{\text{нр}} + \mathcal{E}_{\text{ам}} + \mathcal{E}_{\text{м}}, \quad (9.1)$$

где: $\mathcal{E}_{\text{зн}}$ – экономия по заработной плате, руб.;

$\mathcal{E}_{\text{нр}}$ – экономия накладных расходов, руб.;

$\mathcal{E}_{\text{ам}}$ – экономия амортизационных отчислений, руб.;

$\mathcal{E}_{\text{м}}$ – экономия материалов, руб.

Экономия заработной платы определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{зн}} = (P_{\text{б}} - P_{\text{нр}}) \cdot \left(1 + \frac{\text{ОВФ}}{100}\right) \cdot N_{\text{год}}, \quad (9.2)$$

здесь: $P_{\text{б}}$ – расценка на одно изделие по базовому варианту, руб.;

P_{np} – проектируемая расценка на одно изделие, руб.;

$ОВФ$ – норматив отчислений во внебюджетные фонды, %;

$N_{год}$ – объем годового выпуска изделий, шт.

Расценки на одно изделие по базовому варианту и проектному равны

$$P_{\delta} = r_{cm} \cdot N_{\delta}, \quad P_{np} = r_{cm} \cdot N_{np}, \quad (9.3)$$

где: r_{cm} – часовая тарифная ставка на предприятии, руб./час;

N_{δ} – норма времени на изготовление изделия по базовому варианту, час;

N_{np} – норма времени на изготовление одного изделия по проекту, час.

Объем годового выпуска изделий рассчитывается в виде:

$$N_{год} = M \cdot n \cdot D_p, \quad (9.4)$$

здесь: M – объем выпуска изделий за одну смену, шт.;

n – количество смен, шт.; D_p – число рабочих дней в году, шт.

Объем выпуска изделий за одну смену равен

$$M = \frac{8}{t_{\delta аз}}, \quad (9.5)$$

где $t_{\delta аз}$ – базовая трудоемкость изготовления одного изделия, час.

Рассчитаем экономию заработной платы.

$$M = \frac{8}{0,82} = 9,756 \text{ шт.}; \quad N_{год} = 9,756 \cdot 1 \cdot 252 = 2458 \text{ шт.}; \quad P_{\delta} = 108 \cdot 3,28 = 354,24 \text{ руб.}; \quad (9.6)$$

$$P_{np} = 108 \cdot 3,0 = 324 \text{ руб.}; \quad \mathcal{E}_{зн} = (354,24 - 324) \cdot \left(1 + \frac{30}{100}\right) \cdot 2458 = 96628,89 \text{ руб.}$$

Экономия накладных расходов определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{нр} = (HP_{\delta} - HP_{np}) \cdot N_{год}, \quad (9.7)$$

где: HP_{δ} – накладные расходы на единицу продукции, руб.;

HP_{np} – накладные расходы на одну единицу продукции по проекту, руб.

Накладные расходы по базовому и проектному вариантам равны

$$HP_{\delta} = \frac{O_{HP}}{Вын_{\delta}}, \quad HP_{np} = \frac{O_{HP}}{Вын_{np}}, \quad (9.8)$$

здесь: O_{HP} – общая сумма накладных расходов, руб.;

$Вын_{\delta}$ – выпуск продукции по базовому варианту, шт.;

$Вын_{np}$ – проектируемый выпуск продукции, шт.

Общая сумма накладных расходов равна

$$O_{HP} = P_{опл} + O_{ФСЗ} + З_м + З_э + З_{тепл}, \quad (9.9)$$

где: $P_{опл}$ – расходы на оплату труда аппарата управления и рабочих, руб.;

$O_{ФСЗ}$ – отчисления в фонд социальной защиты населения, руб.;

$З_м$ – затраты на сырье и материалы, руб.;

$З_э$ – затраты на электроэнергию, руб.;

$З_{тепл}$ – затраты на тепловую энергию, руб.

Объем проектируемого выпуска продукции равен

$$Вып_{np} = \frac{t_{баз}}{t_{np}} \cdot N_{зод}, \quad (9.10)$$

здесь t_{np} – проектируемая трудоемкость изготовления одного изделия, час.

Рассчитаем экономию накладных расходов

$$O_{HP} = 1468140 + 408168 + 543048 + 184284 + 214308 = 2817948 \text{ руб.}$$

$$Вып_{np} = \frac{0,82}{0,80} \cdot 2458 = 2519 \text{ шт. } HP_{б} = \frac{2817948}{2458} = 1146,44 \text{ руб.}$$

$$HP_{np} = \frac{2817948}{2519} = 1118,48 \text{ руб. } Э_{np} = (1146,44 - 1118,48) \cdot 2458 = 68730,44 \text{ руб.}$$

Экономия амортизационных отчислений определяется по формуле

$$Э_{ам} = (AM_{б} - AM_{np}) \cdot N_{зод}, \quad (9.11)$$

где: $AM_{б}$ – амортизационные отчисления по базовому варианту, руб.;

AM_{np} – амортизационные отчисления на одно изделие по проекту, руб.

$$AM_{б} = HP_{б} \cdot 10\%, \quad AM_{np} = HP_{np} \cdot 9,5\%.$$

Рассчитаем экономию амортизационных отчислений

$$Э_{ам} = (1146,44 \cdot 10\% - 1118,48 \cdot 9,5\%) \cdot 2458 = 20623,63 \text{ руб.}$$

Экономия материалов определяется по формуле

$$Э_м = (M_{б} - M_{np}) \cdot N_{зод} = \left(\frac{З_м}{Вып_{б}} - \frac{З_м}{Вып_{np}} \right) \cdot N_{зод}. \quad (9.12)$$

здесь: $M_{б}$ – затраты материалов на одно изделие по базовому варианту, руб.;

M_{np} – проектируемые затраты материалов на одно изделие, руб.

$$Э_м = (220,88 - 215,54) \cdot 2458 = 13129,42.$$

Находим общий экономический эффект

$$Э_{общ} = 96649,99 + 68730,44 + 20623,63 + 13129,42 = 199133,48 \text{ руб.}$$