

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ДИЗАЙНА И ТЕХНОЛОГИИ

На правах рукописи

РУДНЕВА Татьяна Вячеславовна

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ
ПО ПРИНЦИПУ СТРОЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБОЛОЧЕК**

Специальность 05.19.04 - «Технология швейных изделий»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических
наук, доцент
Базаев Е.М.

Москва — 2015

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОЛОЧЕК С НЕРЕГУЛЯРНОЙ ПРИРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ.....	10
1.1 Виды оболочек швейных изделий.....	10
1.2 Анализ особенностей геометрического строения армированных природных оболочек.....	13
1.3 Анализ влияния геометрического строения на физико-механические свойства природных армированных оболочек.....	25
1.4 Перспективы проектирования и изготовления оболочек швейных изделий с нерегулярной структурой.....	34
Выводы.....	53
2 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕРЕГУЛЯРНЫХ АРМИРОВАННЫХ ОБОЛОЧЕК.....	55
2.1 Исследование влияния геометрического строения нерегулярных оболочек на их прочностные свойства при одноосном растяжении.....	57
2.2 Исследования влияния геометрического строения нерегулярных текстильных оболочек на их прочностные свойства при статическом проколе..	62
2.3 Исследование формообразующих свойств текстильных оболочек с нерегулярной структурой.....	65
Выводы.....	73
3 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБОЛОЧЕК ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ БЫТОВОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СТРУКТУР.....	74
3.1 Разработка метода проектирования швейных изделий с требуемыми эксплуатационными свойствами.....	75
3.2 Разработка схем армирования оболочек швейных изделий в соответствии с геометрическими особенностями природных структур.....	77

3.3 Разработка алгоритма построения схем армирования оболочек.....	85
Выводы.....	87
4 РАЗРАБОТКА СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕРЕГУЛЯРНЫХ АРМИРОВАННЫХ ОБОЛОЧЕК В СООТВЕТСТВИИ СО СТРОЕНИЕМ ПРИРОДНЫХ СТРУКТУР.....	88
4.1 Разработка способа изготовления армированных оболочек с нерегулярной структурой.....	88
4.2 Разработка методики изготовления армированных оболочек с заданными геометрическими параметрами ячеек.....	93
4.3 Апробация результатов исследования и внедрение в производство.....	102
Выводы.....	111
Общие выводы по работе.....	112
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	142
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	155
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	167

ВВЕДЕНИЕ

Свойства оболочек из тканей во многом определяются их структурой. В этом направлении большой интерес представляет изучение особенностей геометрического строения нерегулярных природных оболочек, которые будут во многом превосходить по прочностным свойствам тканевые оболочки, применяющиеся в настоящее время. Исследования, проведенные специалистами разных стран показали, что природные оболочки обладают повышенными прочностью, формоустойчивостью и легкостью, а также красотой и привлекательностью геометрического строения. Проектирование оболочек швейных изделий по принципу строения природных структур является актуальной задачей швейной отрасли, так как позволяет найти оптимальное соотношение между весом и прочностью изделия за счет локального распределения массы и прочностных свойств.

В последние годы активно развивается технология армирования изделий настрачиванием лент или нитей на само изделие или ткань-подложку. Применение способа автоматизированного настрачивания при изготовлении оболочек с нерегулярной природной структурой позволяет сократить затраты времени и материалов, повысить качество готового изделия.

Конструкции швейных оболочек с нерегулярной армирующей структурой могут найти применение в производстве защитной спецодежды, скафандров.

Создание оболочек швейных изделий с нерегулярной структурой является актуальной задачей швейной отрасли, так как позволяет найти оптимальное соотношение между весом и прочностью изделия.

Оболочки с нерегулярной структурой могут применяться при армировании швейных изделий технического назначения в авиапромышленности, космической промышленности, автомобилестроении и т.д. Аналоги природных нерегулярных структур можно получить путем использования ниточных и клеевых методов армирования, а также методами плетения, вязания и ткачества.

Операция армирования может быть выполнена различными способами:
настрачиванием лент и нитей зигзагообразной строчкой;
автоматизированной вышивкой;
использованием жаккардовых тканей и кружевных переплетений;
формированием на поверхности сетевых узоров из полимерных материалов;
вырезанием структурных ячеек и т.д.

Таким образом, за счет использования методов проектирования оболочек с нерегулярной структурой, появляется возможность создания эффективного производства легких и прочных конструкций швейных изделий бытового и специального назначения.

Целью работы является разработка метода проектирования и способа изготовления армированных швейных изделий с нерегулярной структурой, позволяющих усовершенствовать качество и технологию изготовления.

Для достижения поставленной цели в работе:

проанализированы особенности строения природных оболочек с нерегулярной ячеистой структурой;

проанализированы существующие методы проектирования и способов изготовления оболочек швейных изделий с нерегулярной структурой по принципу геометрического строения природных оболочек.

проведено исследование свойств текстильных материалов с нерегулярной структурой с учетом геометрических параметров структурных элементов;

разработан метод проектирования армированных оболочек швейных изделий с нерегулярной структурой по принципу строения природных оболочек;

разработан способ изготовления швейных оболочек с зональным распределением формообразующих свойств;

разработана технология изготовления и методики проектирования армированных швейных изделий бытового и технического назначения с высокими прочностными показателями.

Объектом исследования выбраны процессы проектирования и изготовления

швейных оболочек с нерегулярной структурой и заданными эксплуатационными требованиями для использования в одежде и технических изделиях. **Предметом исследования** являются детали швейных изделий с нерегулярной структурой.

Методы и средства исследования. В работе использованы методы теоретического анализа, общего системного подхода, статистической обработки результатов экспериментального моделирования, математическое моделирование геометрических сетей, прикладное программное обеспечение, современные методы и технические средства исследования свойств текстильных материалов.

Научная новизна работы состоит в:

определении влияния геометрических параметров структурных элементов на физико-механические свойства деталей швейных изделий с нерегулярной структурой;

разработке метода проектирования армированных швейных изделий по принципу строения природных оболочек;

разработке способа изготовления швейных изделий с нерегулярной структурой, содержащей ячейки различной геометрической формы;

разработке способа изготовления швейных изделий с регулируемой способностью к формообразованию за счет изменения структуры оболочки.

Практическая значимость работы представляют:

методика проектирования плоских и объемных деталей швейных изделий бытового и технического назначения с нерегулярной структурой;

методика расчета схем армирования швейных изделий в соответствии с геометрическими особенностями строения природных оболочек;

технология изготовления армированных швейных изделий бытового и технического назначения с низкой массой и высокими прочностными показателями.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформированных в диссертации, подтверждается согласованностью результатов теоретических и экспериментальных исследований, современными методами их

решения, использованием известных положений фундаментальных наук и результатами промышленной апробации разработанных методик.

Апробация и реализация. Основные положения диссертации и результаты работы обсуждались на научных конференциях, выставках и заседаниях кафедры «Художественное моделирование, конструирование и технология швейных изделий» МГУДТ, на II международной научно-практической конференции «Инновационные и наукоемкие технологии» (МГУДТ, 2010 г.); на научно-практических конференциях молодых ученых («63, 64 Молодые ученые XXI века 2011 – 2012 гг., г. Москва); на XIII международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике» (СПб, 2012); на III международной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии глубокой переработки сырья» (г. Москва, 2012); на 3-й международной конференции «Development trends in Textile Industry, Textile Design, Technology and Management» (Сербия, г. Белград, 2012); на международной научно-практической конференции «Интеграция науки и образования» (г. Уфа, 2014); на международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2014)» (г. Москва, 2014); на международной выставке «Композит-Экспо» (г. Москва, 2014), международной выставке машин, оборудования, технологий и продукции металлургической промышленности «Металлургия-литмаш» (г. Москва, 2014), международной выставке Composites Europe-2014 (г. Дюссельдорф, Германия, 2014).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в десяти печатных работах общим объемом 2,1 п.л. (из них авторских – 0,71 п.л.), в том числе три работы – в реферируемых изданиях ВАК:

1. Руднева Т.В. Исследование прочностных свойств структуры природных аналогов текстильных оболочек / Т.В. Руднева, Д.Ю. Рябовол, Е.М. Базаев // Тезисы докладов II международной научно-практической конференции

«Инновационные и наукоемкие технологии». — М.: МГУДТ, 2010 г, с. 47-49. — 0,06 п.л. (лично автором 0,02 п.л.).

2. Руднева Т.В. Моделирование структуры природных оболочек / Т.В. Руднева, С.Н. Белоброва, Е.М. Базаев // Тезисы докладов 63 научной конференции студентов «Молодые ученые - XXI в.». — М.: МГУДТ, 2011 г, с. 139. — 0,06 п.л. (лично автором 0,02 п.л.).

3. Руднева Т.В. Моделирование текстильных оболочек по принципу строения природных структур / Т.В. Руднева, Е.М. Базаев // Научный журнал «Дизайн и технологии». — М.: МГУДТ, 2012 г, 28(70), с. 36-40. — 0,28 п.л. (лично автором 0,14 п.л.) **(из перечня ВАК)**.

4. Руднева Т.В. Разработка текстильных оболочек по принципу строения природных структур / Т.В. Руднева, Е.М. Базаев // Сборник статей XIII международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике», Т.2, Ч.2. — СПб.: Издательство Политехнического университета, 2012 г, с. 126-128. — 0,18 п.л. (лично автором 0,09 п.л.).

5. Руднева Т.В. Проектирование швейных изделий по принципу строения природных оболочек / Т.В. Руднева, Е.М. Базаев // Швейная промышленность. — 2012 г, №4, с. 26-27. — 0,13 п.л. (лично автором 0,06 п.л.) **(из перечня ВАК)**.

6. Rudneva T.V. Garment decoration with elements of reinforcing structures of insect wings // T.V. Rudneva, E.M. Bazaev, D.I. Eremkin, O.S. Kushnareva // Сборник докладов III международной конференции «Development trends in Textile Industry, Textile Design, Technology and Management». — The College of Textile Design, Technology and Management. — Belgrade, Serbia, 2012, с. 36-38. — 0,19 п.л. (лично автором 0,05 п.л.).

7. Руднева Т.В. Армирование композитов по принципу строения природных оболочек / Т.В. Руднева, Е.М. Базаев // Сборник докладов международной научно-практической конференции "Интеграция науки и образования". — Уфа: РИО

"Омега Сайнс", 2014 г, с. 162-164. – 0,19 п.л. (лично автором 0,09 п.л.).

8. Руднева Т.В. Проектирование армированных оболочек по принципу строения крыла стрекозы / Т.В. Руднева, Е.М. Базаев // Швейная промышленность. — 2014 г, №4, с. 31-32. – 0,13 п.л. (лично автором 0,06 п.л.) **(из перечня ВАК)**.

9. Руднева Т.В. Вопросы проектирования швейных изделий с зональным распределением свойств / Т.В. Руднева, Е.М. Базаев, Г.П. Зарецкая // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2014): сборник материалов Международной научно-технической конференции. Часть 1. — М.: ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2014 г, с. 173-176. — 0,25 п.л. (лично автором 0,08).

10. Руднева Т.В. Патент РФ 2540755 С1, МПК D 03 D 13/00. Плетеная преформа для изготовления композиционных изделий сложной формы / И.С. Карпейкин, Е.М. Базаев, А.В. Васечкин, Д.И. Ерёмкин, О.С. Кушнарева, Т.В. Руднева, заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Национальный институт авиационных технологий» (ОАО НИАТ). — №2013148607/12; заявл. 19.12.2013; опубл. 10.02.2015. — 10 с.: ил. — 0,63 п. л. (лично автором 0,1 п. л.).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 169 страницах и состоит из введения, четырех глав, выводов по главам и работе в целом, библиографического списка и 4 приложений. Основные результаты работы изложены на 121 страницах, в том числе содержат 98 рисунков и 9 таблиц. Приложения представлены на 48 страницах. Библиографический список составляет 72 наименования.

1 АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОЛОЧЕК С НЕРЕГУЛЯРНОЙ ПРИРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ

1.1 Виды оболочек швейных изделий

В данной работе исследованы текстильные оболочки. Оболочкой называется тело, у которого один размер (например, толщина) существенно меньше двух других [1]. Оболочки, полученные ткачеством, разделяются на тканевые и тканые. Тканевые оболочки изготавливаются из плоских материалов путем криволинейного раскроя, формования (изменения сетевого угла и плотности распределения нитей), использования материалов с высокими показателями эластичности и драпируемости. В тканых оболочках формообразование происходит в процессе плетения и ткачества за счет изменения числа нитей (ввод, вывод, излом), плотности распределения (применение нитей, обладающих разной эластичностью и усадочностью, изменение конфигурации ячеек) [2].

Оболочки могут быть плоские и пространственные, открытые, имеющие срезы, и закрытые бесшовные [3].

Плоские тканевые оболочки представляют собой сложенный вдвое текстильный материал, имеющий кривую линию сгиба [4]. К таким оболочкам относятся, например, рукава, воротник, половинки брюк [5]. Если уложить эти детали на плоскость, то их контуры образуют плоские кривые линии: переднего среза рукава, перегиба воротника, срезов деталей брюк. Криволинейная линия сгиба получается за счет изменения угла между нитями основы и утка при переходе прямоугольных элементов ткани в параллелограммы [1]. Данное свойство ткани рассмотрено в работе П.Л. Чебышева "О кройке одежды" [6]. Он допускал, что при одевании какого-либо тела тканью, изменяются углы между нитями основы и утка, тогда как длина нитей остается неизменной.

Пространственные тканевые оболочки описываются достаточно сложными

зависимостями, которые в значительной степени затрудняют задание криволинейных координат для сети Чебышева [1]. Если при формообразовании пространственной тканевой оболочки происходит изменение углов ячеек, в то время, как длины сторон остаются без изменения, параллельными будут только противоположные стороны ячеек, а линии сети, определяющие положение нитей основы и утка будут непараллельными. При изгибе сторон или перегибе их по диагоналям ячеек структуру оболочки нельзя характеризовать ромбами или параллелограммами. Эта особенность часто не принимается во внимание при проектировании пространственных тканевых оболочек, что приводит к неточностям и погрешностям, так как не учитываются изгиб сторон и изменение расстояния между ячейками [7].

Оболочки, полученные методами ткачества, отличаются от оболочек в чебышевской сети. Строение этих оболочек представляет собой сеть из двух систем пересекающихся между собой линий в выбранной системе координат [8].

В тканых оболочках переплетающиеся нити образуют сеть геодезических параллелей [9], характеризующуюся равноудаленными сторонами ячеек, а также сети с неравномерной плотностью распределения нитей [10]. Помимо двуаксиального ортогонального переплетения оболочки могут быть образованы триаксиальным, мультиаксиальным, а также их комбинацией [11, 12].

По своей структуре оболочки могут быть регулярными и нерегулярными. Сети, образующие регулярные оболочки, можно разделить на три типа:

- сеть Чебышева - сеть с равносторонними ячейками, в которой формообразование происходит за счет изменения углов между нитями основы и утка и расстояний между противоположными сторонами ячеек;
- сеть геодезических параллелей - сеть с равноудаленными сторонами ячеек, которая характеризуется изменением длин сторон и углов между ними;
- сеть меридианов и параллелей - сеть с равными углами ячеек, при формообразовании которой изменяются длины сторон и расстояния между ними;

Если один из постоянных параметров (длина сторон, расстояние между

сторонами, угол) не сохраняется, сеть образует нерегулярную оболочку [7].

Итак, при формообразовании любого типа криволинейных оболочек изменяется геометрия ячеек: величины углов, длины и конфигурации сторон, плотность распределения нитей, что приводит к анизотропии свойств оболочки [2]. Свойства оболочек из тканей во многом определяются их структурой. Актуальной задачей для создания новых материалов является проектирование оболочек с локальным распределением свойств. В этом направлении большой интерес представляет изучение особенностей геометрического строения нерегулярных природных оболочек, характеризующихся сочетанием прочности и гибкости.

Необходимо выделить терминологию, применяемую в данной работе.

Структура (строение) - совокупность устойчивых связей и отношений объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т.е. сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних изменениях [13]. Характеризуется способом образования связей, соединения элементов друг с другом, например, переплетением, склейкой и т.д.

Сеть — совокупность связанных между собой однородных элементов [14]. В качестве элементов выступают нити (системы нитей), посредством пересечения друг с другом образующие ячейки.

Сеть, как и структура, может быть как регулярной, так и нерегулярной.

Ячейка - углубление, отверстие в оболочке или элементарная единица в целой системе подобных, каждое отдельное звено [14]. Характеризуется размером, формой (числом сторон).

Оболочка характеризуется структурой, толщиной, формой, свойствами материала и т. д.

1.2 Анализ особенностей геометрического строения армированных природных оболочек

Армированные оболочки в природе встречаются повсеместно — это паутинные сети, образованные прочными нитями паучьего шелка, листья растений и крылья насекомых, усиленные системой жилок. Несмотря на то, что природные сетчатые оболочки разнообразны по форме, строению, они обладают некоторыми общими особенностями: нерегулярностью структуры, разнообразием форм и размеров ячеек, толщиной и профилем жилок.

1.2.1 Особенности геометрического строения паутины

Паутина — старейшая известная природная сетчатая оболочка. Материалы, подобные паутине, широко применяются во многих областях промышленности, например, в рыбной промышленности, сельском хозяйстве, садоводстве, транспорте, спорте, медицине, архитектурном текстиле и т.д. [15].

Существуют различные виды паутины, отличающихся по составу, назначению и структуре. Разным обстоятельствам соответствуют разные виды паутинных сетей. Пауки плетут паутину не только для добычи пропитания, но и сооружают убежища, плетут яйцевой кокон и зимовочный мешок, используют в сложной процедуре спаривания и перемещения по воздуху [16, 17].

Форма паутины может быть самой разнообразной, как плоской, так и пространственной, куполообразной (Рисунок 1.1), в зависимости от вида, к которому принадлежит паук, среды обитания, размера отлавливаемых насекомых [18].

Наибольший интерес для дальнейших исследований представляет плоская колесовидная паутина (Рисунок 1.2), так как она покрывает наибольшую площадь при ограниченном количестве материала [19, 20, 21], а также совмещает в себе прочные нити каркаса и более гибкие и тонкие спиральные нити, предназначенные для поглощения энергии от столкновения насекомых с паутиной.

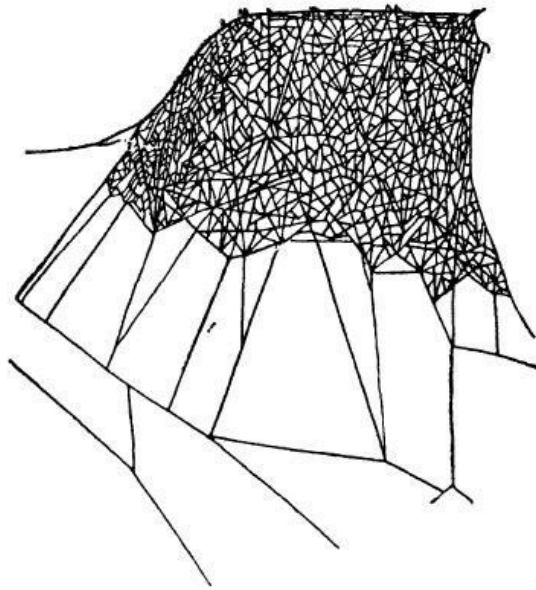


Рисунок 1.1 - Куполообразная паутина *Hypochilus thorelli*

При строительстве колесовидной паутины используются два вида нитей - сухие и клейкие. На сухие нити натягивается каркас и внутренние радиусы. Клейкие спиральные нити образованы двойными волокнами паучьего шелка, покрытыми слоем липкого секрета и используются для удержания попавшего в сети насекомого [21, 18].

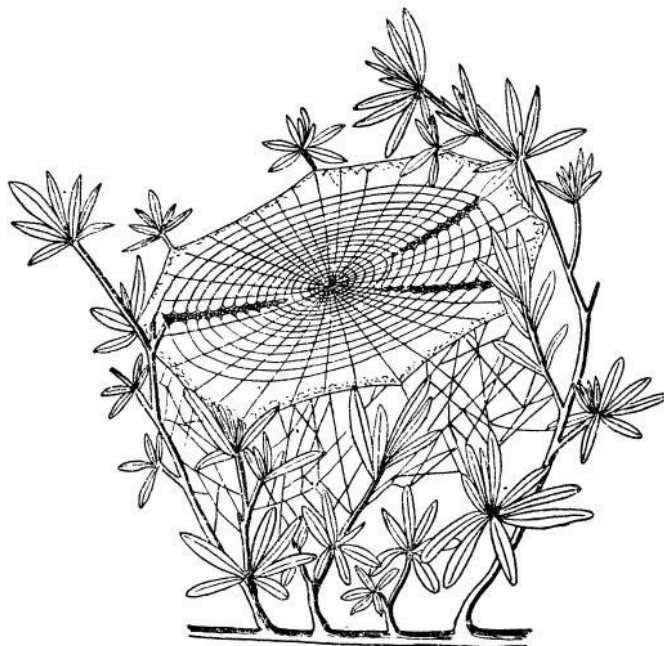


Рисунок 1.2 - Паутина *Uloborus* sp.

Сложность структуры колесовидной паутины колеблется от одиночных радиальных нитей до целых систем сетей (Рисунок 1.3) [18, 22].

Характерной особенностью структуры таких видов паутины является радиальное расположение одной из линейных систем нитей. Вторая линейная система состоит из концентрических многоугольников [15].

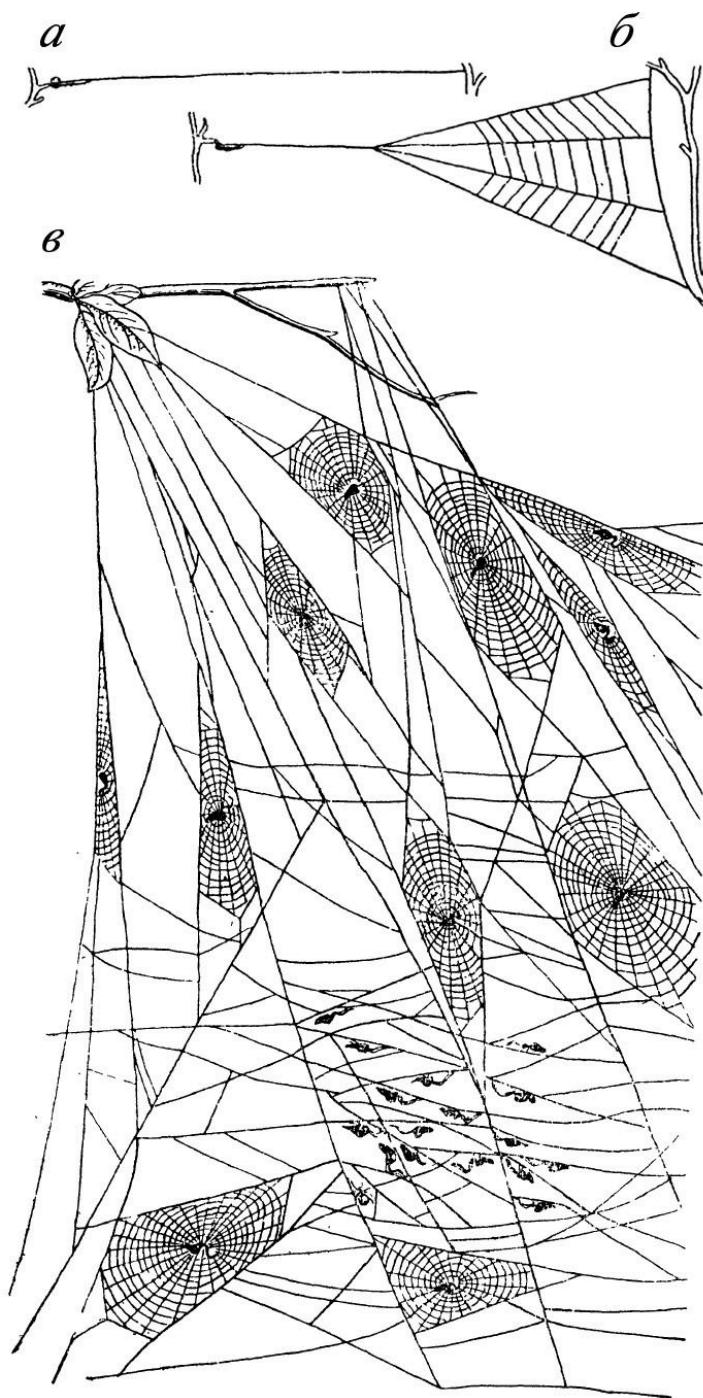


Рисунок 1.3 - Паутина *Gribellatae* (а,б) и *Uloborus republicanus* (в)

Особенности добывания пищи пауками предъявляют некоторые требования к паутине. Во-первых, паутина, как ловчая сеть, не должна распознаваться потенциальной жертвой. Этого можно достичь либо маскировкой, либо созданием невидимой паутины [21, 23].

Так как сами нити шелка не прозрачны, они должны быть настолько тонкими, насколько это возможно и с наименее возможным количеством нитей. При наличии данных ограничений большая площадь наиболее эффективно покрывается регулярной сетчатой структурой, сходной по строению с рыболовной сетью [24, 25].

Во-вторых, при столкновении насекомого с паутиной, она должна отвечать двум физическим требованиям: останавливать и удерживать насекомое [26]. Решением этой проблемы является наличие двух различных, специально приспособленных для этих целей, видов нитей [27]. Чтобы останавливать жертву и удерживать клейкие нити на месте, используются крепкие и довольно жесткие радиальные нити. Чтобы удерживать попавшееся в паутину насекомое используются гибкие клейкие нити, способные поглощать энергию пытающейся освободиться жертвы без разрыва ловчей сети [19, 26]. При плетении колесовидной паутины используются две системы нитей: одна из них идет в одном направлении, а другая — перпендикулярно к ней. Размер ячеек паутины различается у пауков разных видов, а также меняется в зависимости от размера паука, его состояния, условий внешней среды и доступного спектра добычи [28, 29, 30].

В-третьих, конструкция паутины должна иметь эффективную систему оповещения. Как только насекомое попадает в ловушку, пауку необходимо узнать о его присутствии прежде, чем насекомое сможет высвободиться. Лучше всего это достигается при помощи прямых, достаточно жестких нитей, сходящихся из разных частей паутины к пауку [26, 31]. Другими словами, лучше всего подходит конструкция с радиальными нитями. Чтобы образовать оболочку с регулярной структурой, имеющей в своем составе радиальные нити, клейкий шелк,

удерживающий жертву, лучше всего располагать концентрическими кругами на радиальных нитях [24].

Наиболее полно предъявляемым требованиям отвечает колесовидная паутина пауков-кругопрядов (семейства Araneidae, Tetragnathidae и Uloboridae) (Рисунок 1.2). Такая паутина состоит из опорной рамы, радиальных нитей, соединяющих раму с центром, и клейких спиральных нитей [16].

Некоторые типы колесовидной паутины имеют более сложную структуру, чем может показаться на первый взгляд. Чтобы поддерживать расстояние между соседними радиальными нитями примерно одинаковым, некоторые пауки (например, представители вида *Nephila*) выработали стратегию использования вспомогательных радиусов (Рисунок 1.4). Дополнительные радиусы — это нити, которые начинаются не в центре, а на некотором отдалении от него [32]. В паутине с дополнительными радиусами расстояние между нитями клейкого шелка приблизительно равно по всей площади; нет увеличения расстояния от центра к периферии, как в других типах колесовидной паутины [24].

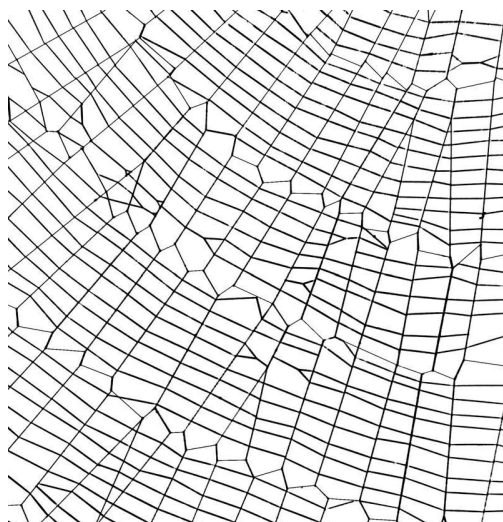


Рисунок 1.4 - Часть паутины *Nephila* ниже центра

На рисунке 1.4 вертикальные нити представляют собой радиусы, прямые горизонтальные нити являются частью клейкой спирали, а горизонтальные зигзагообразные нити - частью вспомогательной спирали [21].

Таким образом, плоская колесовидная паутина, по сравнению с остальными конструкциями сетей, покрывает наибольшую площадь при меньшем количестве материала, а регулярность сетчатой структуры обеспечивается за счет расположения радиальных нитей концентрическими кругами [21, 24, 33].

Использование геометрических особенностей паутины при проектировании позволяет сократить материалоемкость изготовления изделий за счет рационального использования материала, а также повысить прочность изделия без увеличения его массы.

1.2.2 Особенности строения крыльев насекомых

Еще одним примером армированных природных оболочек являются крылья насекомых. Крыло насекомого представляет собой вырост стенки грудного отдела и состоит из двух слоев кутикулы, прочно соединенных друг с другом [34, 35]. Крылья насекомых, в отличие от крыльев летающих позвоночных животных, лишены собственной мускулатуры и приводятся в движение сокращением мышц груди [36].

Крыло можно разбить на различные базовые структуры. Двумя общими структурными элементами являются жилки и мембрана. Оба элемента образованы кутикулой, которая состоит из хитина. Жилки обеспечивают структурную опору крыльев. Они полые и несут гемолимфу, предотвращающую хрупкость кутикулы. Мембрана является очень тонким материалом, толщиной 2-3 мкм. Вследствие этого мембрана способна выдерживать только усилия растяжения крыльев, прогибаясь под воздействием сжимающего усилия [37].

Основная функция жилок — обеспечение механической прочности крыла. Нагрузки, источником которых являются силы инерции и аэродинамическое давление, возникающие в процессе полета, могут быть весьма значительными [34].

Разветвляясь и пересекаясь друг с другом, жилки образуют рисунок жилкования, уникальный для каждого вида летающего насекомого [38]. Толщина жилок неравномерна. Наиболее толстые и жесткие жилки располагаются у

основания и переднего края крыла. По мере приближения к заднему краю и концу крыла они постепенно утончаются, вследствие чего гибкость крыла увеличивается от основания к вершине и от переднего края к заднему. Таким образом, жилкование создает каркас, обладающий одновременно жесткостью и гибкостью. Этого было бы достаточно для создания аэродинамических сил в стационарных условиях обтекания. Силы инерции, воздействующие на крылья в процессе взмахов, предъявляют дополнительные требования, которым наиболее полно отвечает конструкция крыла, имеющая пространственный рельеф, складки, желобки и т.д. [34, 37].

Поверхность крыльев насекомых имеет сложный рельеф, образуемый складками, волнистостью и гофром мембраны, наличием разнообразных бороздок, желобков, волосков, чешуек и т.п. Первую группу элементов (складки, волнистость, гофрирование) принято обозначать как макрорельеф, тогда как различные сочлененные и несочлененные придатки высотой от 1—3 до 120 мкм образуют микрорельеф [34, 39].

По своему функциональному назначению складки (Рисунок 1.5) делятся на несколько групп:

- обеспечение деформации машущей поверхности;
- подгибание задней части крыла при складывании;
- компактная упаковка заднего крыла.

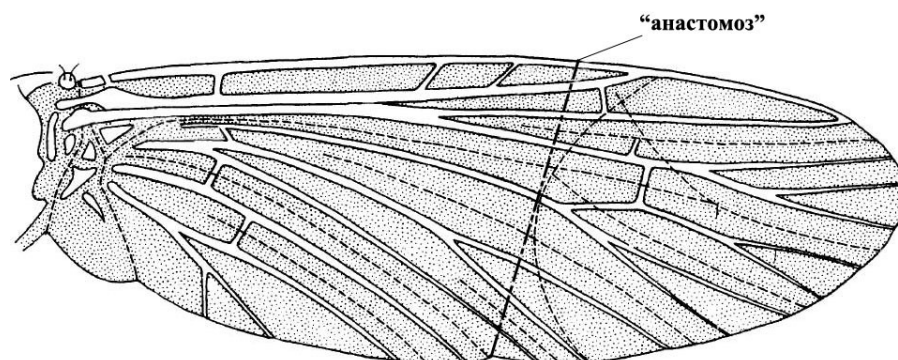


Рисунок 1.5 - Общая система жилок и складок крыла насекомого. Складки обозначены пунктирными линиями

Система складок влияет на механические свойства крыла, обеспечивая локальное распределение гибкости. Самым гибким участком переднего края крыла является участок в области вершины крыла, откуда начинается поперечная складка. Воображаемая линия, соединяющая наиболее гибкие участки переднего и заднего краев, носит название «анастомоз». Расположение этой линии относительно переднего края (угол наклона) является показателем механических свойств крыла, определяющих характер его деформации при взмахах [34].

Жилкование крыла стрекозы представляет наиболее интересный рисунок, включающий разные по форме и размеру ячейки (Рисунок 1.6).

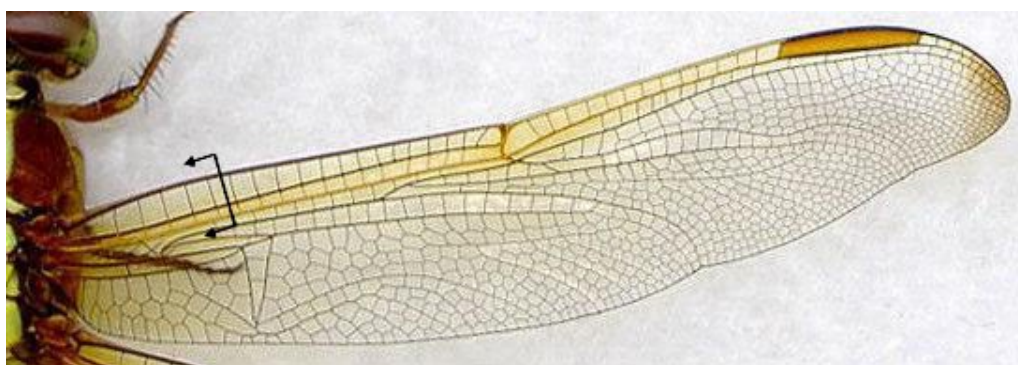


Рисунок 1.6 - Переднее крыло стрекозы

Передний край состоит в основном из четырехугольных ячеек, тогда как задний край по большей степени образован шестиугольниками и некоторыми другими многоугольниками в числом сторон больше 4-х [37].

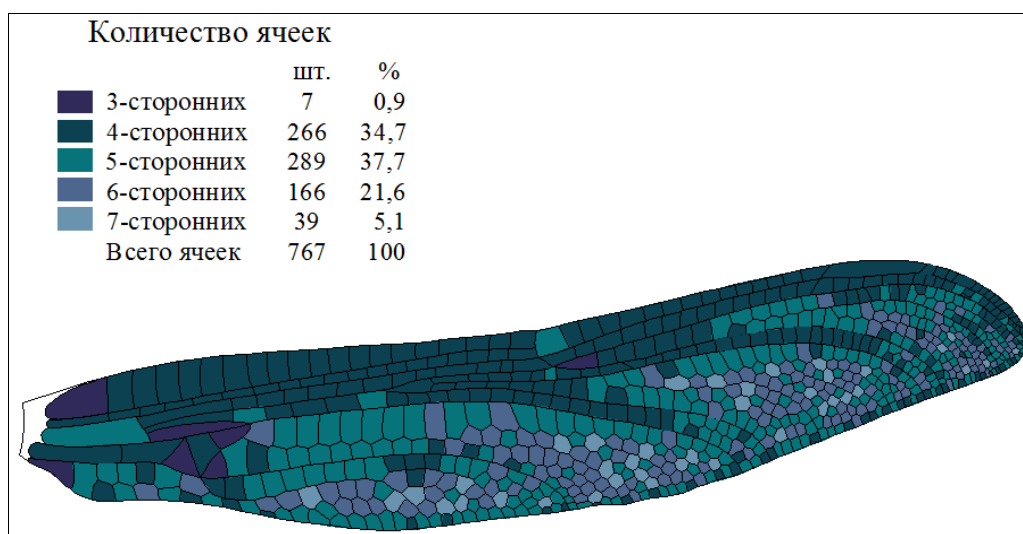


Рисунок 1.7 - Расположение ячеек с разным количеством сторон в крыле стрекозы

Анализ геометрической структуры крыла стрекозы выявил процентную составляющую структурных ячеек от трёхсторонней до семисторонней формы. Основную армирующую структуру крыла составляют четырех- (34,7%), пяти- (37%) и шестисторонние ячейки (21,6%) (Рисунок 1.7) [40].

Так же, как и крыльям других насекомых, крылу стрекозы свойственна трехмерная структура. Хотя на большинстве фотографий крылья могут показаться находящимися в одной плоскости, на самом деле они образуют полностью трехмерный рельеф. Одним из примеров этой особенности является передний край крыла. Три передние жилки образуют некое подобие угловой скобки (Рисунок 1.8), способствующей жесткости в продольном направлении крыла. Помимо трехмерной структуры, крыло имеет общий изгиб [37].

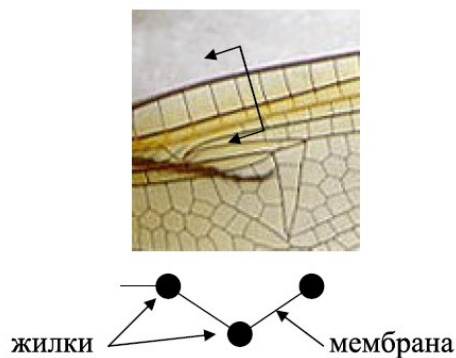


Рисунок 1.8 - Поперечное сечение переднего края крыла

Перечисленные особенности делают крылья насекомых легкими, но в то же время прочными структурами, способными выдерживать многократные нагрузки во время полета.

Использование особенностей геометрического строения крыла стрекозы позволяет проектировать оболочки с локальным распределением прочности и гибкости, повышенными эксплуатационными свойствами.

1.2.3 Особенности строения листьев растений

Одним из замечательных примеров армированных оболочек, встречающихся в природе, являются листья растений. Конструкции, встречающиеся в растительном мире, сочетают в себе одновременно и прочность, и легкость.

Лист — это один из основных органов растения, занимающий боковое положение на стебле и выполняющий три главные функции: фотосинтеза, транспирации (испарения влаги) и газообмена с окружающей средой [41, 42, 43]. Листья растений разнообразны по форме и строению, однако они обладают некоторыми общими структурными особенностями — наличием листовой пластинки (или нескольких — у сложных листьев), черешка и основания [41-44].

Основание — часть листа, посредством которой он прикрепляется к стеблю. Черешок — узкая часть листа между листовой пластинкой и основанием, способствующая поглощению энергии воздействия окружающей среды на листья растений (порывов ветра, ударов капель дождя и т. д.) [43]. Листовая пластинка — основной и наиболее важный элемент листа. Плоская форма создает наибольшую поверхность на единицу объема тканей, что способствует выполнению всех важнейших функций листа наилучшим образом [42, 45].

По величине листья могут быть от нескольких миллиметров до нескольких метров, чаще всего их длина составляет 3-10 см. Листья некоторых пальм достигают длины до 20 метров и до 12 м ширины, а черешки — 4-5 м. Среди водных растений листовые пластинки лотоса достигают 50 см в диаметре, а виктории регии (амазонской) — до 2 м и могут выдерживать 35 - 40 кг нагрузки. Как правило, чем больше листья по размеру, тем меньше их на растении [41-46].

При характеристике листовой пластинки руководствуются соотношением длины и ширины и расположением наиболее широкой части относительно середины (Рисунок 1.9) [41]. Форму листьев описывают по сходству листовых пластинок с какими-либо предметами: игольчатая, тесьмовидная, мечевидная, сердцевидная, щитовидная и другие (Рисунок 1.10) [41, 43].

В листовой пластинке развита система жилок — проводящих пучков, осуществляющих транспортировку воды и питательных веществ и обеспечивающих механическую прочность листьев. Совокупность жилок образует рисунок жилкования, тесно связанный с формой листовой пластинки [41-43].

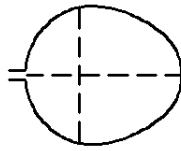
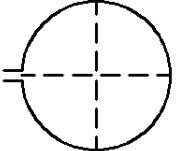
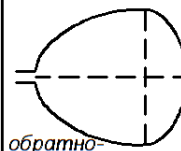
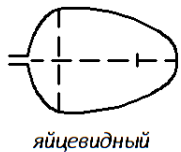
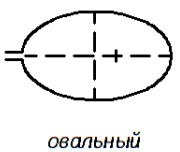
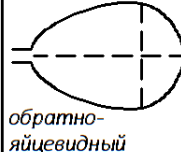
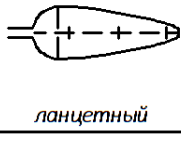
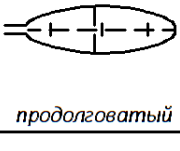
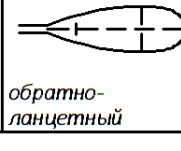
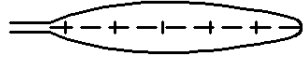
Наибольшая ширина находится				
Длина превышает ширину		ближе к основанию листа	по середине листа	ближе к верхуш- ке листа
	Длина равна ширине или превышает ее очень мало	 широкояйцевидный	 округлый	 обратно- широкояйцевидный
	в 1,5-2 раза	 яйцевидный	 овальный	 обратно- яйцевидный
	в 3-4 раза	 ланцетный	 продолговатый	 обратно- ланцетный
	более чем в 5 раз	 линейный		

Рисунок 1.9 - Типы листовых пластинок

Различают закрытое и открытое жилкование. При открытом соседние жилки не связаны между собой и слепо заканчиваются близ края листовой пластинки. Классическим примером открытого жилкования является вильчатое или дихотомическое (Рисунок 1.11ж), при котором главная жилка не выражена [41, 45]. Закрытое жилкование характеризуется образованием перемычек-анастомозов между соседними жилками, которые ветвятся до 2-4 порядков [41]. Три основных вида закрытого жилкования: параллельное, дуговидное и сетчатое. Параллельное жилкование (Рисунок 1.11е) характерно для листьев линейной формы. Жилки идут от основания листа параллельно друг другу и сходятся у его верхушки. Дуговидное жилкование (Рисунок 1.11д) отличается от параллельного тем, что в средней части листа жилки отстоят друг от друга на большее расстояние, чем у основания и верхушки. При сетчатом жилковании (Рисунок 1.11з) жилки сильно ветвятся, соединяясь между собой анастомозами и образуя сетчатый

рисунок. Примечательно, что при таком типе жилкования самые мелкие жилки 4-5 порядков имеют тенденцию слепо заканчиваться (Рисунок 1.19) [41, 45].

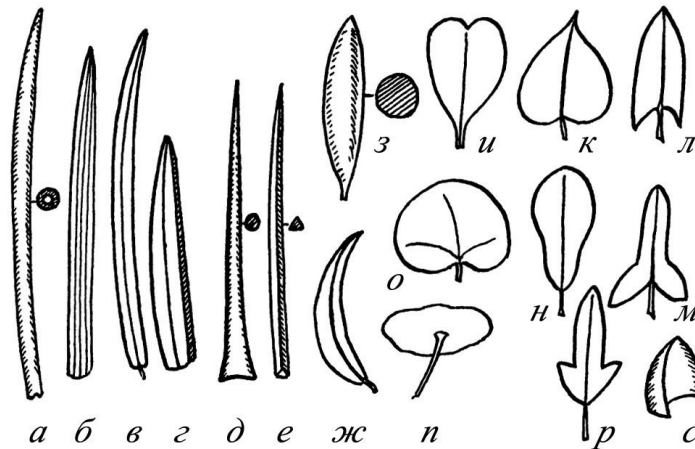


Рисунок 1.10 - Разнообразие форм листовых пластинок:

а - дудчатая; *б* - линейная; *в* - саблевидная; *г* - мечевидная; *д* - шиловидная; *е* - игловидная; *ж* - серповидная; *з* - вальковатая; *и* - сердцевидная; *к* - обратно-сердцевидная; *л, м* - стреловидная; *н* - гитаровидная; *о* - почковидная; *п* - щитовидная; *р* - копьевидная; *с* - чешуевидная

У многих растений главные жилки являются более толстыми, по сравнению со вспомогательными, и выступают в роли ребер жесткости. Они наиболее заметны на нижней стороне листовой пластинки [41, 46].

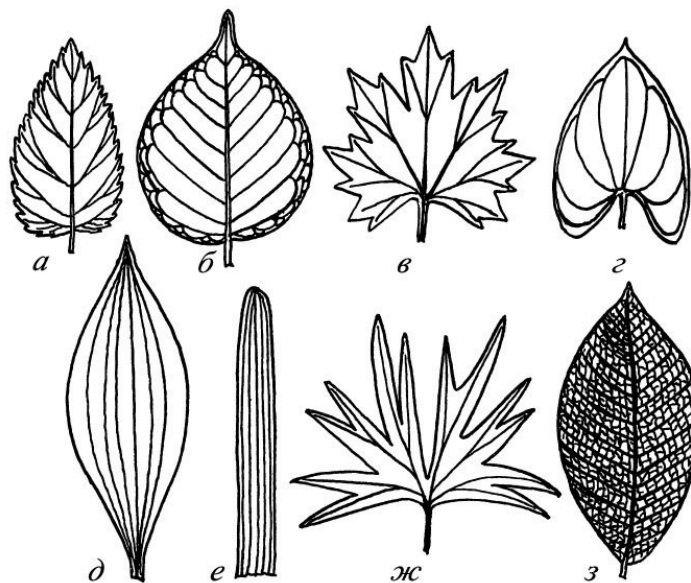


Рисунок 1.11 - Типы жилкования листьев:

а — перисто-краебежное; *б* — перисто-петлевидное; *в* - пальчато-краебежное; *г* — пальчато-петлевидное; *д* — дуговидное; *е* — параллельное; *ж* — вильчатое (дихотомическое); *з* — перисто-сетчатое

Так же, как и в крыльях насекомых, жилки в листьях растений, помимо транспортной роли, выполняют роль основного каркаса листа, придавая жесткость и гибкость, позволяя сопротивляться воздействию окружающей среды [46, 44].

Можно заметить, что рисунки крыла стрекозы и сетчатого жилкования листьев растений схожи между собой. Однако жилки в листьях растений имеют тенденцию образовывать незамкнутые ячейки, что может быть невыгодно с технологической точки зрения при изготовлении оболочек с нерегулярной структурой. Вследствие этого для дальнейших разработок целесообразно использовать особенности строения крыла стрекозы.

1.3 Анализ влияния геометрического строения на физико-механические свойства природных армированных оболочек

1.3.1 Влияние геометрического строения на физико-механические свойства крыльев стрекозы

Первичными общими структурными свойствами крыльев стрекозы являются жесткость в продольном направлении и гибкость — в поперечном. Передний край крыла усилен каркасом толстых жилок и обладает трехмерным рельефом, обеспечивающим высокую изгибную жесткость в продольном направлении, на 1-2 порядка выше, чем в поперечном. Эти особенности определяют аэродинамические свойства крыла стрекозы [37].

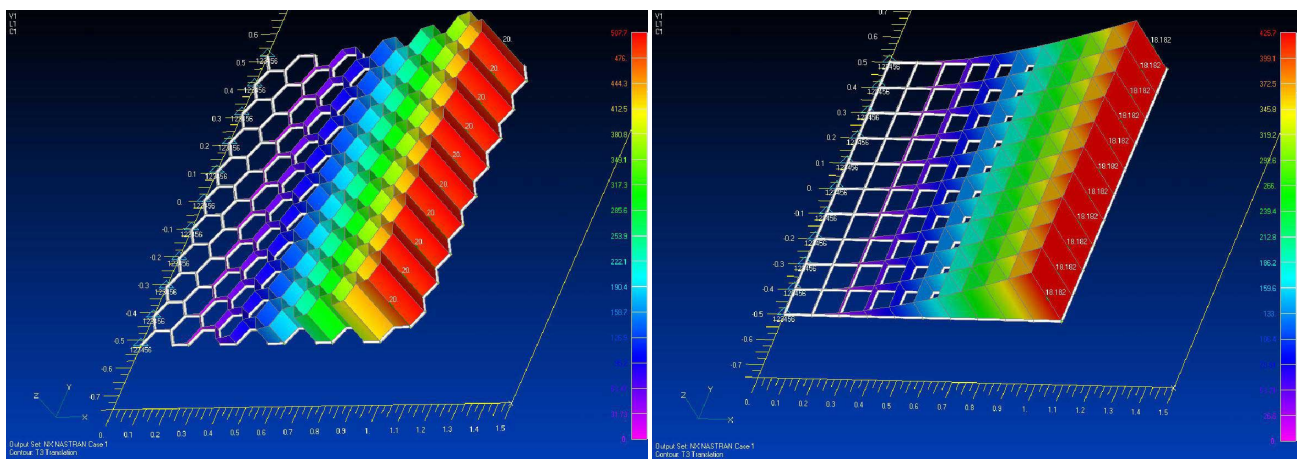
Крыло состоит из сети полых трубчатых жилок, являющимися одними из главных структурных элементов крыла и действующих как консольные балки [35, 47]. Они поддерживаются множеством поперечных жилок, расходящихся от сети главных жилок, и тонкой мембраной, способствующей сопротивлению крыла аэродинамическим силам и воздействию окружающей среды [47, 48]. Мембрана имеет рельефную поверхность, способствующую поглощению нагрузок и возникновению деформаций [35]. Совокупность перечисленных особенностей придает крылу стрекозы уникальные физико-

механические свойства. Такая трубчатая, имеющая складки конструкция крыла одинаково реагирует на нагрузку, приложенную как сверху, так и снизу, деформируясь при возрастании горизонтально или вертикально действующих сил [49, 50, 51].

Форма и расположение ячеек, образованных пересекающимися жилками, также имеет влияние на физико-механические свойства крыльев насекомых.

В работе [37] были исследованы различия между шестиугольными и четырехугольными ячейками при помощи анализа методом конечных элементов в среде FEMAP (Рисунок 1.12).

Диаграммы представляют общую величину отклонения и показывают, что при приложении одинаковой нагрузки структура, состоящая из квадратных ячеек оказалась на 15% жестче, чем структура, образованная шестиугольниками [37].



а

б

Рисунок 1.12 - Диаграмма отклонения сетей, образованных шестиугольными (а) и четырехугольными (б) ячейками

В работе [36] проведен анализ соотношения между гибкостью и рисунком жилкования посредством измерения изгибной жесткости крыльев 16 видов насекомых, принадлежащих отрядам Odonata (Стрекозы), Isoptera (Термиты), Neuroptera (Сетчатокрылые), Hymenoptera (Перепончатокрылые), Diptera (Двукрылые), Lepidoptera (Чешуекрылые).

Крылья прикреплялись основанием или передней кромкой, в зависимости от направления приложения нагрузки, к прочно зафиксированной основе. Изгибная жесткость измерялась путем приложения точечной нагрузки в продольном, либо в поперечном направлении и расчетом общей изгибной жесткости.

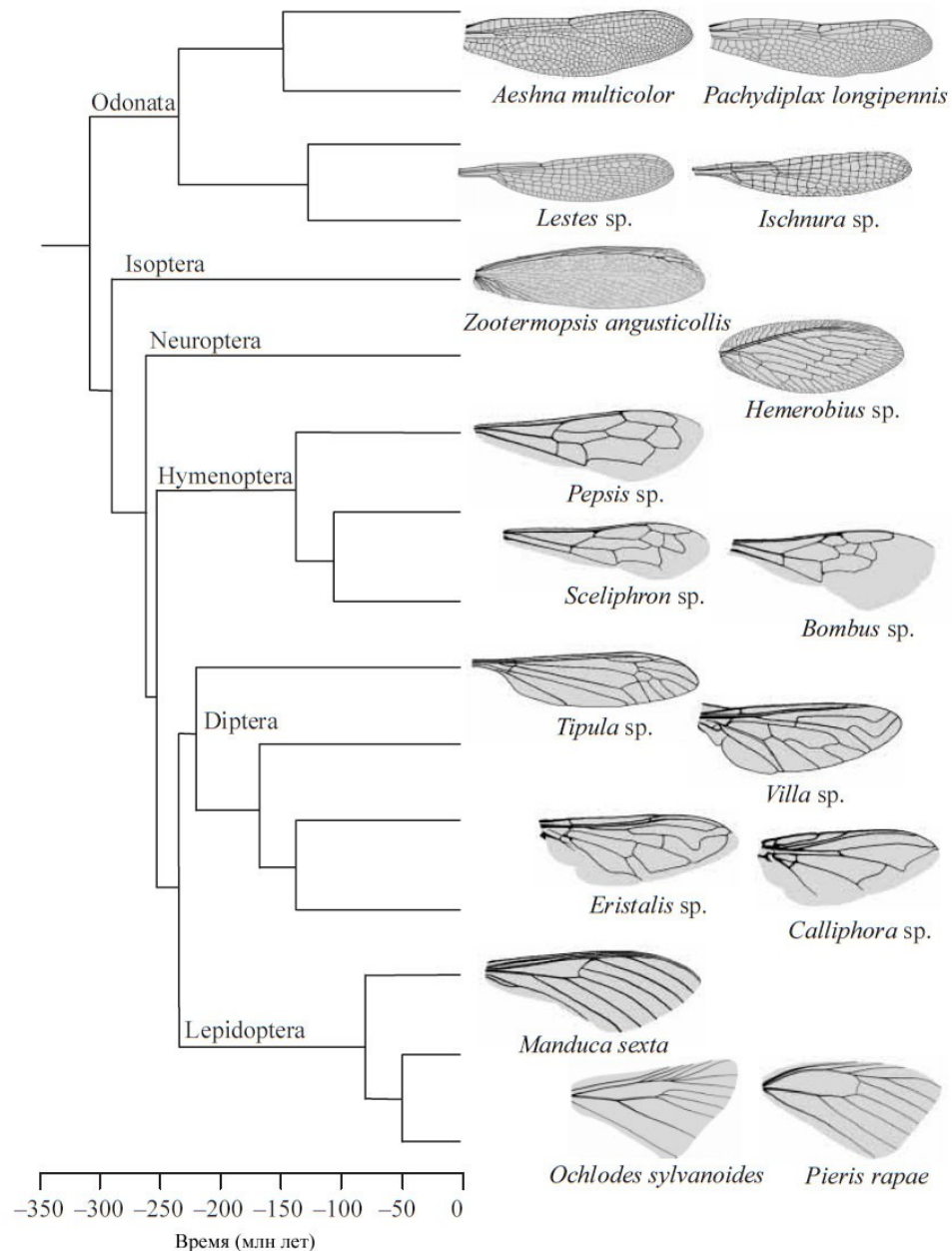


Рисунок 1.13 - Рисунки жилкования передних крыльев насекомых, использованных для проведения испытаний с указанием вида и рода

На графиках, представленных на рисунке 1.14, образцы каждого вида изображались одним цветом.

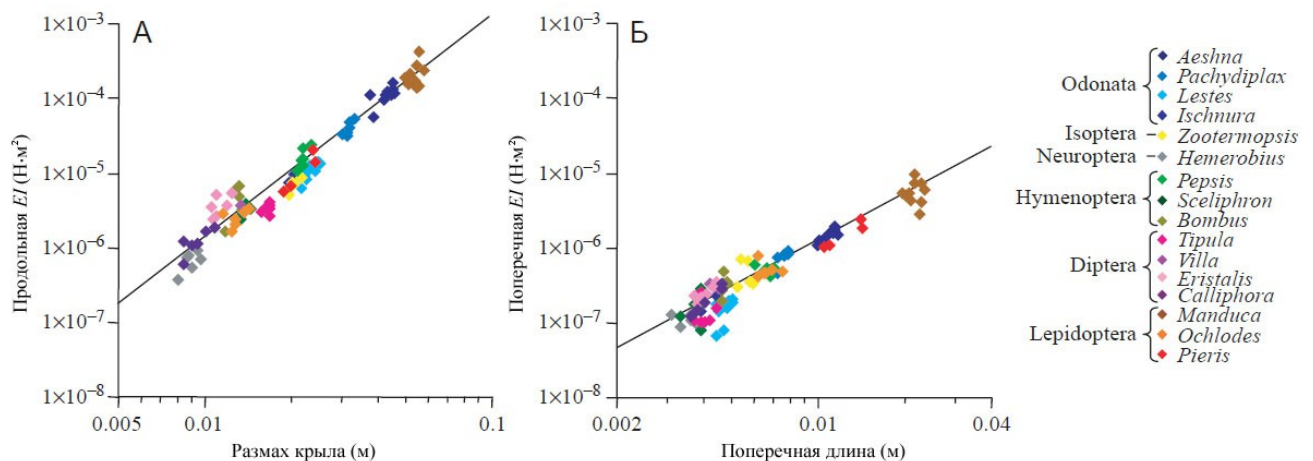


Рисунок 1.14 - Графики зависимости: А - продольной изгибной жесткости от размаха крыла; Б - поперечной изгибной жесткости от поперечной длины

Результаты испытаний показали, что значения общей изгибной жесткости крыльев разных видов насекомых имели значительные отличия, однако тесно коррелировали с размером крыла. При увеличении размеров крыла увеличивается и изгибная жесткость.

1.3.2 Исследование влияния геометрического строения на физико-механические свойства листьев растений

В естественном отборе значительную роль играет конструктивная эффективность листьев, которые должны использовать для фотосинтеза наибольшую площадь поверхности при минимальных метаболических затратах [42, 46].

Листья некоторых видов веерообразных пальм достигают 5-15 м в длину и 3-4 м в ширину, площадь поверхности составляет 15-60 м². При столь значительных размерах лист должен быть максимально легким, чтобы не создавать излишней нагрузки на черешок. Помимо этого, черешок должен не только выдерживать вес листа, но и оказывать сопротивление воздействию окружающей среды. Климат тропических районов, для которого характерны ливневые дожди и ураганные ветры, подвергает листья пальм и других растений дополнительным нагрузкам. Поэтому крупные листья тропических растений,

должны быть исключительно легкими и, в то же время, в высшей степени прочными [43, 46].

Придать тонкому листу дополнительную прочность можно двумя способами: образованием ребер жесткости и гофрированием [46, 52].

Жилки в листьях растений выполняют роль развитой системы ребер жесткости, а давление питательных веществ, проходящих по жилкам, способствует общей жесткости листа [52]. Например, листья тропической кувшинки Виктории регии могут достигать в диаметре 2 метров. Несмотря на малую толщину, они обладают достаточной прочностью, чтобы выдержать вес около 40 кг. Высокая прочность листьев достигается за счет наличия на нижней поверхности ребер жесткости (Рисунок 1.15). Из центра в радиальном направлении расходятся толстые, выступающие жилки, которые становятся более плоскими у края листа. В результате того, что жилки разветвляются на более мелкие, из каждой центральной жилки образуется до 32 жилок, скрепленных друг с другом поперечными связками [46].

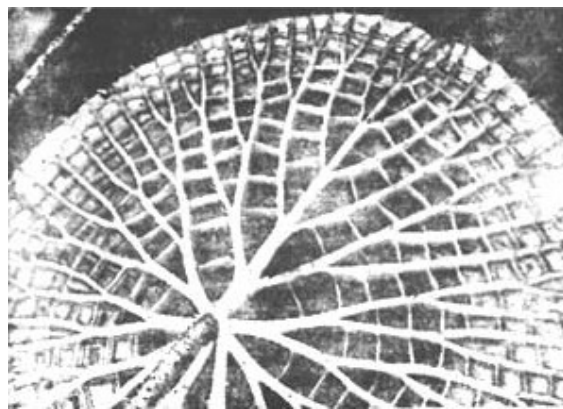


Рисунок 1.15 - Нижняя сторона листа кувшинки виктории регии

В технике придать тонкому стальному листу дополнительную изгибную жесткость можно, если сделать на нем ряд параллельных складок. Принцип гофрирования успешно применяется для повышения прочности конструкций: кузовов автомашин, фюзеляжей самолетов, стенок металлических гаражей, балконов, картона и т.д. В природе листья некоторых видов пальм имеет в поперечном сечении зигзагообразную форму. Частичное разрушение листовой

пластинки (вследствие механических повреждений или самопроизвольного разрыва) не отражается на биологической функции и прочностных свойствах листа (Рисунок 1.16) [46].

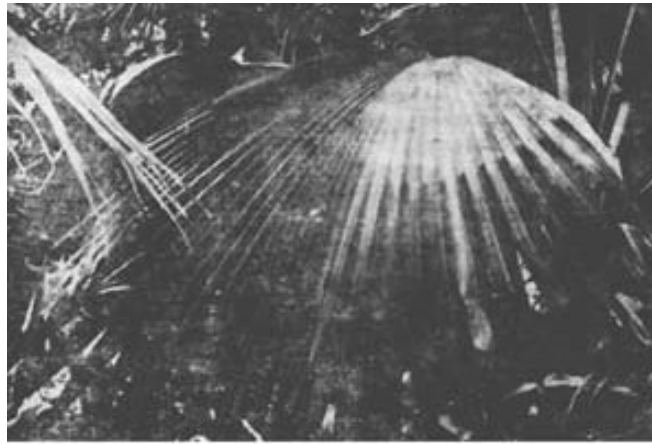


Рисунок 1.16 - Лист южнокитайской ливистонии

Деревья в целом являются прекрасным примером рационального использования материалов. Совокупность всех веток представляет собой структуру, в которой заполнен большой объем пространства при минимальных затратах строительных материалов. Этот же принцип повторяется и в листьях — например, рисунок сетчатого жилкования представляет собой уменьшенную копию дерева с отходящими от ствола многочисленными ветками. Жилки образуют сетчатый каркас, способствующий прочности листовой пластинки [46]. Очень отчетливо решетчатая структура видна также в оболочке плода физалиса (Рисунок 1.17).



Рисунок 1.17 - Сетчатая оболочка плода физалиса

Таким образом, деревья и листья растений представляют собой пример природной конструкции, сочетающей в себе устойчивость и грузоподъемность при малых затратах строительных материалов, а также высокие прочностные характеристики при малой массе [46]. Особенности строения листьев растений представляют интерес для проектирования оболочек с улучшенными показателями прочности при малых затратах материала.

1.3.3 Разработка классификации признаков природных оболочек

Несмотря на то, что природные оболочки разнообразны по структуре, можно выделить некоторые характерные для них особенности, способствующие уникальному сочетанию характеристик прочности и гибкости.

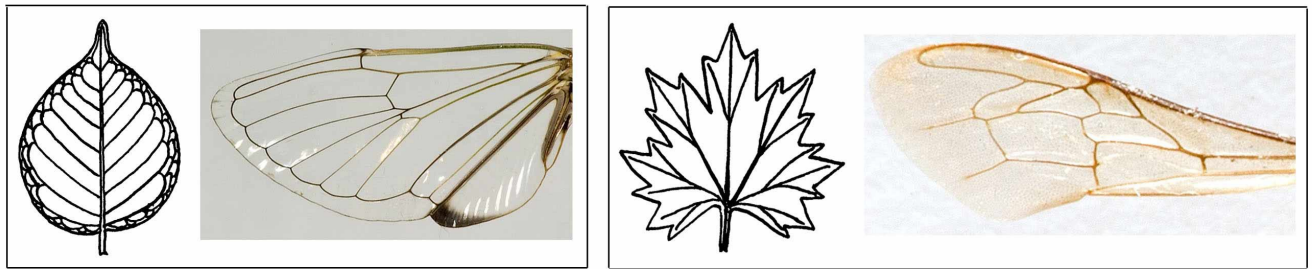
В отличие от текстильных материалов, применяемых в настоящее время для изготовления оболочек швейных изделий, природные оболочки имеют нерегулярную структуру, в следствие чего обладают зональным распределением физико-механических свойств.

Геометрическое строение природных оболочек характеризуется расположением структурных элементов. Плоской колесовидной паутине присуще радиально-кольцевое расположение нитей шелка. Особенности рисунка жилкования крыльев насекомых сходно с рисунком жилкования растений, в котором можно выделить наиболее толстые жилки, образующие основной каркас крыла, от которого расходится сеть более мелких вспомогательных жилок [34, 41]. Однако, в отличие от паутины, сложно определить общее направление вспомогательных жилок. В соответствии с этим, структуру листьев растений и крыльев насекомых можно назвать безаксиальной.

Форма природных оболочек может быть как закрытой (Рисунок 1.18а), в которой жилки или нити образуют у края оболочки замкнутые ячейки, как, например, при закрытом жилковании в листьях растений или в рисунке жилкования некоторых насекомых, так и открытой (Рисунок 1.18б), в которой жилки или нити обрываются у края оболочки.

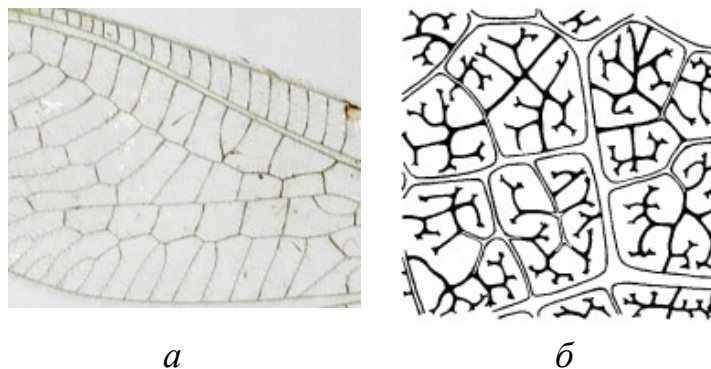
Жилки, образующие основной каркас листьев и крыльев насекомых,

являются более толстыми и, соответственно, более жесткими, чем расходящиеся от них вспомогательные жилки. Жесткость крыльев насекомых уменьшается по направлению от переднего края крыла к заднему и от основания к концу, а в листьях растений — от основания к краям листа [34, 35, 46]. Переменная толщина жилок приводит к зональному распределению жесткости природных оболочек.



a *б*
Рисунок 1.18 — Форма оболочки: а — закрытая; б — открытая

По форме ячейки можно разделить на замкнутые и незамкнутые. Замкнутая форма ячеек присуща рисунку жилкования крыльев насекомых (Рисунок 1.19а), тогда как жилки в листьях растений с сетчатым жилкованием имеют тенденцию образовывать незамкнутые ячейки (Рисунок 1.19б), располагающиеся по всей плоскости листа.



a *б*
Рисунок 1.19 — Форма ячеек, образованных жилкованием: а — замкнутая; б — незамкнутая

Так как число сходящихся в одной точке соединений сторон ячеек природных оболочек различно [53], учет этой особенности строения при проектировании армированных швейных изделий может привести к образованию некорректных структур материала, ухудшающих прочностные свойства. В

отличие от сетей полотняного или триаксиального переплетений, образованных системами непрерывных нитей, ряды ячеек природной оболочки смещены относительно следующего ряда ячеек (Рисунок 1.20а). Подобные особенности встречаются в рисунках жилкования крыльев насекомых и листьев растений.

Незамкнутая форма ячеек, встречающаяся в рисунках жилкования листьев растений, в текстильном материале образует некорректную структуру, характеризующуюся выводом или обрывом нити (Рисунок 1.20б).

В некоторых случаях изготовление сетчатого материала со структурой, подобной природным оболочкам, может потребовать вырезания структурных ячеек, что приводит к образованию отверстий и нарушению целостной структуры материала (Рисунок 1.20в).

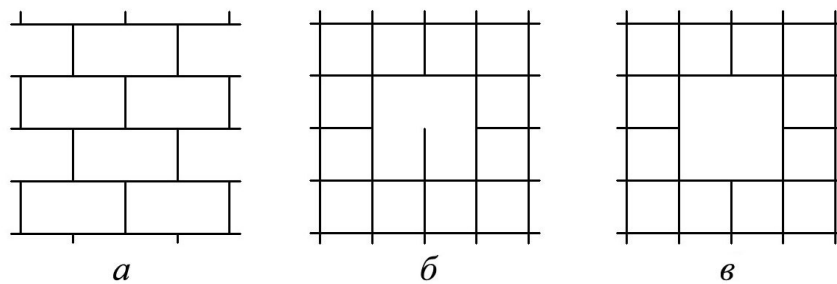


Рисунок 1.20 — Некорректность структуры текстильных материалов:
а — вывод (обрыв) нити; б — отверстие; в — прерывистость нити.

Использование перечисленных особенностей природных структур при проектировании и изготовлении текстильных оболочек является технологически невыгодным, т.к. затрудняет использование непрерывных нитей и предполагает введение сложных для выполнения и трудоемких дополнительных технологических операций (изгиб, обрыв, ввод или вывод нити).

Влияние некоторых особенностей природных оболочек (форма ячеек и оболочки, некорректность и нерегулярность структуры) на физико-механические свойства текстильных аналогов требует дальнейших исследований, однако уже сейчас можно сказать, что проектирование изделий по принципу строения природных оболочек позволит изготавливать изделия с зональным распределением физико-механических свойств.

По результатам проведенных исследований разработана классификация характеристик строения природных оболочек, которые будут учитываться при проектировании швейных изделий с зональным распределением прочностных и формообразующих свойств (Рисунок 1.21).

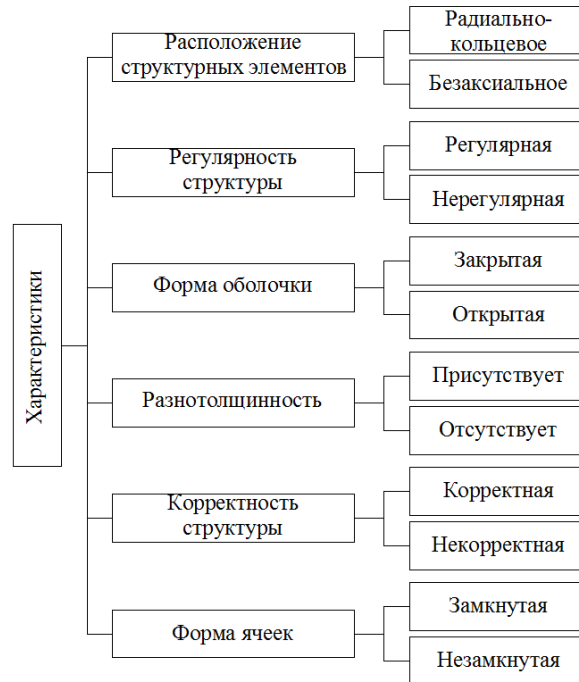


Рисунок 1.21 - Классификация характеристик строения природных армированных оболочек

Разработанная классификация позволит определить геометрические характеристики наиболее полно отвечающие поставленным требованиям и оптимизировать процесс проектирования швейных изделий с зональным распределением прочностных и формообразующих свойств.

1.4 Перспективы проектирования и изготовления оболочек швейных изделий с нерегулярной структурой

1.4.1 Способы изготовления оболочек с нерегулярной структурой

Общий признак всех видов плоской колесовидной паутины — наличие центральной точки, которая является точкой начала для элементов, образующихся в радиальном направлении [16, 17, 27, 54].

Структурные элементы природной, плоской паутины стабильны даже в точках пересечения [15, 17, 54]. Для соединения элементов текстильного сетчатого материала могут быть использованы различные техники изготовления тканей с учетом соблюдения основных особенностей сетей типа паутины. Эти методы — ткачество, вязание, плетение и их модификации.

Геометрия и структура сетчатых оболочек, изготовленных различными методами, зависит от специфики каждого метода производства, так же как и от свойств отдельных элементарных связей [15].

В работе [15] рассмотрены ручные способы изготовления сетчатого материала, подобного паутине, методами ткачества, плетения, вязания и «макраме».

Метод ткачества позволяет создать сетчатый материал, подобный паутине, полотняного или газового переплетения с использованием непрерывной нити утка (Рисунок 1.22). Средняя часть такого материала относительно стабильна. По мере удаления от центральной точки, смещения между нитями основы возрастает, а стабильность оболочки уменьшается.

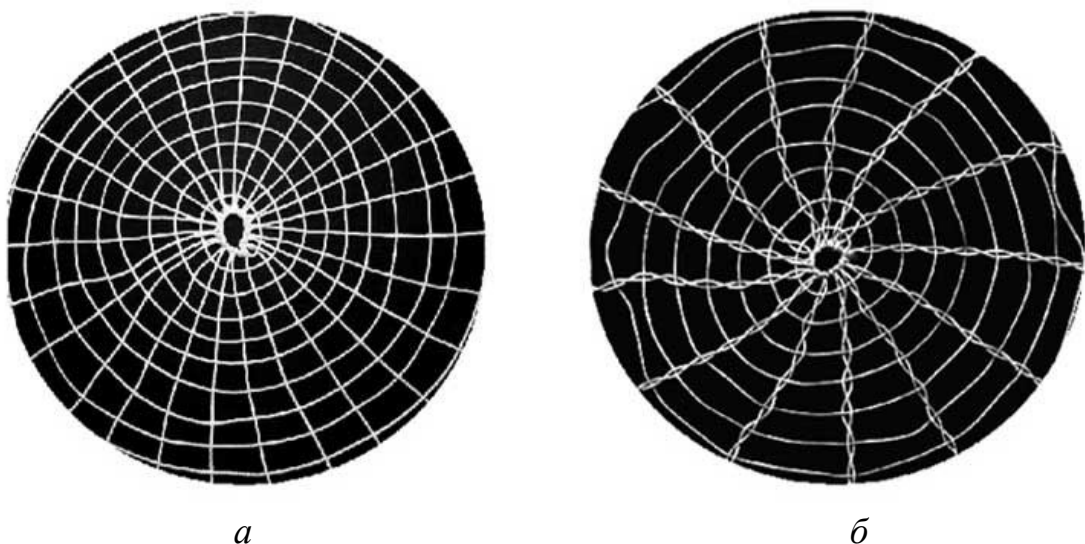


Рисунок 1.22 - Сетчатый материал, изготовленный вручную методом ткачества: *а* - полотняное переплетение; *б* - газовое переплетение

Несмотря на преимущество метода ткачества в прямолинейном, радиальном расположении основных нитей, существенный недостаток при изготовлении

оболочек с радиально-кольцевой структурой заключается в нестабильности всей конструкции и возникновении взаимосвязанных смещений нитей под воздействием внешних нагрузок [15].

На рисунке 1.23 представлен сетчатый материал типа паутины, выполненный методом вязания. Радиальные элементы материала образованы петельной цепочкой. Существуют два способа закрепления уточных нитей: первый из них состоит в прикреплении уточных нитей к элементу цепочки. Характер фиксации похож на газовое переплетение тем, что уточные нити проходят между несколькими нитями, образующими одну радиальную нить.

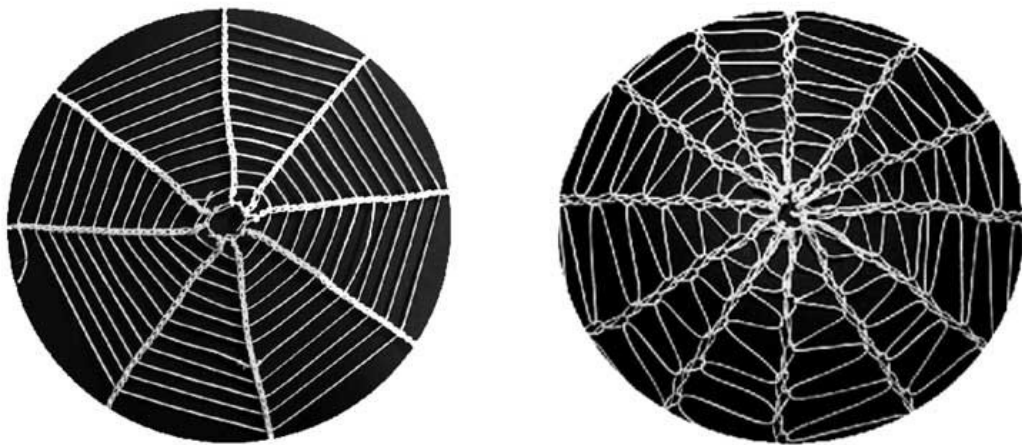


Рисунок 1.23 - Сетчатый материал, изготовленный вручную методом вязания, с уточными нитями, прикрепленными к петельной цепочке

Следует заметить, что материал, представленный на рисунке 1.23 изготовлен методами, которые объединяют метод вязания (радиальные элементы) и швейный метод. Такое соединение уточных нитей с радиальными элементами нестабильно. Второй способ состоит в использовании иглы, в которую вставляется нить утка. Две нити соединяются вместе цепочкой, что гарантирует стабильность оболочки.

Сетчатый материал с зигзагообразной структурой, изготовленный методом вязания нестабилен из-за особенностей строения и способа крепления поперечных элементов к радиальным. Кроме того, повреждение нитей в цепочке вызывает разрушение всей оболочки [15].

Метод плетения заключается в одновременном перекручивании и переплетении нитей. При использовании японской техники плетения не образуется узлов [15].

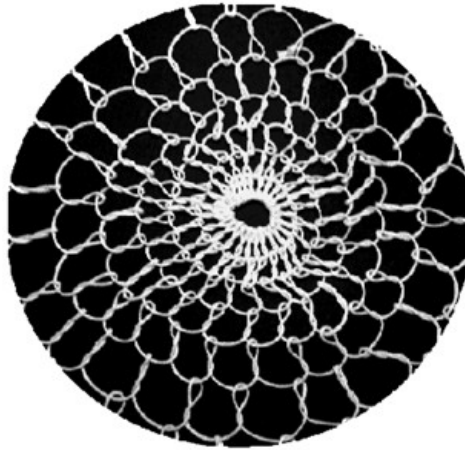


Рисунок 1.24 - Сетчатый материал, изготовленный методом вязания крючком

Стороны ячеек образуются при помощи двух перекрученных нитей. Точка пересечения выполняет роль отдельного элемента в полотняном переплетении, что придает соединению стабильность. Тем не менее, введение нити, формирующей сетчатый материал, особенно в роли радиальных элементов, не позволяет использовать такие оболочки в жестких композитах. Материалы с такой структурой могут использоваться при изготовлении эластичных деталей овальной формы.

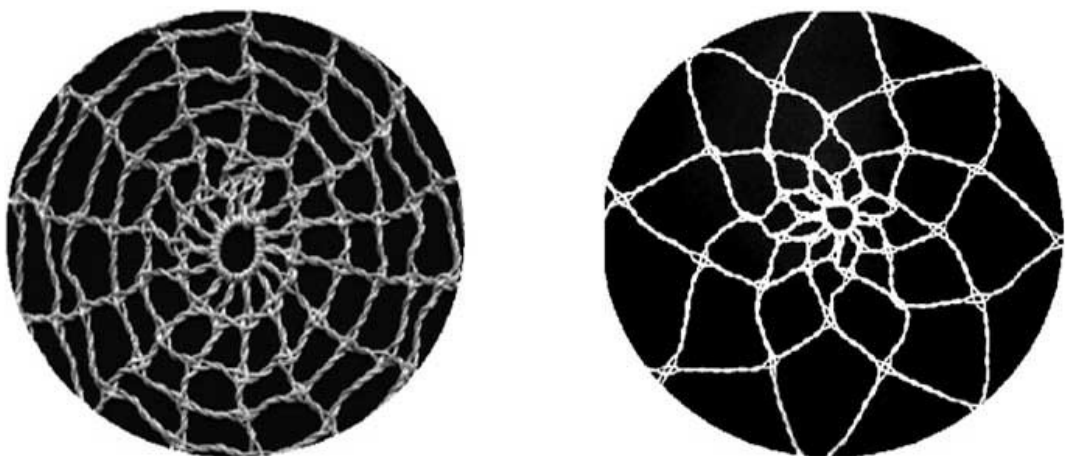
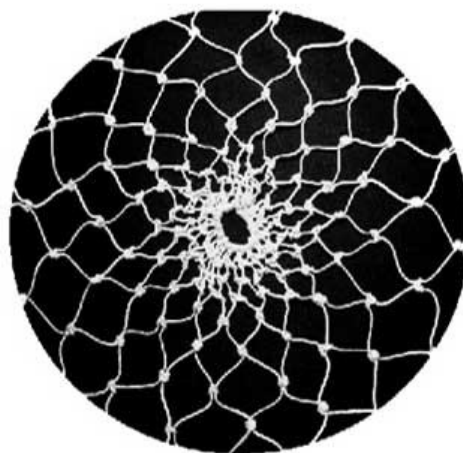


Рисунок 1.25 - Сетчатый материал, изготовленный с использованием японской техники плетения

Отсутствие узлов и острых изгибов нитей в местах их пересечений дает равномерную толщину оболочки, а отсутствие напряжения не вызывает деформацию ячеек. Процесс крутки нитей может вызывать изменения в размерах ячеек в случае приложения нагрузки.

Также сетчатый материал, подобный паутине, можно получить при помощи техники макраме. При изготовлении образцов материала, описанных в работах [15], использован классический квадратный (плоский) узел. Схема его образования представлена на рисунке 1.26б. Материал, изготовленный при помощи узелкового метода, представлен на рисунке 1.26а.

Благодаря соединениям посредством узлов материал обладает стабильностью. В ненатянутом состоянии, он создает впечатление хаотичности, так как напряжение в узлах вызывает искривление направления нитей, образующих ячейки. Приложение к оболочке малого напряжения будет достаточно для того, чтобы ячейки приняли правильную ромбовидную форму. Для сохранения формы требуется процесс стабилизации. Соединения посредством узлов создают уплотнения на поверхности материала. Тем не менее, существует возможность уменьшить толщину путем применения другого типа узлов, например, плоского узла, но независимо от этого, узлы будут образовывать уплотнения [15].



а



б

Рисунок 1.26 - Сетчатый материал, изготовленный методом макраме (а); узел, используемый в технике макраме (б)

Способы изготовления сетчатого материала, изложенные выше, имеют ряд недостатков. Все виды материала, изготовленные описанными способами требуют дополнительной стабилизации, что увеличивает трудоемкость изготовления. К тому же, для внедрения в производство необходимы дополнительные разработки по созданию или модификации оборудования для производства.

Известен способ изготовления, патент 5,070,914 US, Int. Cl. D03D 13/00, тканой оболочки вращения путем переплетения круговых и радиальных наклонных нитей на сферической поверхности. Оболочка образуется наклонными нитями, идущими в радиальном направлении от центра оболочки, и круговыми нитями, проходящими по спирали между наклонными нитями (Рисунок 1.27). Угол δ между наклонными нитями составляет $60^\circ \pm 30^\circ$ [55]. Недостатком способа является ограничение геометрических параметров ячеек особенностями способа изготовления и необходимость применения сложного оборудования и оправок.

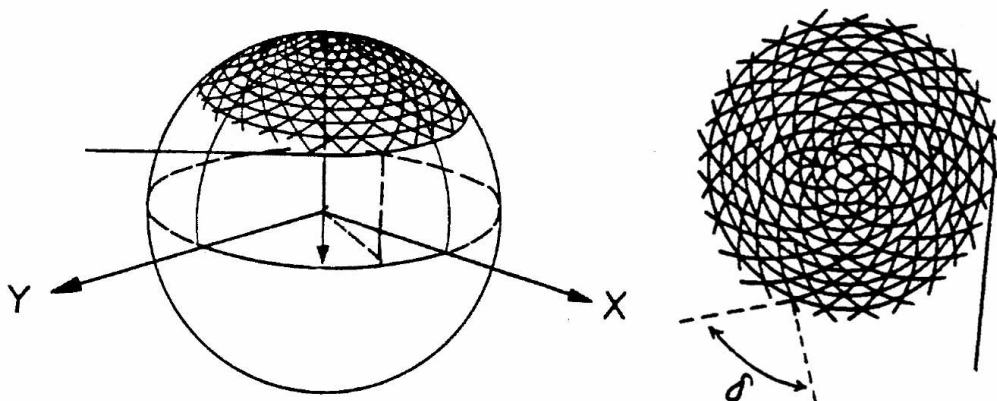


Рисунок 1.27 - Схема расположения систем нитей в оболочке, образованной радиальными и наклонными нитями

В патенте US 6,086,968 А изложен способ получения тканого материала, состоящего из непрерывных переплетающихся нитей основы и утка и имеющего переменные плотность, направление нитей основы и утка и величины углов соприкосновения (Рисунок 1.28) [56]. Изменение плотности, направления нитей основы и утка и угла между ними может осуществляется в процессе ткачества. Полученный материал может принимать как двухмерную, так и трехмерную форму.

Недостатками получаемой оболочки вращения является ввод нитей основы с образованием отверстия в полюсе оболочки, невозможность получения структуры с необходимыми геометрическими параметрами структурных ячеек, распределением нитей утка по замкнутым окружностям и получения изделия замкнутой формы, что снижает прочность тканого каркаса, усложняет его изготовление и ограничивает технические возможности применения.

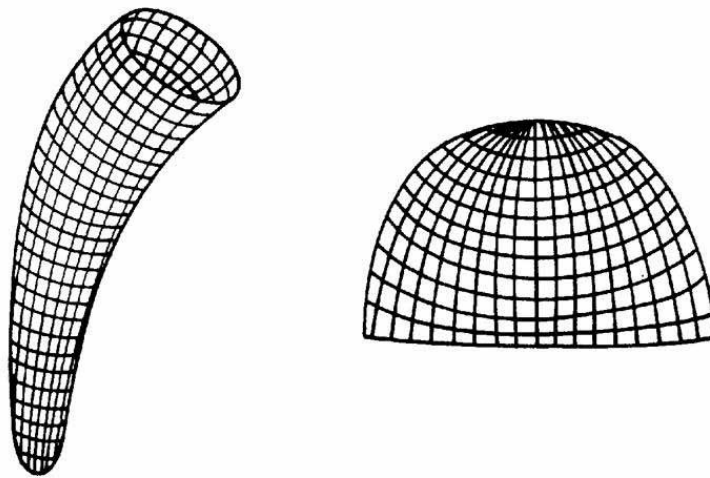


Рисунок 1.28 - Тканый материал, изготовленный переплетением круговых и радиальных нитей

В области производства композиционных изделий особенности геометрического строения паутины применяются при изготовлении конструкций маховиков. Как правило, маховики для накопителей энергии из композитных материалов изготавливаются путем намотки волокон и ручной выкладкой предварительно пропитанных слоев материала. Такой композитный маховик показывает высокую жесткость и прочность в направлении витков и малый вес по сравнению с металлическими маховиками. Тем не менее, такие волокна обладают высокой степенью анизотропности, так как жесткость и прочность в поперечном направлении, как правило, намного ниже, чем в продольном.

Маховики, изготовленные из волокнистых композиционных материалов получают намоткой волокон преимущественно в круговом или спиральном направлении, что снижает рост в радиальном направлении при высоких скоростях [57].

Расположение волокон в радиальном и круговом направлениях (Рисунок 1.29) позволяет решить проблему анизотропности свойств, сбалансировать нагрузки в радиальном и круговом направлениях.

Маховик из армированного волокном композитного материала для накопителей энергии состоит из множества дисков в форме спирали, образованной непрерывными спиральными и радиальными волокнами. Каждый диск состоит из комбинации спиральных волокон разной прочности, расположенных по периметру. Маховик из армированного волокном композитного материала содержит большой объем радиальных волокон, расположенных в средней части диска, увеличивающих радиальную прочность диска, подверженного повышенной радиальной нагрузке. Диск образован переплетением, имеющим трехмерное ортогональное строение, которое позволяет волокнам сдвигаться в процессе ткачества, чтобы таким образом минимизировать искривление тканого по спирали диска. Изготовление тканого по спирали маховика из армированного волокном композитного материала в соответствии с изобретением [57] оптимизирует прочностные свойства, увеличивая таким образом рабочую скорость и количество накопленной энергии при минимальных затратах.

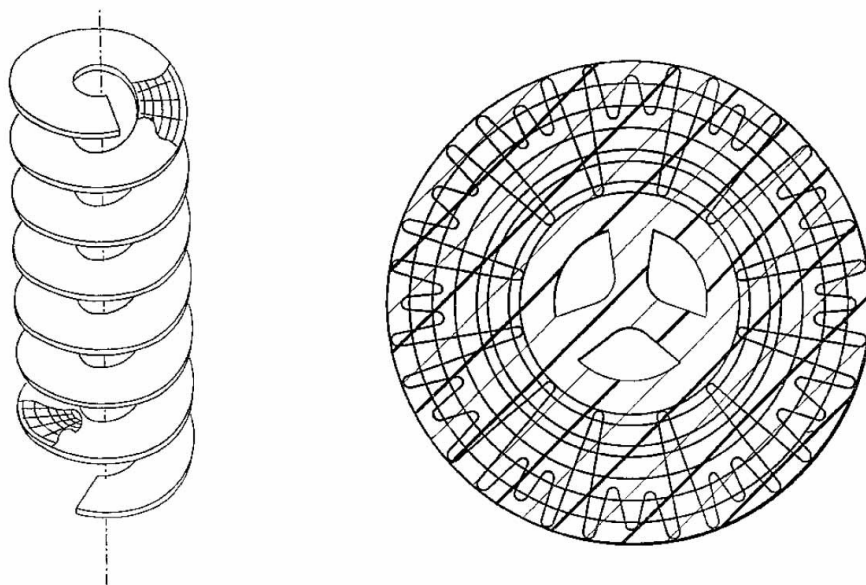


Рисунок 1.29 - Тканый по спирали композитный маховик

Недостатком данного способа является ограниченность применения только для деталей стандартных прямоугольных профилей, что вызвано отсутствием деформационных свойств ленты, а также наличием стыков концов лент, что снижает прочность изделия.

При изготовлении армированных изделий из полимерных конструкционных материалов активно применяется метод настрачивания армирующих элементов на ткань-подложку или само изделие. Операция настрачивания может быть выполнена на автоматизированных вышивальных машинах. Такой способ отличается аккуратностью и точностью расположения настрачиваемых нитей и волокон, в соответствии в разработанной схемой настрачивания (Рисунок 1.30) [58].

Возможности современного оборудования позволяют настрачивать нити в несколько слоев, добиваясь необходимой толщины определенных участков изделия.

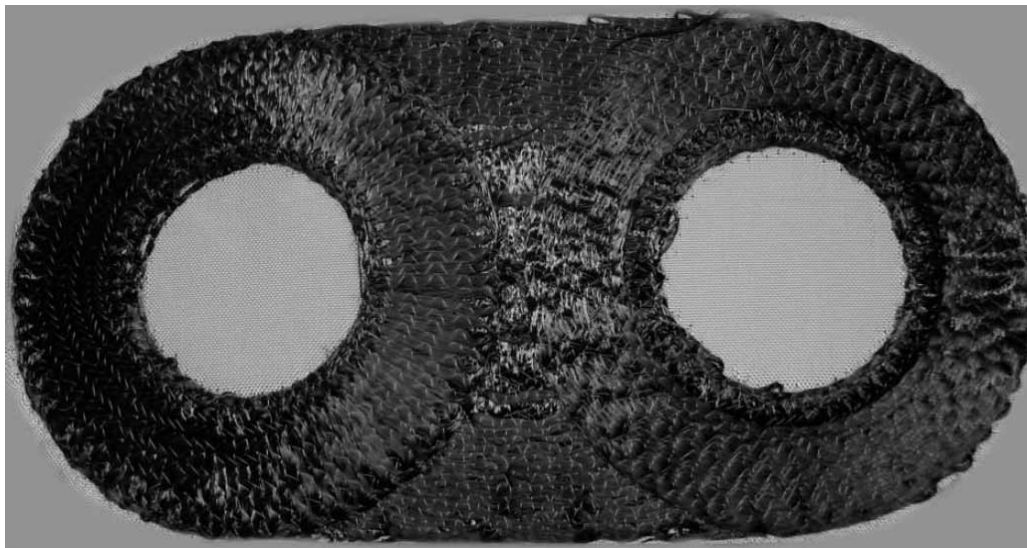


Рисунок 1.30 - Пример преформы, изготовленной настрачиванием углеволоконных нитей на ткань-подложку

В патенте US №7,946,236 [59] указан способ получения трехмерных оболочек методом настрачивания армирующих нитей зигзагообразной строчкой на водорастворимую основу. После растворения основы зигзагообразная строчка,

выпрямлялась, образуя выпуклую оболочку, состоящую из нитей настрочки и нитей каркаса.

Процесс вышивки, предложенный в патенте, позволяет располагать пары нитей, имеющих дополнительную длину, зигзагом на растворяемой основе; после растворения основы дополнительная длина позволяет двумерной вышитой структуре приобретать трехмерную форму.

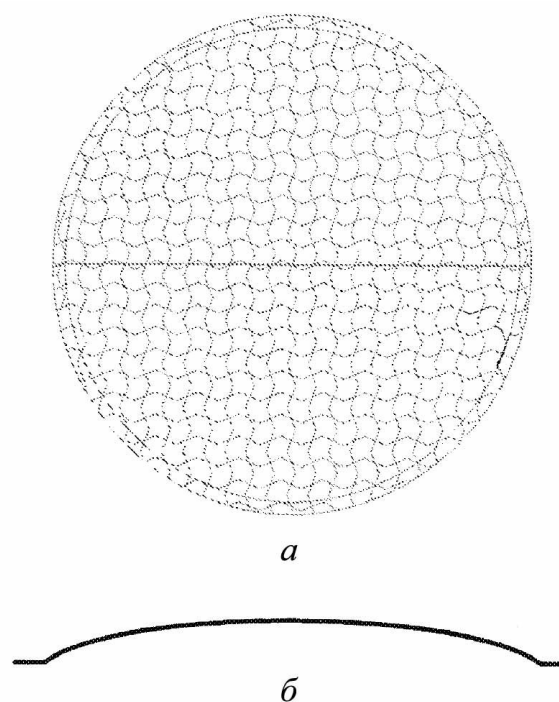


Рисунок 1.31 - Оболочка, состоящая из нитей, настроченных на водорастворимую основу: *а* - схема настрачивания нитей; *б* - профиль оболочки после формообразования

Оболочка, изготовленная указанным способом представляет трехмерный текстильный материал, содержащий переплетающиеся между собой прочные силовые нити каркаса и изнаночные нити. Текстильная оболочка формируется настрачиванием каждой пары нитей (каркасной и изнаночной) двумерной зигзагообразной строчкой на растворяемую основу так, что после растворения основы нити образуют прямой сегмент, придавая таким образом материалу трехмерную форму.

Недостаток данного способа заключается в недостаточной степени фиксации элементов конструкции друг с другом.

1.4.2 Перспективы проектирования оболочек швейных изделий с нерегулярной структурой по принципу строения паутины

При проектировании оболочек швейных изделий круговой и сферической форм целесообразно учитывать особенности геометрического строения паутины. Паутинные сети бывают самой разнообразной формы, однако плоская колесовидная паутина покрывает наибольшую площадь при ограниченном количестве материала [19, 20, 21]. Такая паутина имеет центральную точку и две системы нитей: радиальную и круговую (спиральную), образующие ячейки различных формы и размера. Размер ячеек увеличивается по направлению от центра к периферии, а их форма варьируется у представителей разных видов паукообразных.

Конструкция из нитей, изготовленная на основе строения плоской паучьей сети будет обладать некоторыми присущими паутине свойствами, особенно способностью выдерживать радиальные нагрузки. Эти особенности зависят от свойств отдельных нитей, их положения в паутине и способа их соединения друг с другом. Под соединением следует понимать любой вид взаимной фиксации нитей или других линейных элементов в местах их пересечения, которые образуют части структуры сети [15].

Такое специфическое производство оболочек может найти применение в следующих областях:

- армирование композитных материалов, используемых в условиях воздействия центробежной силы (например, шлифовальные круги, обрезные колеса, роторы и т.д.) [60];
- армирование цилиндрических и сферических конструкций.

Схемы расположения нитей в сетчатом материале, показанные на рисунке 1.32, имеют центральную точку, являющуюся начальной для нитей основы, которые располагаются радиально. Вторая система нитей — нитей утка, расположенных спирально — является непрерывной, что облегчает технологию производства.

Один из способов создания такого материала заключается в расположении уточных нитей в форме концентрических многоугольников. В сетчатом материале, отличающемся по структуре от природной паутины, требуется разрыв уточных нитей и соединение их концов, что предполагает увеличение сложности производства с технологической точки зрения; значительные сложности возникают при получении однородного материала при произвольном введении отдельных уточных нитей. Именно поэтому данный анализ рассматривает структуру материала с непрерывными уточными нитями.

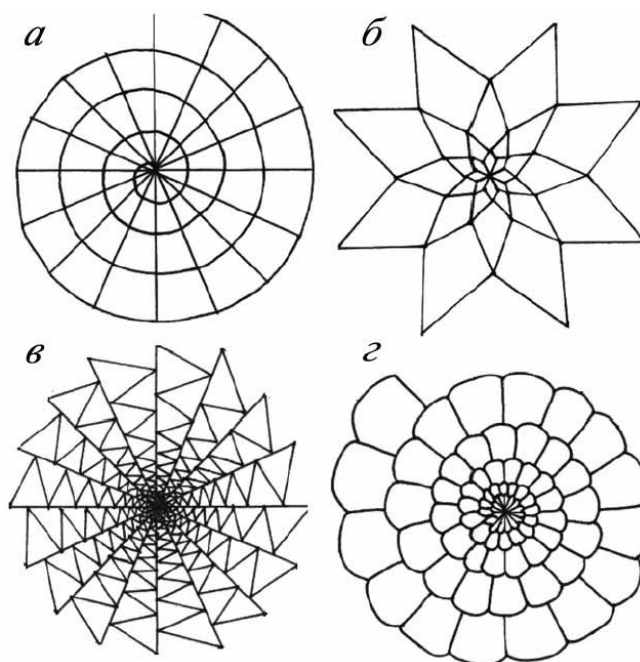


Рисунок 1.32 - Геометрические схемы плоских круговых сетей:
а - имитация структуры плоской паутины, *б* - ромбовидная сеть,
в - зигзагообразная сеть, *г* - спиральная сеть

Существует возможность создания сетчатого материала с ячейками, близкими по форме к ромбовидным, как показано на рисунке 1.32*б*. Структура такого материала образована одной системой нитей, начинающейся в центральной точке. В начале нити идут радиально, но сразу после образования первой ячейки они меняют свое направление в системе. Это означает, что следующая система нитей может быть чередующейся или пересекаемой, как показано на рисунке 1.33.

Ячейки в такой сети имеют дельтообразную форму. Она значительно отличается от ячеек в природной паутине. Несмотря на это, некоторые

специфические особенности круговой паутины, например, наличие центральной точки и возрастание размеров ячеек по мере увеличения диаметра паутины, сохраняются. Можно предположить, что свойства материала с такой структурой под воздействием радиальных нагрузок будут ухудшаться. Силы, действующие вдоль систем нитей, будут вызывать излишнее напряжение, что приведет к значительным изменениям в размерах ячеек и структуре материала. Сетчатый материал с такой структурой может быть использован для изготовления упаковки овальных предметов или как декоративный элемент.

Спиральная сеть, показанная на рисунке 1.32, образована одной формирующей нитью. Эта нить образует спиральные петли, соединяющиеся концами с серединой дуги, образованной петлями предыдущего витка. Размеры ячеек возрастают по мере удаления от центральной точки. Особой характерной чертой этой структуры является отсутствие непрерывной системы, идущей радиально, так как стороны петли не образуют сплошной среды. Ячейки сетчатого материала со спиральными нитями нестабильны и при отсутствии фиксации трансформируются в ромбовидные.

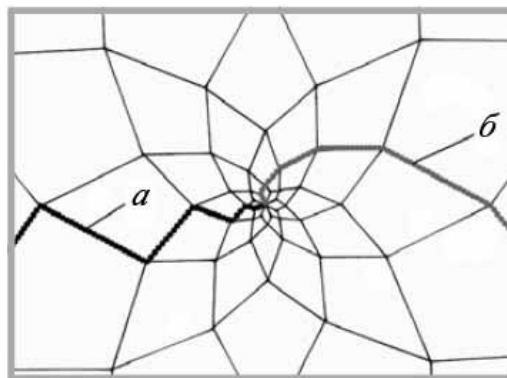


Рисунок 1.33 - Схема расположения нитей в сетчатом материале с ромбовидными ячейками:
а - чередующаяся система, *б* - пересекаемая система

Сетчатый материал со структурами, представленными на рисунке 1.32 можно получить, используя методы ткачества, вязания или плетения. Механического процесса изготовления (осуществляемого оборудованием) на данный момент не существует [15].

1.4.3 Перспективы проектирования оболочек швейных изделий с нерегулярной структурой по принципу строения листьев растений

Исследование формирования и функции жилкования листьев представляет интерес в области современной биологии растений. Однако детальные механизмы до сих пор не изучены. Рисунок разветвления постоянен не только генетически, но и физически. С точки зрения эффективного использования энергии разветвляющиеся структуры более выгодны, чем неразветвляющиеся. Их рост ограничен оптимизирующими условиями, к которым относятся затраты энергии, распределение нагрузки, масса, заполнение пространства [61]. Жилкование листьев является одновременно и транспортной и строительной системой.

В работе [61] предложена модель роста разветвленных листообразных структур с некоторыми допущениями, основанными на биологии.

Модель в декартовых координатах (x,y) в данном случае представлена в алгоритмической форме.

(а) Начальная точка является первым единичным элементом черешка листа, имеющего предполагаемое начальное направление $\alpha = 0$ и длина L с активным концом (в котором рост структуры может продолжиться далее) в точке $r_0 = (x_0, y_0) = (0,0)$, являющейся первой точкой дальнейшего развития.

(б) Рост может продолжаться с некоторой вероятностью $P(i)$ путем добавления единичного элемента в активной точке i в одном из трех направлений $\alpha \in \{-\beta, 0, \beta\}$. Вероятность $P(i)$ является результатом умножения 4 независимых вероятностей $p_k(i)$, $k = 1, 2, 3, 4$;

$$P(i) = \prod_{k=1}^4 p_k(i) \quad (1.1)$$

Первый множитель означает, что ранее образованные единичные элементы в основном развиваются более интенсивно:

$$p_1(i) = \exp \{-C_1 R(i)\}, \quad (1.2)$$

где $R(i)$ — число изменений направления, вычисленное из начального узла с координатами $(0,0)$. Последовательность единиц роста одного и того же

направления принадлежит одному и тому же числу изменений направления.

Второй множитель является результатом более слабого роста единичных ростков с более высоким числом генераций $G(i)$, т.е. развитие отклоняется от начала на возрастающее расстояние:

$$p_2(i) = \exp \{-C_2 G(i)\}, \quad (1.3)$$

Третий множитель означает направление роста, т.е.

$$p_3(i) = \begin{cases} 0 & \text{если выбранное направление уже занято,} \\ C_3 & \text{для } \alpha = 0, \\ \frac{1}{2}(1 - C_3) & \text{для } \alpha = \pm \beta, \end{cases} \quad (1.4)$$

при $\frac{1}{3} \leq C_3 \leq 1$. Отсюда, рост продолжается следующим образом:

(i) вертикально с наибольшей вероятностью, т.е. допускается некоторый момент инерции при росте в предыдущем направлении $\alpha = 0$;

(ii) с меньшей вероятностью направо или налево под постоянными равными углами β .

Четвертый множитель означает уменьшающуюся способность к росту единичных ростков с низким числом генераций $G(i)$, т.е. представляет собой эффект старения.

$$p_4(i) = \exp \{ -C_4 [G(\max) - G(i)] \}, \quad (1.5)$$

где $G(\max)$ — фактическое максимальное число генераций всей образованной структуры. С этой точки рост ограничен экспоненциальным отклонением вероятности роста при возрастающем числе изменений направления, возрастающем расстоянии от черешка (число генераций) и увеличивающемся возрасте.

(в) Положение r_{i+1} нового активного узла ($i + 1$) можно получить из положения r_i фактического узла i :

$$r_{i+1} = \begin{pmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} + L C_5^{R(i)} \begin{pmatrix} \cos(\beta + \varepsilon_x) \\ \sin(\beta + \varepsilon_y) \end{pmatrix}, \quad (1.6)$$

где множитель $C_5^{R(i)} \leq 1$ описывает непрерывное сокращение отростков при возрастающем числе изменений направлений $R(i)$. Все три модели активных

направлений получены при помощи гауссовых случайных чисел $\varepsilon_{x,y} \in [0,1]$.

(г) Если единица роста пересекается с уже существующей единицей, рост прекращается в точке пересечения. Последняя образует неактивный узел, который неспособен к дальнейшему развитию.

(д) Новое число изменений направления и новое число генераций следует из:

$$\begin{aligned} R(i+1) &= R(i) && \text{для } \beta = 0 \\ R(i+1) &= R(i) + 1 && \text{для } \beta \neq 0 \\ G(i+1) &= G(i) + 1 \end{aligned} \quad (1.7)$$

(е) Толщина каждой единицы зависит от необходимой способности к транспортировке, т.е. она должна быть толщиной достаточной для снабжения последующих единиц.

Допущения в модели, представленной на рисунке 1.34:

- 1) Угол β + гауссовы случайные числа;
- 2) Вероятность направления роста (предпочтение предыдущего направления);
- 3) Только 3 ветви в одном узле;
- 4) Точки пересечения не разветвляются и не растут; вероятность разветвления и роста снижается при возрастании генерации (расстояние от корня) и при увеличении числа изменений направления;
- 5) Толщина единичных элементов изменяется при необходимости способности к транспортировке.

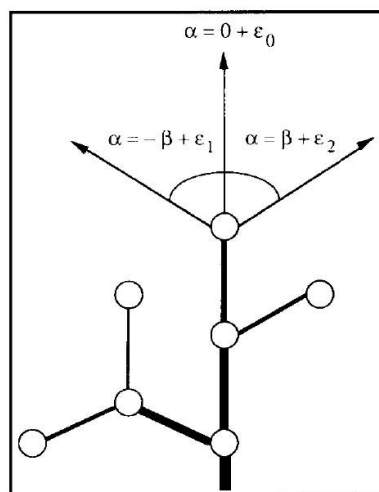


Рисунок 1.34 - Модель роста разветвленной структуры.

На рисунке 1.35 представлен полученный при моделировании паттерн. Очертания границ, соединяющихся с конечными точками внешних единиц был опущен. Легко можно увидеть поразительное сходство рисунков листового жилкования, т.е. модель показала способность образовывать разветвленные структуры путем применения только некоторого количества биофизически достоверных правил локального роста [61].

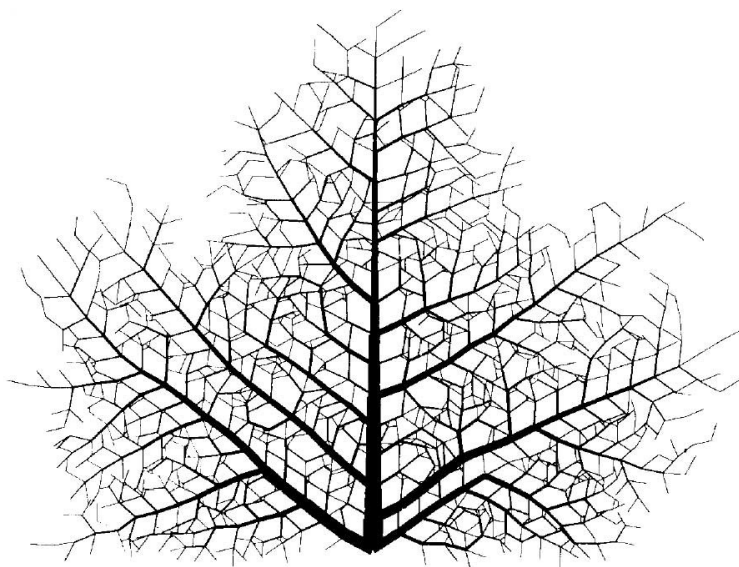


Рисунок 1.35 - Рисунок жилкования, полученный моделированием роста разветвленной структуры

Описанный выше алгоритм моделирования рисунка жилкования листьев имеет некоторые недостатки, не позволяющие применить его в области проектирования оболочек с нерегулярной структурой. Жилки не образуют замкнутых ячеек, что невыгодно с технологической точки зрения и может привести к снижению прочности оболочки. Поскольку рисунок жилкования крыла стрекозы в данном случае похож на рисунок жилкования листа растения, но содержит в своей структуре замкнутые ячейки, дальнейшие исследования будут направлены на изучение особенностей структуры крыла стрекозы.

1.4.4 Перспективы проектирования оболочек швейных изделий с нерегулярной структурой по принципу строения крыльев стрекозы

Наибольшие перспективы для автоматизации построения схем армирования в соответствии с особенностями строения крыла стрекозы представляет принцип

построения диаграммы Вороного. Названная так по имени русского математика Г.Ф. Вороного, диаграмма представляет собой такое разбиение плоскости, при котором каждая ячейка разбиения принадлежит одной определенной точке (узлу) и каждая точка этой ячейки наиболее близко расположена к этому узлу, чем к любому другому. Линии границ между ячейками являются биссектрисами. Каждая точка, принадлежащая биссектрисе, находится на равном расстоянии от двух соседних узлов (Рисунок 1.36). Эти линии границ и образуют диаграмму Вороного [62, 63].

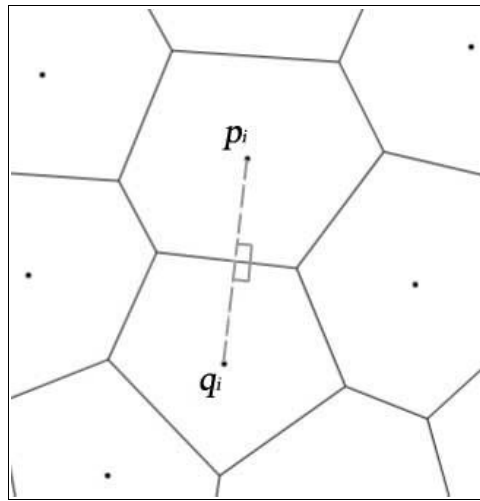


Рисунок 1.36 - Срединный перпендикуляр, соединяющий точки p_i и q_i

Имея некоторое количество точек, случайно расположенных на плоскости, можно получить рисунок, схожий с рисунком жилкования крыла стрекозы, причем плотность заполнения плоскости ячейками обратно пропорциональна расстоянию между точками (Рисунок 1.37).

Диаграмма состоит из вершин и сторон. Формальное определение:

- Пусть P - множество из n различных точек плоскости
- Диаграмма Вороного - деление плоскости на n ячеек, по одной на каждую точку P
- Точка q принадлежит ячейке, относящейся к p_i из P , если расстояние от q до p_i меньше, чем расстояние от q до любой другой точки P .

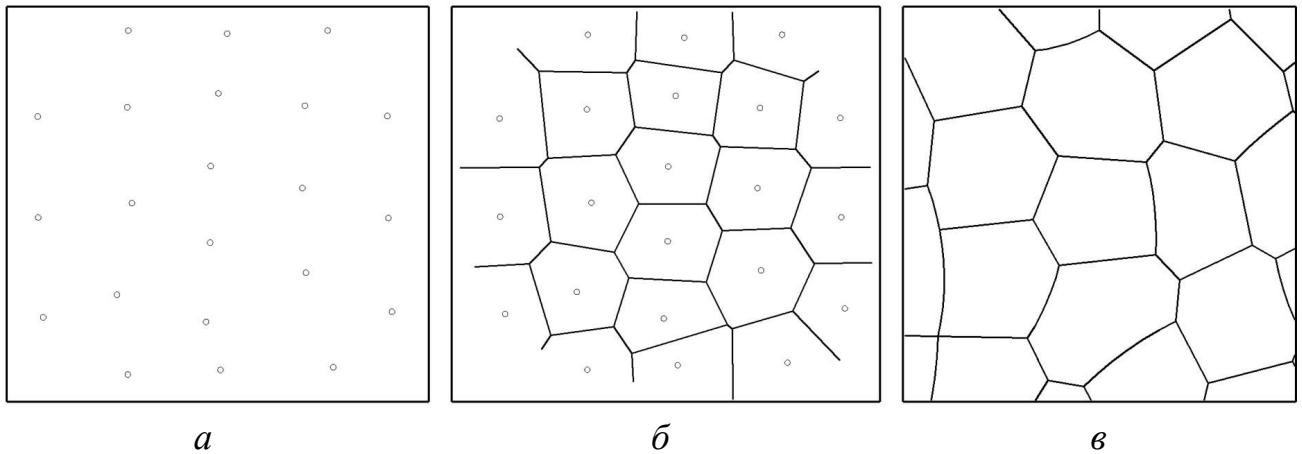


Рисунок 1.37 - Диаграмма Вороного: *а* - некоторое количество произвольных точек на плоскости; *б* - диаграмма Вороного, построенная по произвольному набору точек; *в* — часть рисунка жилкования крыла стрекозы

Для точек p_i и q_i с координатами (x_p, y_p) и (x_q, y_q) , прямая срединного перпендикуляра описывается формулой:

$$p_i q_i = (x_p - x_q) p_i + (y_p - y_q) q_i = \frac{(x_p^2 - x_q^2)}{2} + \frac{(y_p^2 - y_q^2)}{2} \quad (1.8)$$

Диаграмма Вороного двойственна триангуляции Делоне для того же множества точек. Из триангуляции Делоне можно получить диаграмму Вороного построением срединных перпендикуляров к сторонам треугольников [62].

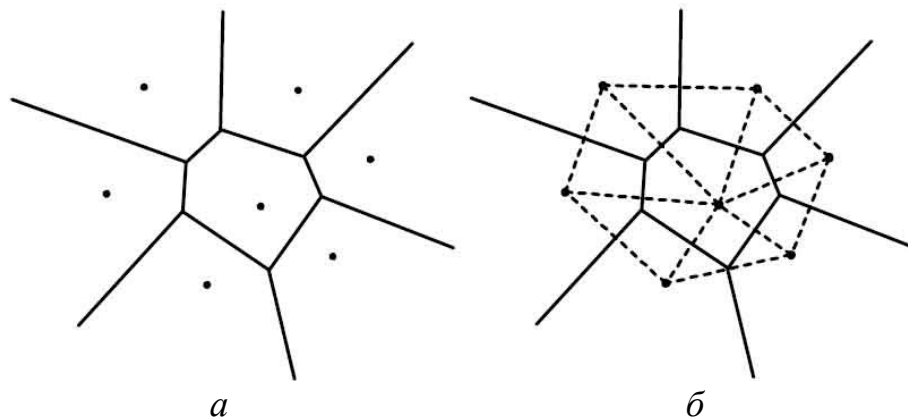


Рисунок 1.38 - Диаграмма Вороного (а) и двойственная ей триангуляция Делоне (б)

Для корректного построения диаграммы триангуляция, на которой строится диаграмма Вороного должна удовлетворять условию Делоне, т.е. окружность, описанная вокруг любого построенного треугольника, не должна включать ни одну из заданных точек триангуляции [62, 64].

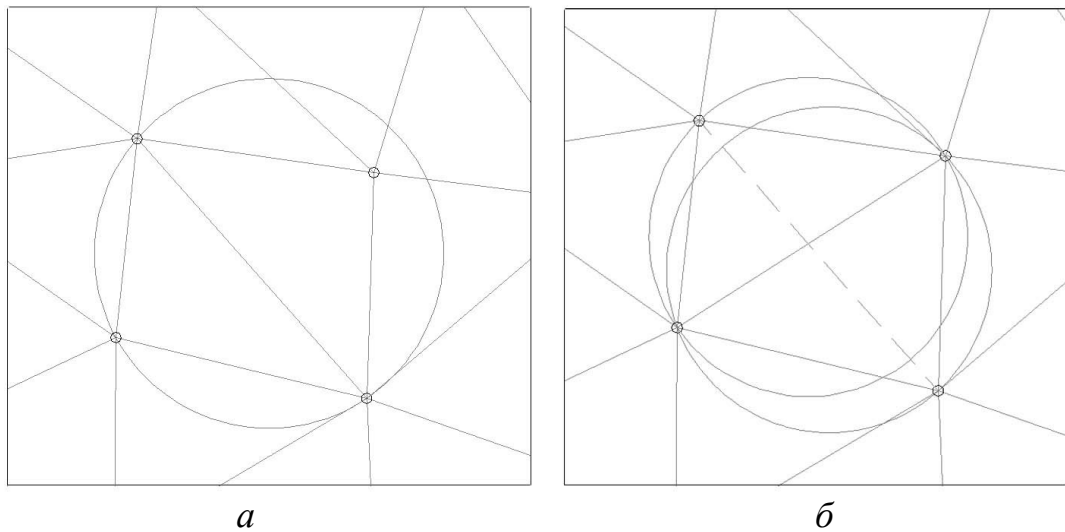


Рисунок 1.39 - Триангуляция, не удовлетворяющая (а) и удовлетворяющая (б) условию Делоне

Если в пределы окружности попадет точка, не принадлежащая треугольнику, вокруг которого описывается окружность, считается, что триангуляция не удовлетворяет условию Делоне. В этом случае необходимо перестроить соседние треугольники так, чтобы сократить наибольшее расстояние между соседними точками.

Инженерные способы построения диаграммы Вороного достаточно трудоемки. Применение автоматизированных методов построения диаграммы при разработке схем армирования в соответствии с особенностями рисунка жилкования крыла стрекозы позволяет значительно сократить время на проектирование швейного изделия.

Выводы

1. Выявлены наиболее значимые для разработки метода проектирования геометрические особенности строения природных армированных оболочек, которые будут учитываться в дальнейших разработках. Применение особенностей строения природной паутины и крыльев насекомых позволит сократить материалоемкость и при этом повысить прочностные свойства, а также создавать оболочки, характеризующиеся сочетанием прочности и гибкости.

2. Проведен анализ влияния особенностей геометрического строения природных оболочек на их физико-механические свойства. В результате анализа выявлено, что все рассмотренные примеры природных оболочек характеризуются сочетанием прочности и гибкости, позволяющим противостоять воздействию окружающей среды. Проектирование швейных изделий по принципу строения природных оболочек позволит улучшить прочностные и эксплуатационные характеристики изделия.

3. Проведен анализ существующих способов изготовления оболочек с нерегулярной структурой. Исходя из анализа, наиболее прогрессивным способом является настрачивание нитей, волокон, лент, шнуров, ровинга на ткань-подложку или само изделие на автоматической вышивальной машине.

4. Проведен анализ методов проектирования оболочек по принципу строения природных структур. Существующие на данный момент методы проектирования оболочек с нерегулярной природной структурой малочисленны и нуждаются в дальнейшей разработке.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕРЕГУЛЯРНЫХ АРМИРОВАННЫХ ОБОЛОЧЕК

Наиболее важными свойствами, учитываемыми при проектировании нерегулярных оболочек, являются прочность, формоустойчивость, а также локальное распределение прочности и гибкости.

Для получения информации, достаточной для проектирования армированных оболочек с нерегулярной структурой необходимо провести исследования влияния геометрических параметров ячеек на физико-механические и формообразующие свойства оболочки.

Как было рассмотрено в первой главе, геометрические особенности природных нерегулярных оболочек, размер и форма ячеек, их расположение, так же, как и наличие складок, трехмерного рельефа оказывает влияние на физико-механические свойства. От того, в какой части оболочки расположены те или иные ячейки, зависит насколько эффективно она будет сопротивляться изгибным, скручивающим и ударным нагрузкам. Использование подобных принципов при проектировании текстильных нерегулярных оболочек позволит создавать структуры с зональным распределением на заданных участках гибкости, прочности и формоустойчивости. Для наиболее эффективного использования преимуществ строения природных оболочек необходимо изучить влияние геометрических параметров текстильных аналогов оболочек на физико-механические свойства.

Во всех проведенных сериях испытаний сравнивались образцы с традиционными структурами (полотняное, триаксиальное переплетение, образцы без армирования) и образцы с нерегулярной, природной структурой (аналоги паутины, крыла стрекозы).

Таблица 2.1 - Образцы для проведения испытаний

Структура образцов	Форма ячеек	Материал образцов	Размер образцов и рабочей зоны, мм	Кол-во образ- цов, шт	Способ изготовления
1	2	3	4	5	6
Испытания на одноосное растяжение образцов из целлюлозного материала					
ортогональная, угол ориентации 0°	квадратная	бумага 80 г/м ²	140х40 40х40	5	Вырезание структурных ячеек
ортогональная, угол ориентации 45°					
некорректная, угол ориентации 0°					
некорректная, угол ориентации 90°					
сотовая, угол ориентации 0°	шести-угольная				
сотовая, угол ориентации 90°					
крыло стрекозы, угол ориентации 0°	5-7-угольная				
крыло стрекозы, угол ориентации 45°					
Испытания на одноосное растяжение образцов из углеволокнутого материала					
слои ткани, скрепленные строчкой	квадратная	Углеродная ткань Porcher 2011, нить Guttermann Tera 60, эпоксидное связующее Этал-Инжект	200х40 100х40	5	Настрачивание зигзагообразной строчкой
ровинг, настроенный под углом 45°	квадратная	Углеродный ровинг Toho Tenax HTS5631 K12, нить Guttermann Tera 60,			
ровинг, настроенный под углом 0° и по окружности	4-угольная	эпоксидное связующее Этал-Инжект			

Структура образцов	Форма ячеек	Материал образцов	Размер образцов и рабочей зоны, мм	Кол-во образ- цов, шт	Способ изготовления
Испытания на статический прокол неформованных образцов					
ортогональная	4-угольная	Углеродное волокно Porcher K-12	Ø 55 Ø 50	4	Ручное плетение
радиально- кольцевая	3-4- угольная				
Испытания на статический прокол формованных образцов					
ортогональная	4-угольная	Углеродное волокно Toray T700SC, эпоксидное связующее Этал, нить Guttermann Tera 60	Ø 300 Ø 150	5	Настрачивание зигзагообразной строчкой
радиально- кольцевая	3-4- угольная				
Исследование формообразования					
паутина	3-4- угольная	искусственная кожа на трикотажной основе	Ø 300	3	Вырезание структурных ячеек
крыло стрекозы	4-7- угольная				
ячейки с изогнутыми сторонами на плоскости	4-уголь- ная с изгибом на плос-кости				
2 слоя: +45°, -45°		мультиаксиальный прошивной материал, изготовленный из стеловолокнистого ровинга	Ø 150	3	Готовое полотно, изготовленное на мультиакси- альной осново- вязальной машине
3 слоя: 0°, +45°, -45°					
4 слоя: 0°, +45°, -45°, 90°					

Испытания проводились на оборудовании ОАО "НИАТ" и Института текстильной техники г. Ахен, Германия.

2.1 Исследование влияния геометрического строения нерегулярных оболочек на их прочностные свойства при одноосном растяжении

Испытания на одноосное растяжение проводились в соответствии с ГОСТ 25.601 - 80. Метод проведения испытаний заключается в кратковременном

испытании образцов на растяжение с постоянной скоростью деформирования [65]. Скорость зависит от материала образца. Для образцов из целлюлозного материала она составляла 2мм/мин, а для образцов из углеволокнистого материала - 10мм/мин. Размеры образцов определялись ГОСТ 25.601 - 80.

2.1.1 Проведение испытаний на одноосное растяжение образцов из целлюлозного материала.

Для проведения испытаний разработаны образцы на основе анализа геометрического строения природных оболочек. Образцы выполнены из целлюлозного материала и имеют различную структуру: ортогональную, некорректную, сотовую и крыла стрекозы (Рисунок 2.40). Размер образцов составлял 140х40мм, размер рабочей зоны - 40х40мм. Образцы изготавливались путем выреза структурных ячеек. Расстояние между вырезами составляло 4мм.

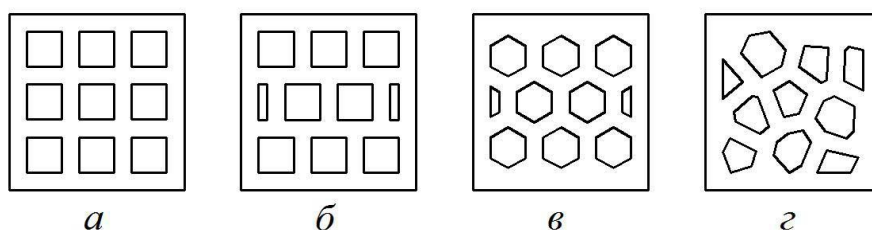


Рисунок 2.40 - Структура образцов для испытаний на растяжение (рабочая область): *а* - ортогональная структура; *б* - некорректная структура; *в* - сотовая структура; *г* - структура крыла стрекозы

Исследовалось влияние как формы ячеек, так и их ориентации в образце на его прочностные свойства. Изменение ориентации ячеек важно для исследования равнопрочности образцов с различными структурами. Например, в ткани плотняного или триаксиального переплетений направление основной нагрузки располагается вдоль систем нитей. Проектирование сетчатой нерегулярной структуры оболочек позволит получить более равнопрочные изделия.

Начальная ориентация рисунка ячеек во всех образцах составляла 0° к оси, в образцах с ортогональной структурой и структурой крыла стрекозы рисунок также был ориентирован под углом 45° , а в образцах с некорректной и сотовой

структурой - под углом 90° . Различное изменение ориентации рисунка ячеек обусловлено, во-первых, ограничениями методики проведения испытаний, предъявляемыми к размерам образцов, а во-вторых, повторяемостью рисунка образцов.

Ортогональная структура образцов представляет собой аналог полотняного текстильного переплетения. Некорректная, неправильная структура является примером особенности строения нерегулярных природных оболочек, встречающейся в рисунках жилкования крыльев насекомых и листьев растений. Сотовая структура состоит из равных по размеру и форме шестигранных ячеек. Материалы с сотовой структурой, как правило, используются в «сэндвичевых» конструкциях изделий из композитов. Схема образцов со структурой крыла стрекозы была получена в программе AutoCAD путем перевода растрового изображения (увеличенной фотографии крыла стрекозы) в векторное.

Испытания образцов проводились на универсальной испытательной машине Tinius Olsen H100KU (Англия). Скорость нагружения составляла 2мм/мин. Обработка данных осуществлялась на компьютере с помощью программного обеспечения «Тест навигатор». Результаты испытаний приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Результаты испытаний образцов.

образцы	а	б	в	г
 град	Нагрузка, Н			
0°	37,2	47,3	26,3	36,6
45°	27,6	----	----	34,9
90°	----	32,3	25,9	35,4

Проведенные испытания показали, что, не смотря на то, что образцы с ортогональной и некорректной структурами обладали более высокими прочностными характеристиками, образцы со структурой крыла стрекозы оказалась более равнопрочными. Графики испытаний представлены в приложении А.

2.1.2 Проведение испытаний на одноосное растяжение образцов из углеволокна.

Проведены испытания на растяжение образцов трех типов (Рисунок 2.41). Образцы для испытаний изготавливались из углеволокнистой ткани саржевого переплетения и углеволокнистого ровинга. Ровинг представляет собой плоский жгут, образованный пучком непрерывных нитей [66]. Образцы первого типа состояли из нескольких слоев углеволокнистой ткани саржевого переплетения, ориентированных под углами 0° , 45° , 90° и -45° к направлению нити основы и скрепленных параллельными зигзагообразными строчками. Образцы второго типа представляли собой слои углеволокнистого ровинга, настроенные на ткань-подложку под углом 45° на расстоянии 9мм друг от друга. При изготовлении образцов третьего типа слои ровинга настрачивались параллельно друг другу под углом 0° , затем на них настрачивались слои ровинга, уложенные концентрическими окружностями. Расстояние между окружностями составляло 9мм. После настрачивания образцы пропитывались связующим и отверждались. На концах образцов закреплялись накладки для предотвращения выскальзывания из зажимов испытательной машины. Размер образцов - 200х40мм.

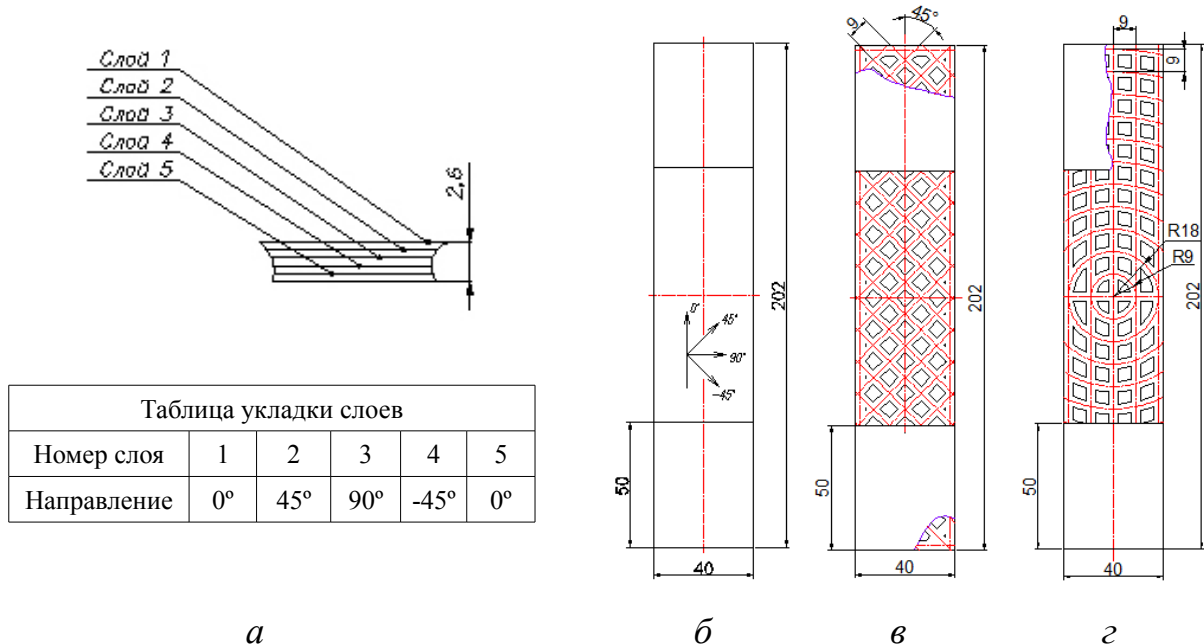


Рисунок 2.41 - Структура образцов для испытаний на растяжение:
а - схема укладки слоев материала в образцах первого типа; *б* - образец первого типа; *в* - образец второго типа; *г* - образец третьего типа



Рисунок 2.42 - Образцы после проведения испытаний:

а - образец первого типа: слои ткани, скрепленные зигзагообразной строчкой;

б - образец второго типа: слои ровинга, настроенные под углом 45° ;

в - образец третьего типа: слои ровинга, настроенные под углом 40° и по окружности (паутина)

При одноосном растяжении растягивающее усилие в образцах первого и третьего типа было направлено вдоль волокон материала. В образцах первого типа, изготовленных из слоев углеволокнутой ткани, вдоль растягивающего усилия направлено около половины нитей, остальная часть - перпендикулярно к нему. В образцах третьего типа нити расположены следующим образом: часть из них проходит вдоль направления растягивания, часть — по концентрическим окружностям, образуя четырехугольные ячейки.

При воздействии нагрузки на материал, нити в котором расположены под углом 45° к направлению растягивания (образцы второго типа), прочность уменьшается в 10 раз.

Результаты испытаний показали, что наибольшей прочностью на разрыв обладают образцы третьего типа. Среднее арифметическое значение разрушающей нагрузки составляло 40840Н. Наименьшей прочностью на разрыв обладали образцы второго типа, среднее арифметическое значение разрушающей нагрузки которых было 3832Н.

Исходя из полученных данных, при проектировании изделий с повышенными

прочностными свойствами предпочтительней является структура, подобная паутине (образцы третьего типа).

2.2 Исследования влияния геометрического строения нерегулярных текстильных оболочек на их прочностные свойства при статическом проколе

Метод проведения испытаний на статический прокол заключается в определении усилия, необходимого для прохождения плунжера с плоским основанием через материал. Плунжер представляет собой вытеснитель цилиндрической формы, длина которого больше его диаметра [67]. Образец закрепляется между двумя зажимными кольцами с рифленой внутренней поверхностью для предотвращения выскальзывания материала (Рисунок 2.90). Плунжер перемещается с постоянной скоростью [68].

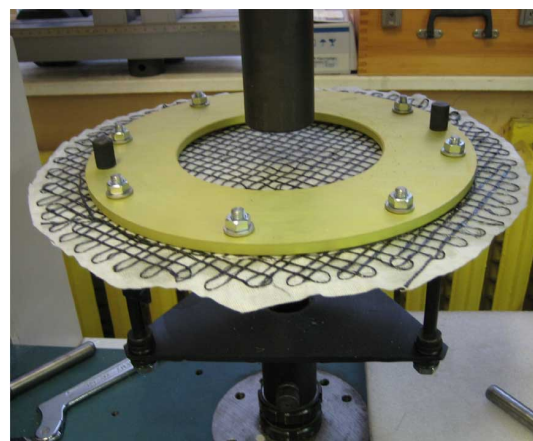
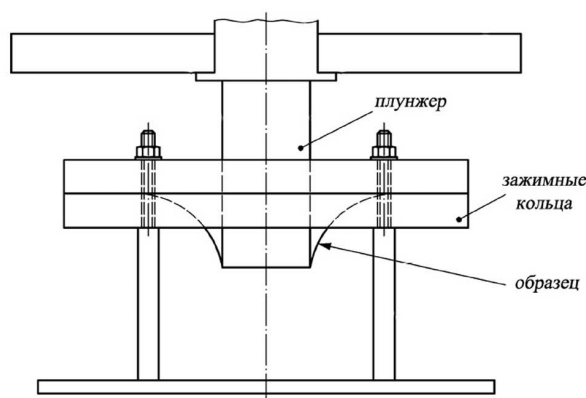


Рисунок 2.43 - Схема испытательной установки для проведения испытаний на статический прокол

Испытания проводились согласно международному стандарту ISO 12236.

2.2.1 Проведение испытаний на статический прокол образцов из углеволоконистых нитей

Для проведения испытаний изготовлены образцы с ортогональным и радиально-кольцевым расположением нитей (структура паутины). При изготовлении образцов использовались углеволоконистая нить и металлические

кольца диаметром 55 мм в качестве каркаса для закрепления и намотки нити. Для образования стабильных ячеек нити завязывались между собой плоскими узлами. Общая длина нитей составляла 300,52мм в образцах с ортогональной структурой и 304мм в образцах со структурой паутины. Количество ячеек в обоих типах образцах было одинаковым и составляло 16 шт.

Испытания проводились на универсальной испытательной машине Tinius Olsen H100KU (Англия).

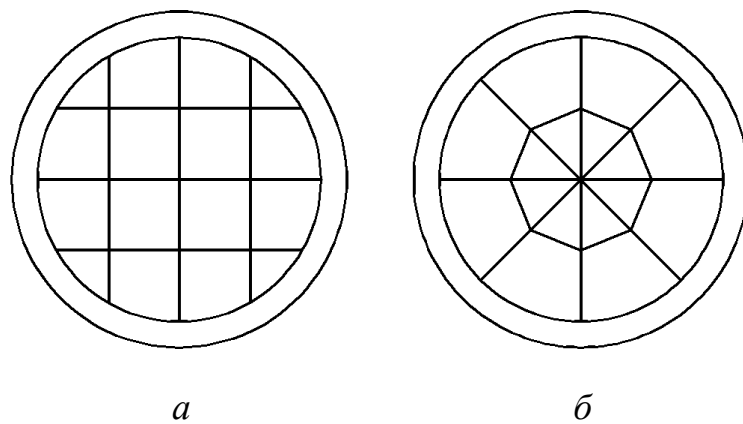


Рисунок 2.44 - Схема образцов для проведения испытаний на продавливание: *а* - ортогональная структура, *б* - структура паутины

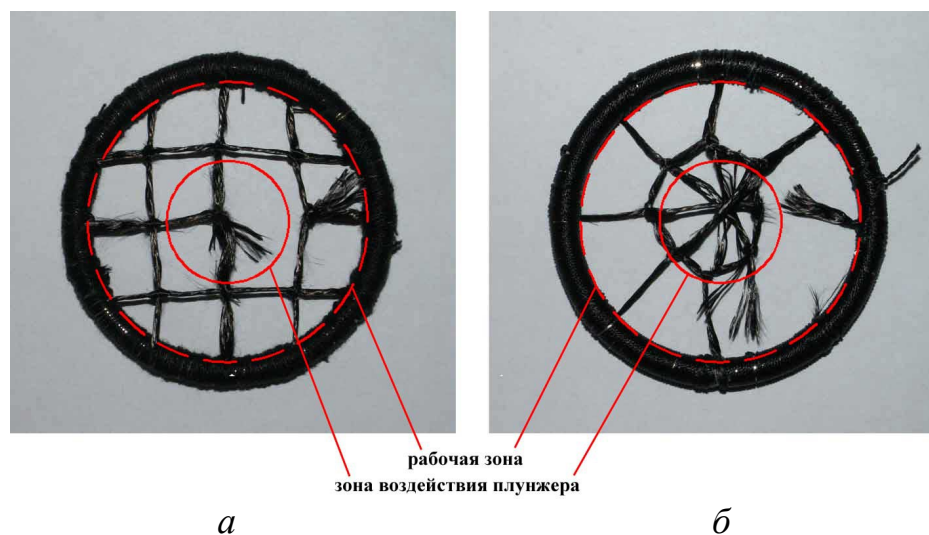


Рисунок 2.45 - Образцы после проведения испытаний: *а* - ортогональная структура; *б* - трапециевидная структура

Прочность образцов со структурой паутины оказалась выше на 73%. Графики испытаний представлены в приложении Б.

2.2.2 Проведение испытаний на статический прокол образцов, изготовленных методом настрачивания армирующих элементов

Для проведения испытаний на статический прокол армированного материала изготавливались образцы из нетканого полотна (флизелина), на который настрачивался углеволоконный ровинг. Испытывались образцы с ортогональной структурой и структурой паутины (Рисунок 2.46). Поверхностная плотность рабочей зоны образцов с ортогональной структурой составляла 12г/м^2 , образцов со структурой паутины - 22г/м^2 .

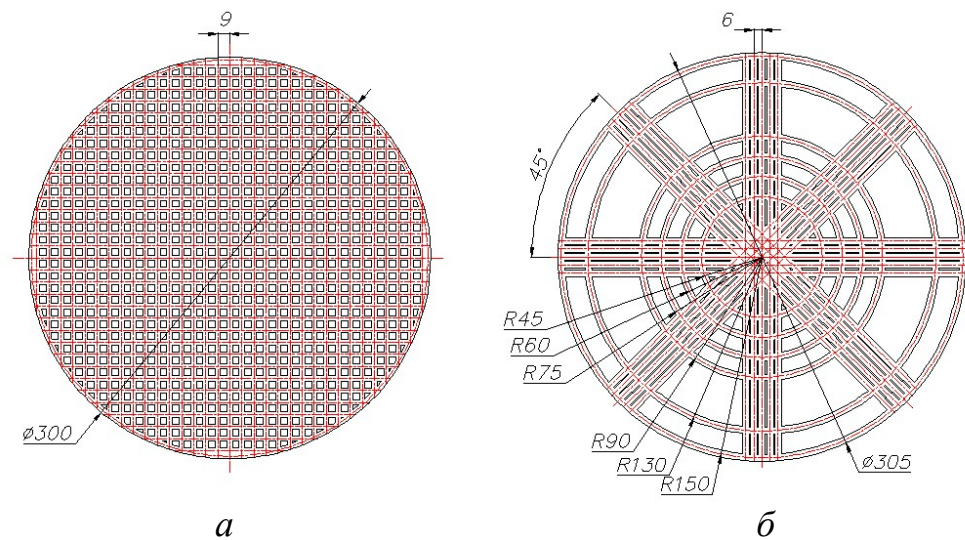


Рисунок 2.46 - Схема образцов для испытаний на продавливание:
а - ортогональная структура, б - структура паутины

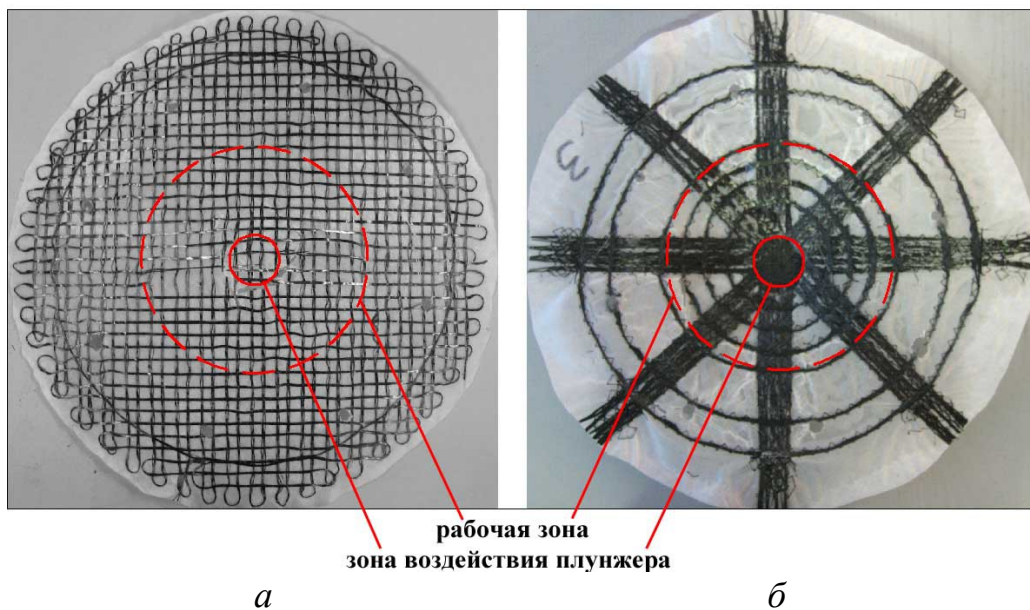


Рисунок 2.47 - Образцы после проведения испытаний:
а - ортогональная структура; б - структура паутины

Разрушающая нагрузка образцов со структурой паутины на 202% превосходила разрушающую нагрузку образцов с ортогональной структурой.

При воздействии продавливающей нагрузки на материал, сопротивление оказывают лишь те нити, на которые непосредственно производится давление. В случае ортогональной структуры материала таких нитей меньше, чем в образцах с радиально-кольцевой структурой. Таким образом, путем перераспределения нитей в структуре материала можно значительно повысить прочностные характеристики оболочки и в то же время избежать увеличения массы изделия.

2.3 Исследование формообразующих свойств текстильных оболочек с нерегулярной структурой

Формообразование оболочек из текстильных материалов основано на изменении геометрических параметров ячеек: углов, длин сторон, а также расстояния между сторонами и изгиба сторон [7]. При проектировании оболочек сложной пространственной формы традиционно используется теория сетей Чебышева, основанная на формообразовании за счет изменения сетевых углов при сохранении равных величин сторон ячеек [6].

Как ведут себя нерегулярные оболочки, геометрические параметры ячеек которых проектируются по принципу строения природных оболочек, при одевании пространственных поверхностей еще не до конца изучено, что подтверждает необходимость исследования процесса формообразования текстильных аналогов природных структур для последующего их проектирования.

2.3.1 Исследование формообразования нерегулярных оболочек из кожи

Для исследования формообразования материалов с нерегулярной структурой изготовлены оболочки с ортогональной структурой и структурами паутины и крыла стрекозы. Образцы изготавливались из искусственной кожи путем выреза структурных ячеек в соответствии с рисунком паутины и крыла стрекозы. Макеты накладывались на сферическую поверхность и фиксировались на ней булавками.

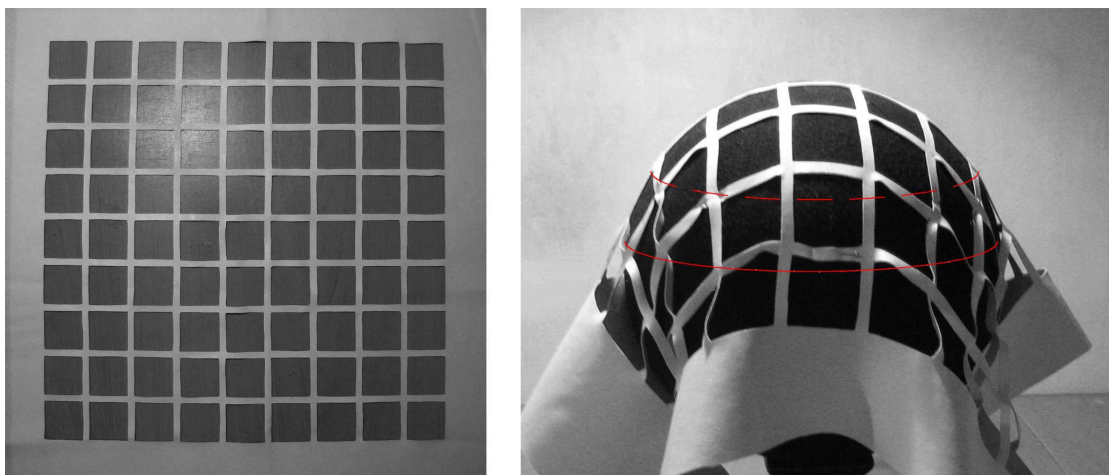
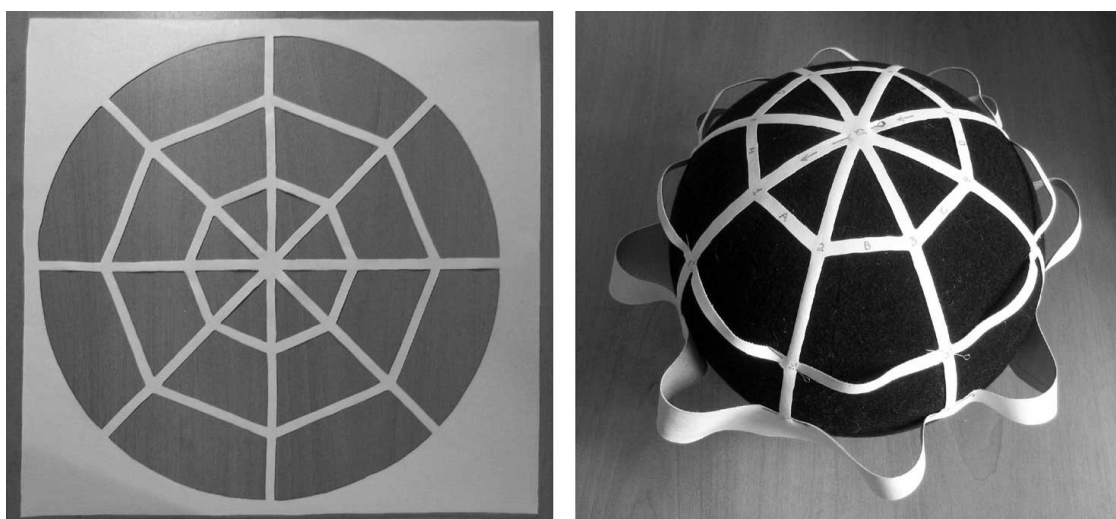
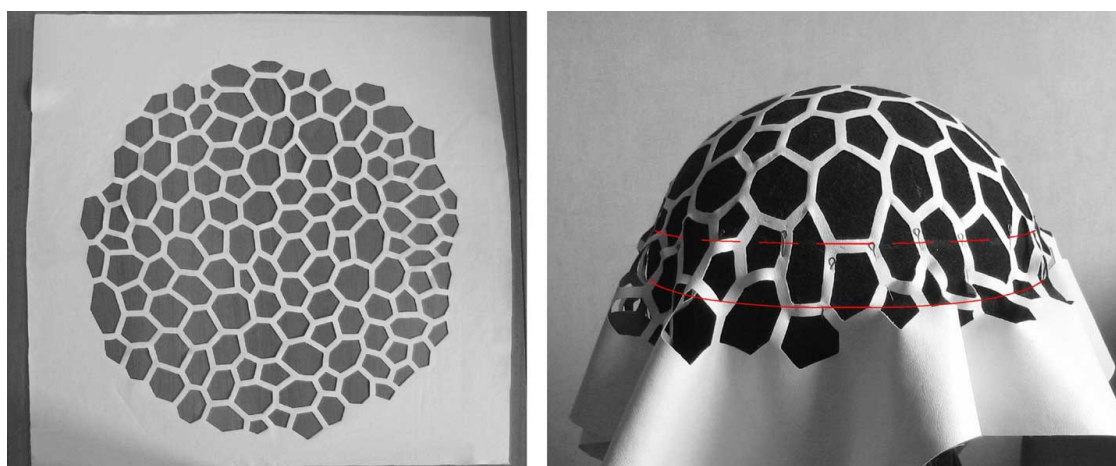


Рисунок 2.48 - Макет оболочки с ортогональной структурой



а



б

Рисунок 2.49 - Макеты аналогов природных оболочек на плоскости и на сфере:
а - структура паутины; *б* - структура крыла стрекозы

Макеты оболочек не полностью повторяли поверхность полусферы. Макет оболочки с ортогональной структурой облегал заданную форму лишь на 63% длины образующей. В случае с оболочкой, изготовленной в соответствии с рисунком паутины, полное прилегание было лишь в области полюса. Оболочка со структурой крыла стрекозы достаточно плотно облегла лишь около 84% от всей полусферической поверхности. Изменения сетевых углов после одевания оболочки на сферическую поверхность колебались в пределах от 0° до 46° от начального значения углов. Наибольшие изменения в сетевых углах, ведущие к образованию складок и растягиванию сторон ячеек, сосредоточены на периферии оболочки, ближе к экватору сферической поверхности (Рисунок 2.50).

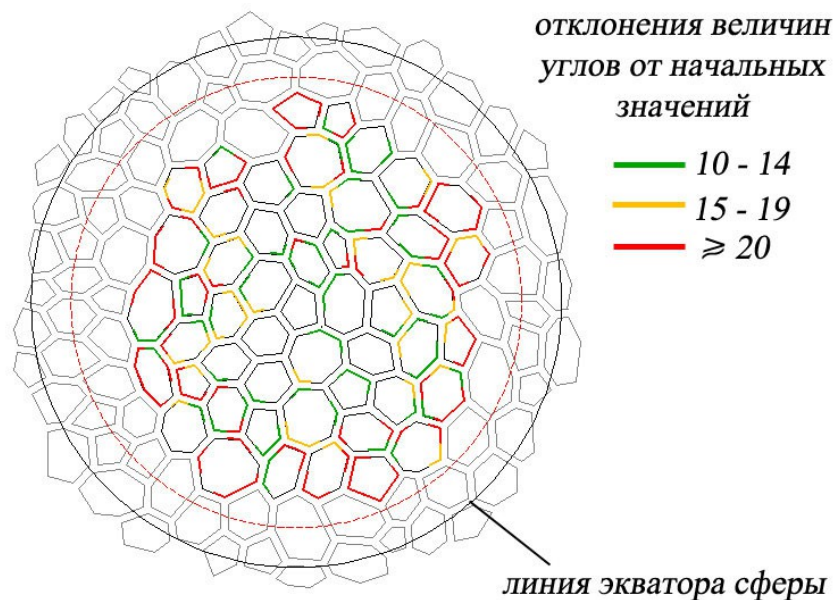


Рисунок 2.50 - Распределение отклонений величин сетевых углов при одевании оболочки на сферическую поверхность

Добиться более полного повторения оболочкой облегаемой поверхности можно путем проектирования ячеек с изогнутыми сторонами, которые при наложении оболочки на поверхность вращения выпрямляются (Рисунок 2.51). Методы проектирования оболочек со структурой, отличной от структуры традиционных материалов, применяемых в текстильной промышленности, рассматривается в работе [2].

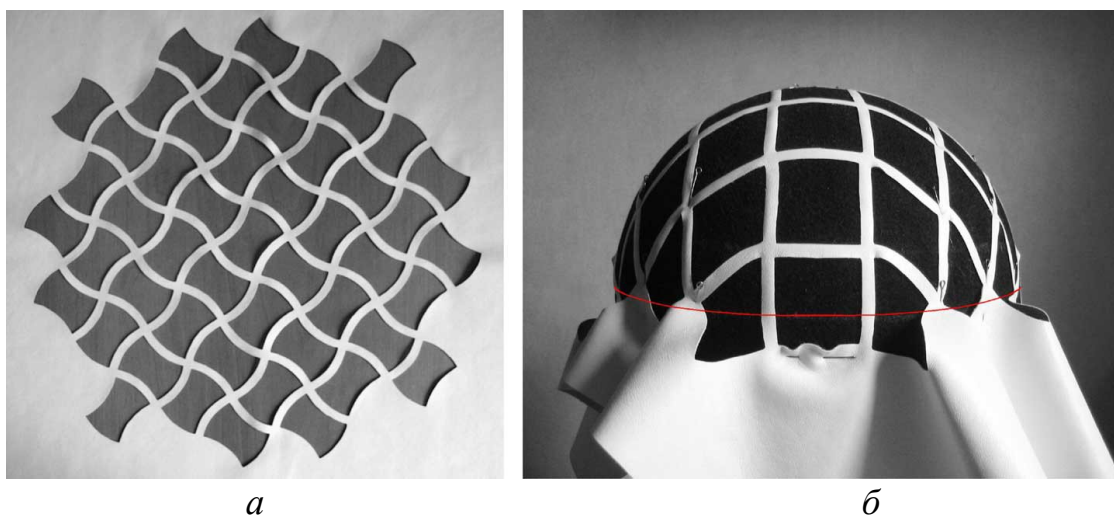


Рисунок 2.51 - Формообразование оболочки с изогнутыми в плоскости сторонами ячеек: *a* - оболочка на плоскости; *б* — оболочка, закрепленная на полусферической поверхности

Разная степень облегания сферической формы макетами оболочек с различной структурой обусловлена различиями в размере, сетевых углах, искривлении сторон ячеек. Путем изменения геометрии ячеек возможно улучшить формообразующие свойства оболочки.

Результаты данного исследования подтверждают необходимость дальнейших разработок методов проектирования и изготовления оболочек, формообразование которых происходит за счет изгиба сторон ячеек.

2.3.2 Исследование влияния количества слоев и способа фиксации армирующих элементов на формообразование оболочек

Объектом предыдущих исследований были однослойные оболочки. На данном этапе исследования использовались ткани и материалы, используемые при изготовлении технических изделий из композитов, так как они имеют лучшую формообразующую способность. Кроме угле- и стекловолокнистых тканей полотняного, саржевого и сатинового переплетений, при изготовлении композиционных изделий используются мультиаксиальные прошивные полотна (non-crimp fabrics), которые представляют собой слои параллельных армирующих ровингов, скрепленных между собой ниточным соединением. Слои ровинга могут скрепляться методом основного или уточного вязания, а также методом

ткачества [69]. Строение прошивных полотен, в зависимости от метода изготовления, может быть достаточно разнообразным. В данных исследованиях использовались прошивные полотна, полученные на мультиаксиальной основовязальной машине с введением утка между проколами иглы.

Основовязанные прошивные полотна получают на мультиаксиальных основовязальных машинах (Рисунок 2.52). За счет отсутствия переплетения слоев между собой ровинги сохраняют способность смещаться друг относительно друга, что приводит к лучшей формообразующей способности, чем в традиционных тканях. На формообразующую способность прошивных полотен влияет также и система введения утка. Расположение уточных волокон в полотне может либо соответствовать петельным рядам, либо нет (Рисунок 2.53) [69].

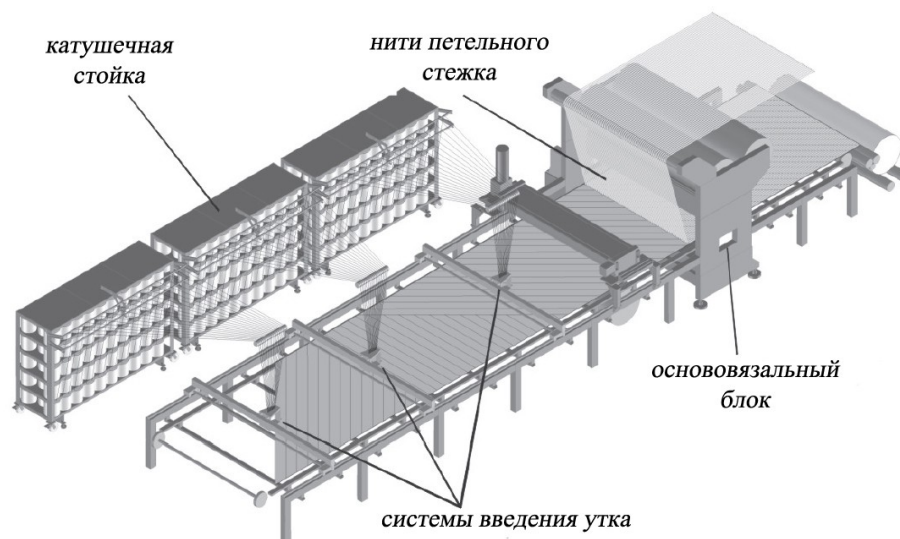


Рисунок 2.52 - Мультиаксиальная основовязальная машина

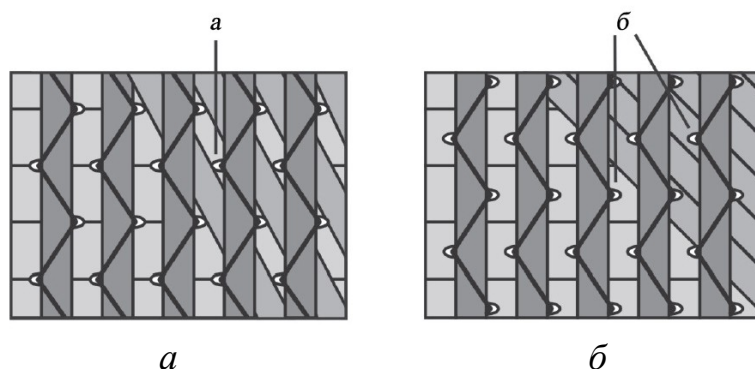
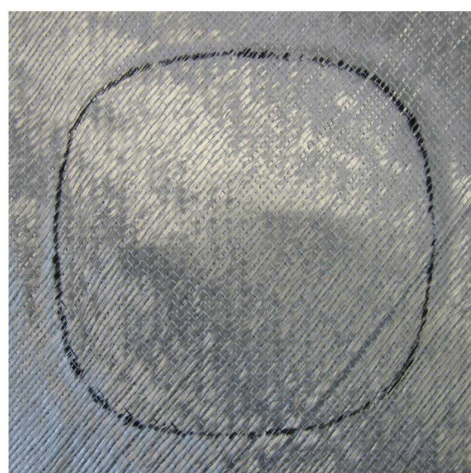
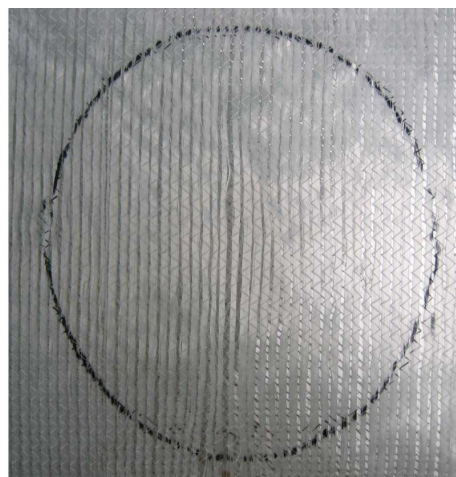
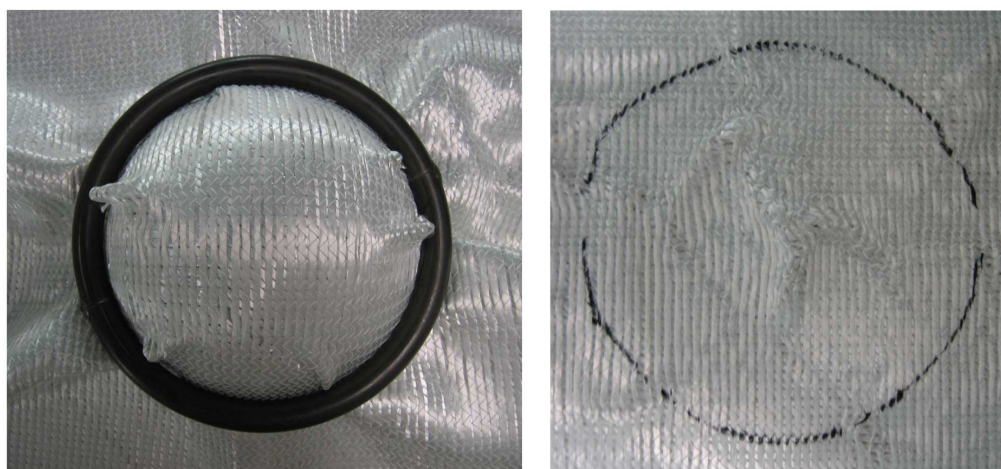


Рисунок 2.53 - Введение утка:

а - соответствующее петельным рядам; *б* - не соответствующее

Исследовалось влияние количества слоев и метода фиксации армирующих нитей на формообразующую способность прошивных полотен. Количество слоев в образцах было 2, 3 и 4. Ориентация ровинга: $+45^\circ$, -45° ; 0° , $+45^\circ$, -45° ; 0° , $+45^\circ$, -45° , 90° соответственно. Образцы прошивного полотна накладывались на полусферическую поверхность и фиксировались металлическим кольцом. Для определения положения ровинга в материале маркером проводилась линия по контуру фиксирующего кольца, в результате чего получались контуры разверток. Как видно из рисунка 2.54, при увеличении количества слоев ухудшается способность ровинга двигаться относительно друг друга. Кроме того, материал состоящий из четырех слоев теряет способность возвращаться в исходное состояние после снятия с объемной формы (Рисунок 2.54в).

*a**б*



6

Рисунок 2.54 - Прошивной материал на полусферической поверхности и получившиеся контуры разверток после снятия:

a - двухслойный материал ($S = 27932,95\text{мм}^2$); *б* - трехслойный ($S = 26694,29\text{мм}^2$); *в* - четырехслойный ($S = 28005,43\text{мм}^2$).

Кроме того, на формообразующую способность прошивных полотен влияет способ их армирования. При армировании клеевым способом теряется способность ровинга перемещаться в плоскости материала, что приводит к образованию нежелательных складок, тогда как при армировании ниточным способом данная способность сохраняется (Рисунок 2.55).

Проведен качественный анализ формообразующих свойств прошивных материалов с различным количеством слоев (Таблица 2.3).

Таблица 2.3 - Качественный анализ формообразующих свойств прошивных материалов

Количество слоев и ориентация нитей	Форма контуров развертки	Изменения в структуре при формообразовании	Восстановление
2 слоя (+45°; -45°)	Квадратная с закругленными углами	Изменения плотности	Полное
3 слоя (+45°; -45°; 90°)	Овальная	Изменения плотности, образование петель	Полное
4 слоя (0°; +45°; -45°; 90°)	Круглая	Изменения плотности, образование складок	Частичное

По результатам анализа выявлено, что при проектировании изделий из прошивных материалов следует учитывать степень облегания заданной формы материалом, сохранение плотности оболочки при облегании, площадь развертки оболочки.

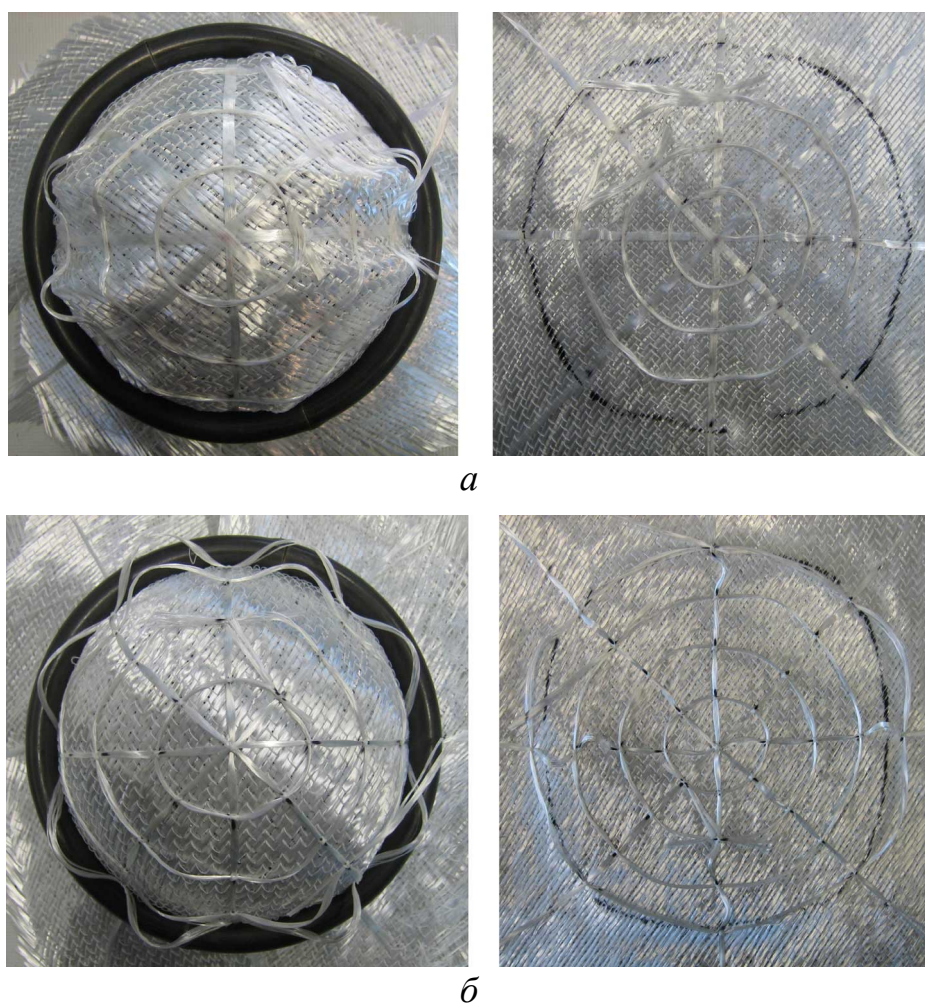


Рисунок 2.55 - Способы фиксации армирующих элементов:
а - клеевой ($S = 45417,73\text{мм}^2$), *б* - ниточный ($S = 36540,61\text{мм}^2$)

Проведенные исследования позволяют определить оптимальный способ армирования и количество слоев ткани, необходимые для изготовления оболочек с формообразующими свойствами, отвечающими предъявляемым к изделию требованиям.

Выводы

1. Результаты испытаний на одноосное растяжение образцов с нерегулярной структурой, выполненных в соответствии с геометрическим строением природных оболочек, показали, что, в отличие от ортогональных и сотовых структур, они обладают более равномерной прочностью в разных направлениях. Следовательно, такую структуру можно использовать при проектировании текстильных материалов с изотропными свойствами.

2. Проведенные испытания на статический прокол образцов с ортогональной, радиально-кольцевой и нерегулярной структурами показали, что неравномерное армирование улучшает физико-механические свойства материала при равных массе и размерах. Полученные результаты целесообразно использовать при проектировании оболочек повышенной прочности с нерегулярной структурой.

3. Исследован процесс формообразования текстильных оболочек с прямыми и изогнутыми сторонами ячеек. Установлено, что материал с изогнутыми сторонами ячеек обладает более высокой формообразующей способностью. Результаты исследования процесса формообразования целесообразно использовать при разработке текстильных материалов с повышенной формообразующей способностью.

4. Исследован процесс формообразования многослойных прошивных полотен из однонаправленных волокон. Установлена зависимость формообразующих свойств от многослойности материала.

3 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБОЛОЧЕК ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ БЫТОВОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СТРУКТУР

Текстильные материалы, применяемые в настоящее время для армирования и изготовления оболочек швейных изделий имеют регулярную структуру, в следствие чего обладают равномерным распределением свойств. Изменение свойств изделия на определенных участках в соответствии с проектом достигается за счет введения усилительных элементов, изменения плотности ткани и т.д., требующих дополнительных технологических операций.

Проектирование оболочек с заданным зональным распределением свойств предоставляет возможности сокращения материало- и трудоемкости изготовления швейных оболочек. Применение в этих целях природных армированных оболочек представляет интерес, так как они совмещают высокие показатели прочности и гибкости, за счет наличия в структуре разных по величине и форме ячеек. Конструкции, встречающиеся в природе являются примером оптимального использования ограниченного количества материала. Как показал анализ, проведенный в 1 главе, плоская круговая паутина покрывает наибольшую площадь при ограниченном количестве материала, обладая при этом достаточным запасом прочности, чтобы останавливать и удерживать попавшееся в сеть насекомое. Деревья представляют собой природные конструкции, в которых заполнен большой объем пространства при минимальных затратах строительных материалов. Тот же принцип использован и в листьях растений.

Проектирование оболочек швейных изделий с нерегулярной структурой позволит сочетать высокие прочностные показатели при рациональном использовании материала.

3.1 Разработка метода проектирования швейных изделий с требуемыми эксплуатационными свойствами

Исходя из анализа целевого назначения объекта проектирования, выявлены наиболее значимые требования, предъявляемые к проектируемому объекту.

Изделие должно сохранять целостность и форму при различных физических и механических воздействиях, соответствовать заданным показателям нагрузки при разрыве и формовочной способности, обладать повышенными прочностными свойствами для отдельных деталей и выделенных зон; полностью соответствовать заданной форме без образования складок и обеспечивать условия для обеспечения формоустойчивости.

Производство изделия должно быть ресурсосберегающим. Использование геометрических особенностей строения природных нерегулярных оболочек позволит рационально использовать материалы, сохраняя при этом высокие прочностные показатели. Снизить трудоемкость можно путем проектирования плоской оболочки в соответствии с формой готового пространственного изделия, сократив таким образом число технологических операций и время на его формование.

Разработан метод проектирования швейных изделий по принципу строения природных армированных оболочек, представленный в виде структурной схемы (Рисунок. 3.56), отражающей последовательность выполнения проектных процедур.

В дополнение к традиционным разработаны новые процедуры: выбор природного аналога, расчет схем армирования оболочек, выбор способа изготовления оболочки.

Выбор природного аналога зависит от формы и назначения готового изделия. При проектировании изделий круговой или сферической формы целесообразно использовать радиально-кольцевое расположение армирующих элементов, так как такое распределение увеличивает сопротивление радиальным нагрузкам. Схему

армирования со структурой паутины можно использовать в области локтевых и коленных суставов, что сделает эти участки более прочными и формоустойчивыми в одежде спортивного и специального назначения. В технических изделиях такая схема армирования может применяться при изготовлении шлифовальных кругов, обтекателей летательных аппаратов, куполов архитектурных сооружений, делая конструкции более прочными и легкими.

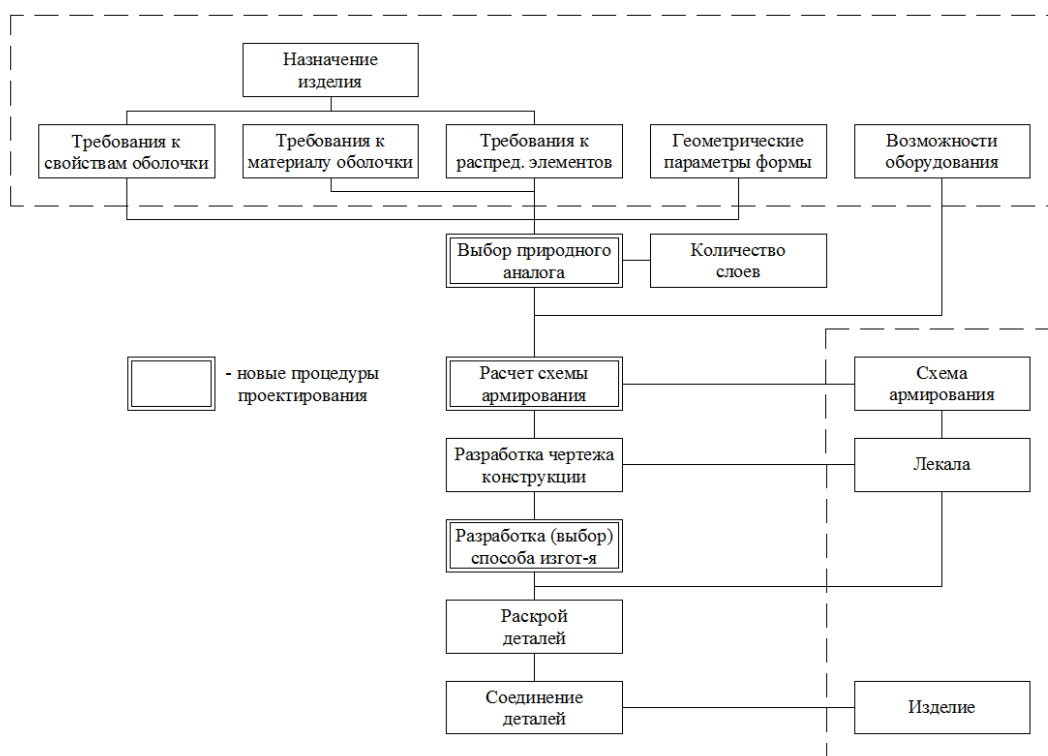


Рисунок 3.56 - Структурная схема процесса проектирования швейного изделия с нерегулярной структурой

Проектирование швейных изделий с расположением армирующих элементов в соответствии с рисунком крыла стрекозы позволяет распределить прочностные и формообразующие свойства на требуемых участках изделия.

В соответствии с назначением изделия предъявляются требования к свойствам: изделие должно обладать прочностью на одних участках и гибкостью на других, т.е. обеспечивать зональное распределение формообразующих свойств. Это достигается путем изменения плотности расположения армирующих элементов — круговых и радиальных нитей в оболочке с армирующей структурой паутины и структурных ячеек в оболочке со структурой крыла стрекозы.

С целью исследования влияния геометрических признаков выбранного природного аналога проводят испытания опытных образцов или используют базы данных проведенных ранее испытаний.

Кроме того, при выборе природного аналога необходимо учитывать возможность и технологичность изготовления изделия с выбранной структурой из текстильного материала. Например, проектирование ячеек с некорректным типом соединения, длинами сторон меньше 5 мм, незамкнутых ячеек может быть технологически невыгодным.

3.2 Разработка схем армирования оболочек швейных изделий в соответствии с геометрическими особенностями природных структур

Результаты исследований формообразования нерегулярных оболочек, представленные во второй главе, подтверждают необходимость дальнейших разработок конструкций, принимающих требуемую форму за счет изгиба сторон ячеек, так как появляется возможность сокращения затрат материала и времени на изготовление, повышения точности и качества получаемого изделия.

Добиться отсутствия складок можно путем проектирования усилительных элементов оболочки с учетом геометрических параметров готового изделия, а также использования материалов с хорошими драпирующими свойствами в качестве основы.

3.2.1 Разработка схем армирования оболочек по принципу строения паутины

Структуры, подобные паутине состоят из двух систем нитей - радиальной и круговой. Расположение и плотность нитей, способ соединения оказывает влияние на прочностные и формоустойчивые свойства оболочки [15].

Принцип формообразования двумерных армированных структур, способных принимать заданную трехмерную форму, основан на изгибе сторон ячеек. При проектировании оболочек с такой структурой учитываются геометрические параметры готового изделия, что позволяет создать двумерную оболочку, в

точности принимающую заданную пространственную форму. На рисунке 3.62 представлен чертеж конструкции сферической нерегулярной оболочки, изготовленной с учетом параметров пространственной формы.

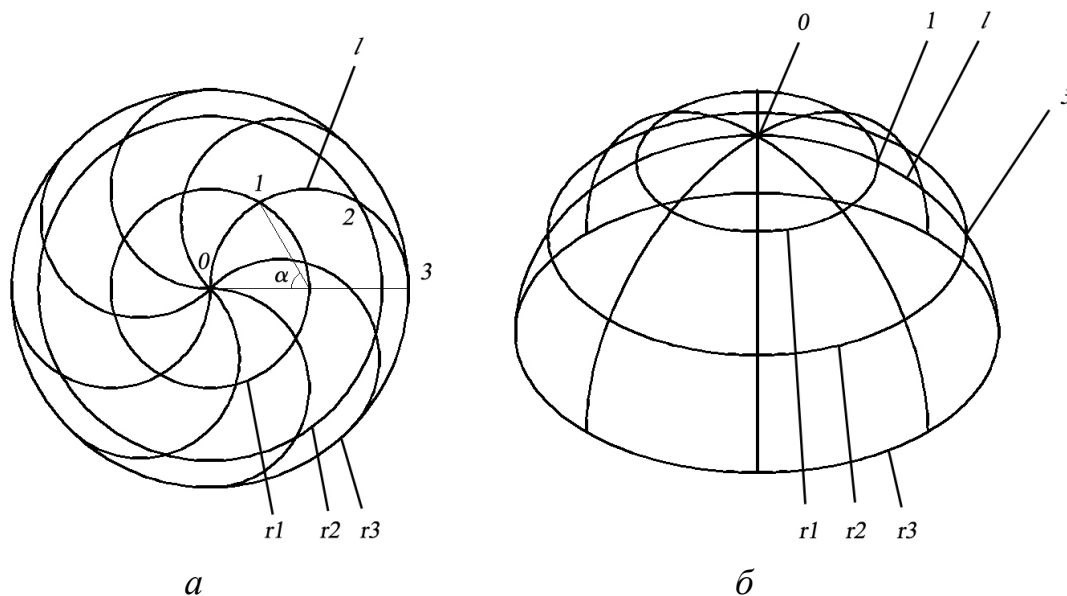


Рисунок 3.57 - Структура полусферической оболочки:
а - двухмерная форма; б - трехмерная форма

Форма готового изделия представляет собой полусферическую поверхность диаметром 150мм. Как показал анализ, проведенный в 1 и 2 главах, конструкция с радиально-кольцевым расположением элементов усиления наиболее полно соответствует предъявляемым к изделию требованиям.

Исходная информация для проектирования конструкции

Таблица 3.4 - Геометрические параметры готового изделия

Наименование	Значение
1	2
Радиус полусферы, R	75 мм
Плотность распределения элементов	Равномерное распределение радиальных и кольцевых элементов
Кол-во радиальных элементов, m	8
Кол-во кольцевых элементов, n	3

Расчёт и построение чертежа конструкции

Таблица 3.5 – Расчёт конструкции

Обозначение	Расчётная формула	Величина
1	2	3
0-3	$l = \frac{\pi R}{2}$	117,81мм
α	$\alpha = 180/m$	60°
r_1	$r_n = 2r_o \sin\left(\frac{\alpha n}{2}\right)$	37,5мм
r_2		64,95мм
r_3		75мм

На рисунке на плоской и пространственной форме одноименные элементы структуры равны. Отрезки дуги 1 0-1, 1-2 и 2-3 равны между собой. Длина дуги l , проходящая от центральной точки 0 до точки на большей окружности 3 равна 1/4 образующей полусферы:

$$l = \frac{\pi R}{2} \quad (3.9),$$

где R - радиус полусферы.

Радиус дуги r_o составляет половину от радиуса полусферы R .

В данном случае распределение окружностей в оболочке равномерное. Радиусы окружностей r_n вычисляются по формуле:

$$r_n = 2r_o \sin\left(\frac{\alpha n}{2}\right) \quad (3.10),$$

где r_n - радиус n -ой окружности, r_o - радиус дуги, α - центральный угол сегмента, n - номер окружности, считая от ближней к центральной точке.

Для удобства расчета оболочек с различным количеством окружностей разработан алгоритм в Microsoft Excel, требующий от пользователя введения значений радиуса полусферической оболочки и количества окружностей. Алгоритм разработан с учетом применения на последующих этапах проектирования AutoCAD и программного обеспечения EPCWin для ZSK.

По полученным значениям был построен чертеж в программе AutoCAD, перенесен в EPCWin для задания параметров строчки и затем изготовлен макет на

вышивальной машине ZSK. Более подробно о технологии изготовления армированных оболочек на ZSK рассказано в главе 4.

При помощи разработанной методики и алгоритма расчета были получены чертежи армирующих структур для цифрового исследования формообразующей способности, описанного в главе 2.

В зависимости от предъявляемых к оболочке требований, плотность армирующих элементов, их расположение может варьироваться.

В случае, если требуется получить строго определенное расстояние от центра оболочки до первой окружности или расстояния между окружностями, радиусы окружностей вычисляются по формуле:

$$r_n = 2r_0 \sin\left(\frac{l_n}{2r_0}\right) \quad (3.11),$$

где r_n - радиус n-ой окружности, r_0 - радиус дуги, l_n - длина отрезка дуги, соответствующая вычисляемому радиусу окружности.

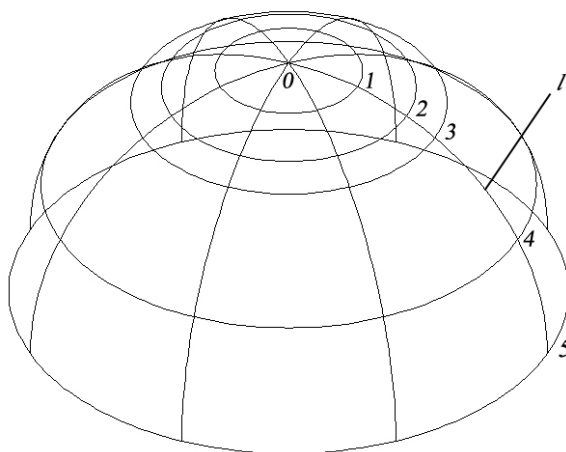


Рисунок 3.58 - Структура полусферической оболочки с заданными значениями расстояний между секущими окружностями

На рисунке 3.98 длины отрезков 0-1, 1-2, 2-3 равны 40мм, 30мм, 20мм соответственно.

Распределение секущих окружностей можно получить в процентном соотношении. Так как на разных участках конструкций полусферических форм

действуют растяжение и сжатие, возникает необходимость проектирования оболочек с различной плотностью распределения структурных элементов [63].



Рисунок 3.59 - Сжатие и растяжение в полусферической оболочке

На рисунке 3.60 изображена схема оболочки с более плотным распределением секущих окружностей в верхней части в процентном соотношении 30 к 70.

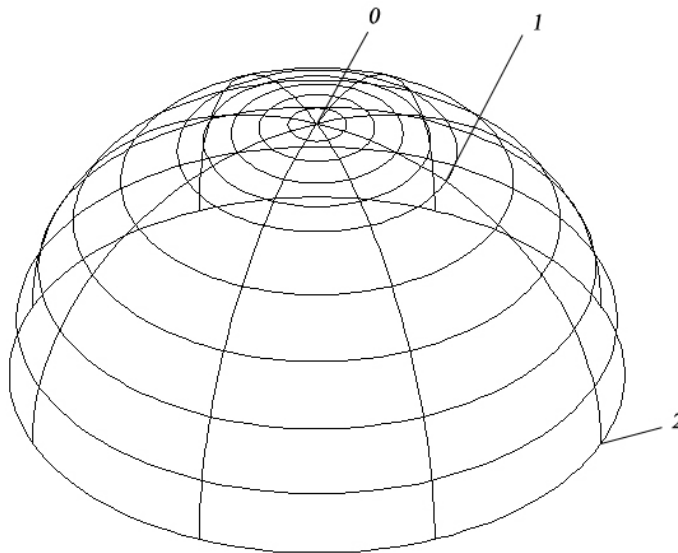


Рисунок 3.60 - Схема полусферической оболочки

Распределение радиальных нитей нитей также может быть различным. На рисунке 3.61 показана схема полусферической оболочки с увеличенной плотностью радиальных нитей.

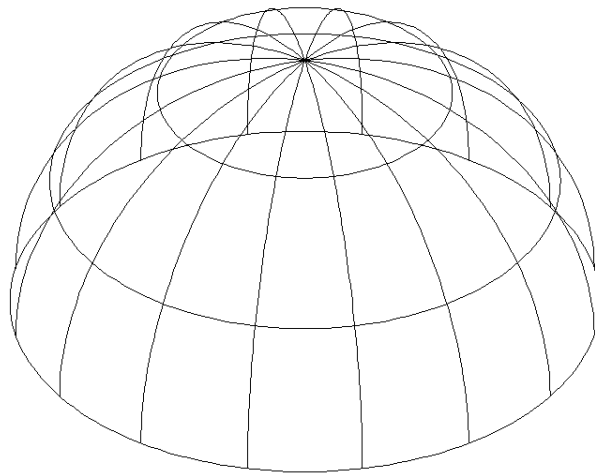


Рисунок 3.61. Схема оболочки с увеличенной плотностью радиальных нитей

Разработана структура конусной оболочки (Рисунок 3.62), а также алгоритм ее расчета в Microsoft Excel. Для расчета оболочки конуса необходимо указать ее радиус и высоту или угол между образующей l_k и основанием.

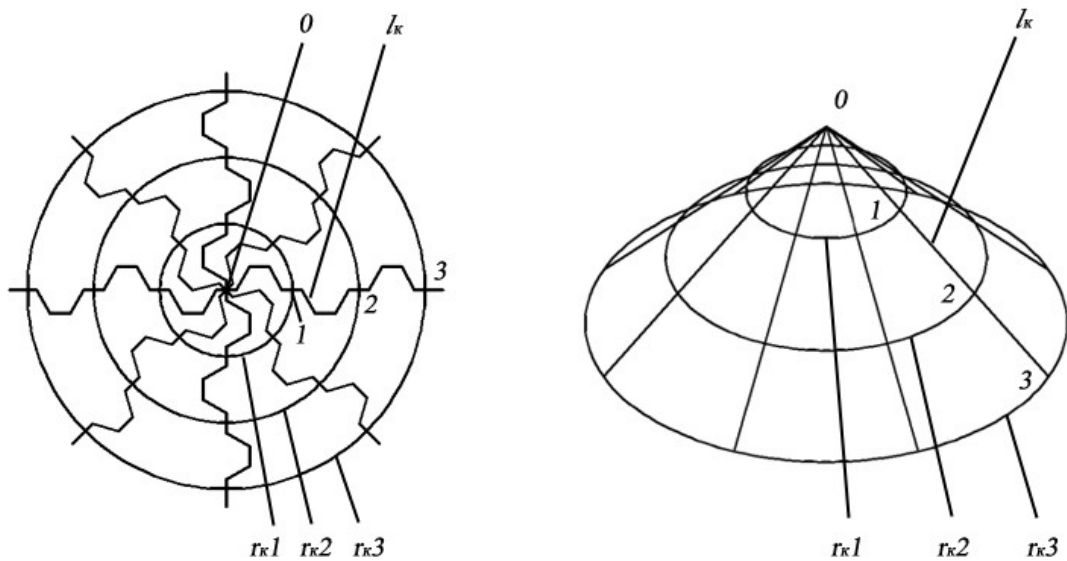


Рисунок 3.62- Структура конусной оболочки

Так же, как и в случае с полусферической оболочкой, длины ломаных отрезков конуса равны в плоской и пространственной формах. Длина образующей l_k , в зависимости от исходной информации, равна:

$$l_k = \sqrt{H^2 + R^2} \quad (3.12),$$

где l_k - длина образующей конуса, H - высота конуса, R - радиус основания конуса;

или

$$l_k = \sqrt{(R \operatorname{tg} \alpha)^2 + R^2} \quad (3.13),$$

где α - угол между образующей l_k и основанием конуса.

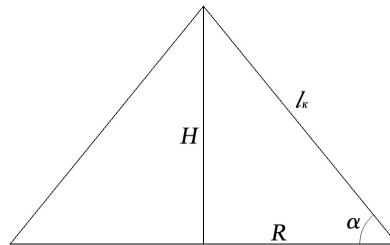


Рисунок 3.63 - Геометрические параметры, необходимые для расчета конусной оболочки.

Радиус секущих окружностей конуса r_n равен:

$$r_n = \frac{R}{m} n \quad (3.14),$$

где r_n - радиус n -й окружности, считая от ближайшего к центральной точке, R - радиус основания конуса, m - количество радиусов, n - номер окружности.

Исходная информация для проектирования конструкции

Таблица 3.6 - Геометрические параметры готового изделия

Наименование	Значение
1	2
Радиус основания конуса, R	75 мм
Высота конуса, H	100 мм
Плотность распределения элементов	Равномерное распределение радиальных и кольцевых элементов
Количество радиальных элементов, m	8
Количество кольцевых элементов, n	3
Длина заковки, a	5мм

Расчёт и построение чертежа конструкции

Таблица 3.7 – Расчёт конструкции

Обозначение	Расчётная формула	Величина
1	2	3
0-3	$l_k = \sqrt{H^2 + R^2}$	125мм
$L_0(0-1, 1-2, 2-3)$	$L_o = l/n$	41,67мм
l_0	$l_0 = (L/n - 2a)/2$	15,83мм
l	$l = (r_1 - 2a)/2$	7,50мм
h_n	$h_n = \sqrt{l_0^2 - l^2}$	13,94мм
r_1	$r_n = \frac{R}{m} n$	25мм
r_2		50мм
r_3		75мм

Руководствуясь данными принципами можно разработать схему армирования для любой пространственной поверхности.

3.2.2 Разработка схем армирования оболочек по принципу строения крыла стрекозы

Наибольшие перспективы для автоматизации построения схем армирования в соответствии с особенностями строения крыла стрекозы представляет принцип построения диаграммы Вороного.

Диаграмма Вороного конечного множества точек P на плоскости представляет такое разбиение плоскости, при котором каждая область этого разбиения образует множество точек, более близких к одному из элементов множества P , чем к любому другому элементу множества.

Диаграмму Вороного можно получить в таких программах, как Grapher, MATLAB, Mathematica, однако все они требуют базовых знаний работы в ПО. Для построения диаграмм в указанном ПО необходимо знать координаты точек, по которым будет производиться построение.

Помимо специализированного ПО существуют интерактивные онлайн-алгоритмы построения диаграмм Вороного. В них есть возможность построения как по произвольному набору точек (указываются щелчком мыши), так и по точкам, имеющим заданные координаты x и y .

Специализированное ПО значительно сокращает время, требуемое для построения диаграммы Вороного и может применяться при проектировании швейных изделий с армированием или декорированием, подобным рисунку крыла стрекозы наравне с существующими САПР.

3.3 Разработка алгоритма построения схем армирования оболочек

Разработана структурно-логическая схема получения оболочки с нерегулярной структурой для изготовления на вышивальной машине (Рисунок 3.64)

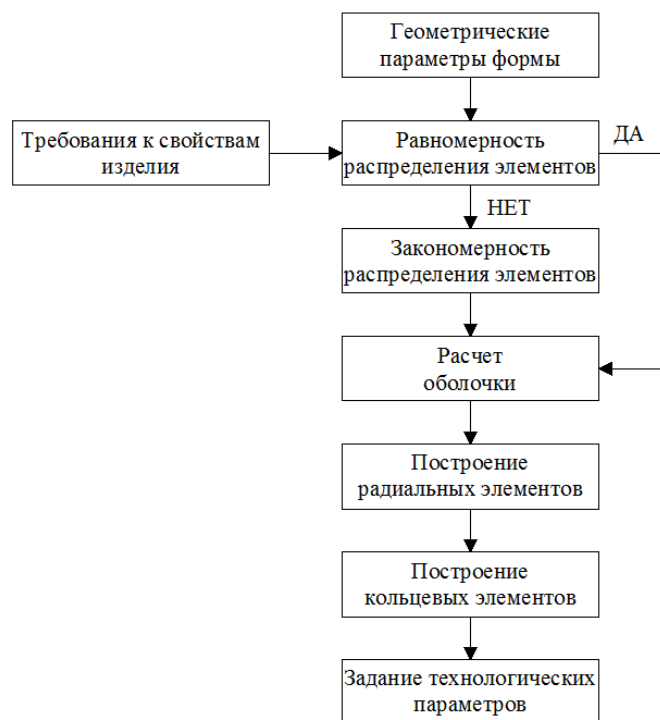


Рисунок 3.64 - Структурно-логическая схема получения оболочки с радиально-кольцевой структурой

На первом этапе необходимо определиться с формой и геометрическими параметрами готового изделия. В случае с пространственной оболочкой с радиально-круговой структурой необходимо описание поверхности готового изделия (армируемой формы) аналитическими способами. Исходя из требований, предъявляемых к эксплуатационным свойствам оболочки, формируются

требования к структуре оболочки: плотности и равномерности распределения структурных элементов.

На следующем этапе производится расчет геометрических параметров оболочки. Строится чертеж в графическом редакторе, совместимом с программным обеспечением вышивальной машины.

Готовый чертеж передается в программное обеспечение, задаются параметры строчек, обрезка нити, остановки в процессе вышивки, если необходимо и т.д. Выполняется вышивка.

Разработана структурно-логическая схема получения оболочки со структурой, подобной рисунку жилкования крыла стрекозы (Рисунок 3.65).

На первом этапе определяются геометрические параметры изделия, требуемые эксплуатационные свойства. Задаются области с различным распределением ячеек.

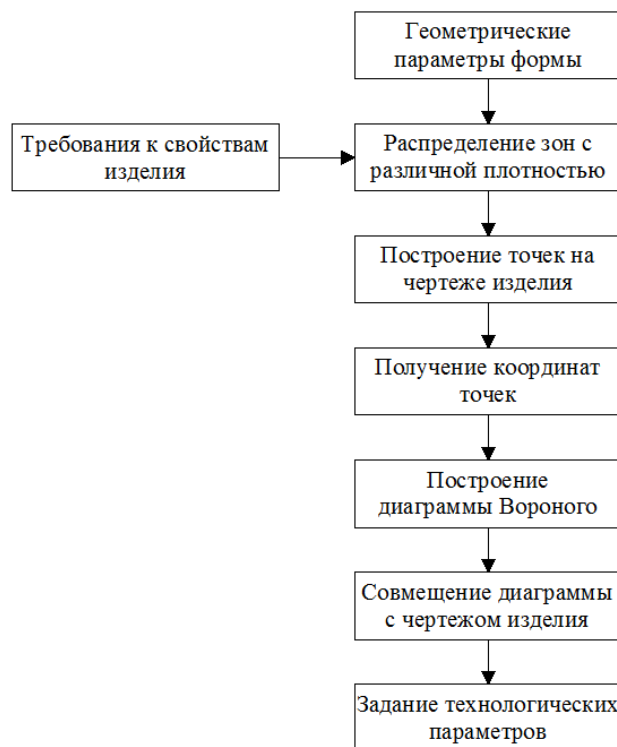


Рисунок 3.65 - Структурно-логическая схема получения оболочки со структурой, подобной рисунку жилкования крыла стрекозы.

Далее для построения диаграммы наносятся точки и вычисляются их координаты. По полученным координатам строится диаграмма.

В данной работе при построении диаграммы Вороного на чертеже изделия использовались средства AutoCAD с пакетом инструментов Raster Design, MS Excel и MATLAB. На чертеж изделия, построенный в AutoCAD, наносились точки в соответствии с требованиями, предъявляемыми к изделию. Координаты поставленных точек, полученные в формате таблицы MS Excel, импортировались в MATLAB. Далее по координатам точек строилась диаграмма Вороного и накладывалась на чертеж изделия в AutoCAD. Диаграмма, полученная в MATLAB, является растровым изображением, которое, при необходимости редактирования расположения армирующих элементов, следует перевести в векторное посредством AutoCAD Raster Design.

Для построения диаграммы Вороного на чертеже изделия средствами AutoCAD требуется разработка алгоритмов построения в среде программирования AutoLisp.

Выводы

1. Разработан метод проектирования швейных изделий по принципу строения природных оболочек с учетом геометрических параметров готового изделия, позволяющий получить оболочку, одевающую заданную поверхность без образования складок

2. Разработан метод проектирования оболочек с нерегулярной структурой с требуемыми эксплуатационными свойствами позволяющий получать армированную оболочку с локальным распределением прочностных и формообразующих свойств

3. На основе метода разработана схема проектирования оболочки специального назначения с нерегулярной структурой.

4. Составлены алгоритмы для изготовления оболочек: с радиально-круговой структурой и структурой, подобной рисунку жилкования крыла стрекозы.

4 РАЗРАБОТКА СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕРЕГУЛЯРНЫХ АРМИРОВАННЫХ ОБОЛОЧЕК В СООТВЕТСТВИИ СО СТРОЕНИЕМ ПРИРОДНЫХ СТРУКТУР

4.1 Разработка способа изготовления армированных оболочек с нерегулярной структурой

Выбор способа изготовления в настоящее время осуществляется между способами плетения, вязания, вырезания структурных ячеек, автоматизированной вышивки.

Перевивочное переплетение позволяет избежать ненужных узлов и утолщений, ухудшающих прочностные свойства изделия.

Изготовлен макет оболочки со структурой крыла стрекозы (Рисунок 4.67). Макет изготавливался из трикотажного сетчатого полотна. Нитками делались стежки длиной 3-5 мм в соответствии с рисунком крыла стрекозы. Контуры армирующих ячеек образовывались последовательно двумя нитями, которые переплетались между собой. Направление следующей нити (второй) преимущественно отличалось от направления предыдущей (первой) при переходе к образованию следующей ячейки (Рисунок 4.66).

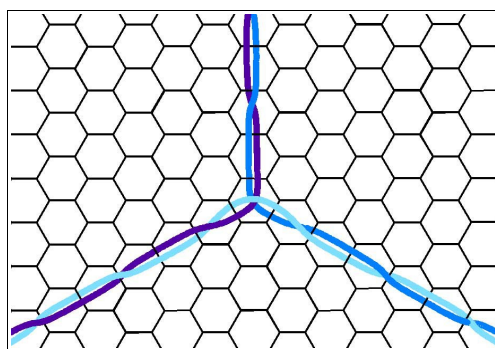


Рисунок 4.66 - Схема переплетения нитей в оболочке

Макет, изготовленный таким способом, хорошо держит заданную форму после снятия оболочки с манекена. Операция армирования может быть выполнена на вышивальной машине.

Недостатком данного способа является излишнее напряжение в процессе переплетения при использовании углеволокнутого ровинга, в следствие чего конструкция получается нестабильной и нуждается в фиксации как на стадии плетения, так и на стадии формования.



Рисунок 4.67 - Макет армированной трикотажной оболочки:
а - вид спереди; *б* - вид сзади

Способ вырезания структурных ячеек позволяет получить оболочку со стабильной формоустойчивостью на поверхностях сложной пространственной формы, однако снижается прочность изделия в точках соединения сторон ячеек.

Изготовлен макет оболочки из искусственной кожи на трикотажной основе, на которую наносили и вырезали контуры ячеек по геометрическому рисунку крыла стрекозы. Расстояние между структурными вырезами составляло 5 мм. Заготовки с нерегулярной и некорректной сетчатой структурой накладывали на манекен с плотным облеванием оболочки (Рисунок 4.68). Результаты макетирования показали стабильную формоустойчивость оболочки на криволинейных поверхностях.



Рисунок 4.68 - Макет природной оболочки из искусственной кожи на поверхности манекена: *а* – вид спереди; *б* – вид сбоку; *в* – вид сзади

Применение способа вязания предоставляет огромные возможности для создания любых пространственных форм, полотен с переменной плотностью и толщиной из материалов, обладающих различными свойствами.

Макет, изготовленный техникой вязания крючком формировался на сфере провязыванием простых петельных цепочек и последующим соединением их между собой (Рисунок 4.69).



Рисунок 4.69 - Макет сферической оболочки со структурой паутины, изготовленная методом вязания

Недостаток данного способа изготовления заключается в образовании излишней толщины в точках соединения структурных элементов оболочки, так

как петельные цепочки вязались отдельно и потом соединялись ниточным соединением.

Вязание оболочки в один этап позволяет избежать этого. На рисунке 3.70 представлен макет оболочки со структурой крыла стрекозы, при изготовлении которого структурные элементы соединялись друг с другом на этапе провязывания.

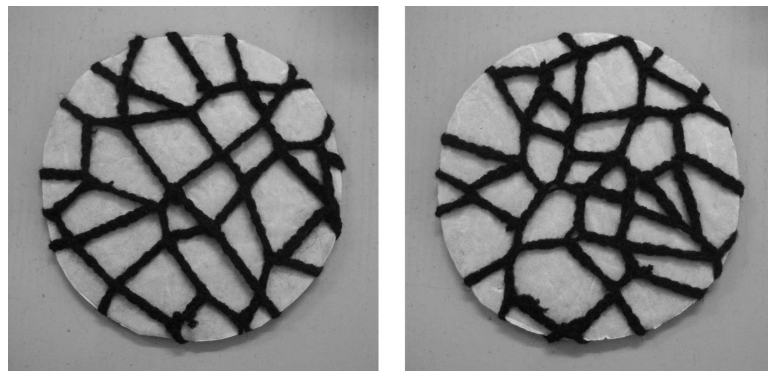


Рисунок 4.70 - Текстильные аналоги структуры крыла стрекозы

Различной ширины структурных элементов можно добиться применением различных петель при вязании: полустолбиков и столбиков с накидом и без накида.

Наиболее перспективным способом изготовления является настрачивание армирующих элементов (нитей, ровинга, лент, жгутов и т.д.) на вышивальной машине (Рисунок 4.71).



Рисунок 4.71 - Вышивальная машина ZSK: *а* - рабочая поверхность с заправленным в раму материалом; *б* - панель управления

Автоматизированная вышивка позволяет получать оболочки со сложными схемами армирования путем настрачивания нитей в несколько слоев и рядов (Рисунок 4.72).

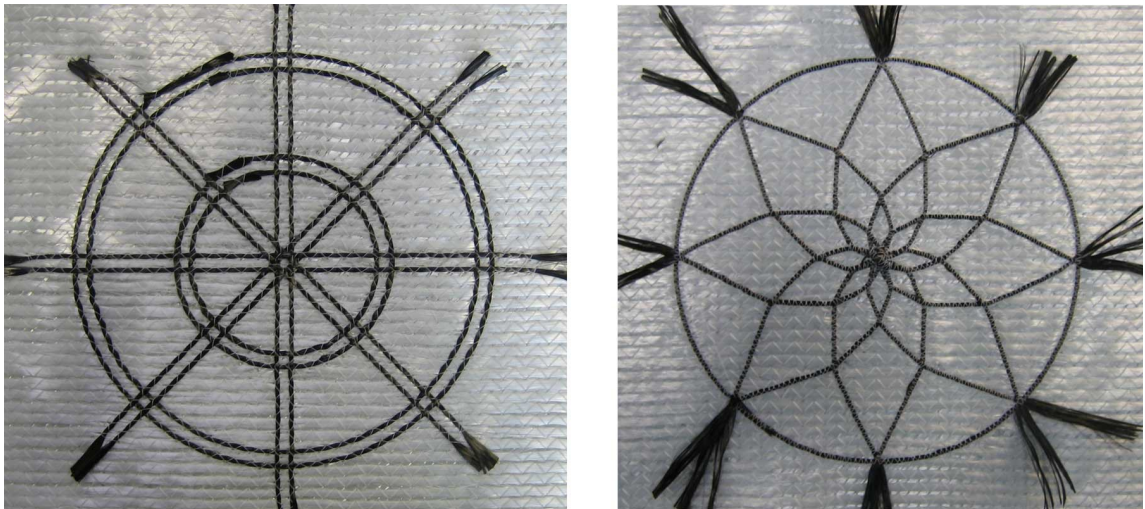


Рисунок 4.72 - Армирование, выполненное способом настрачивания на вышивальной машине

Кроме схемы настрачивания нитей в соответствии со структурой паутины может быть использован также рисунок жилкования крыла стрекозы. На рисунке 4.73 представлен макет армированной плоской оболочки, изготовленной из углеволоконных нитей, настроенных на нетканую водорастворимую основу зигзагообразной строчкой. Схема армирования разработана в соответствии с рисунком жилкования крыла стрекозы.

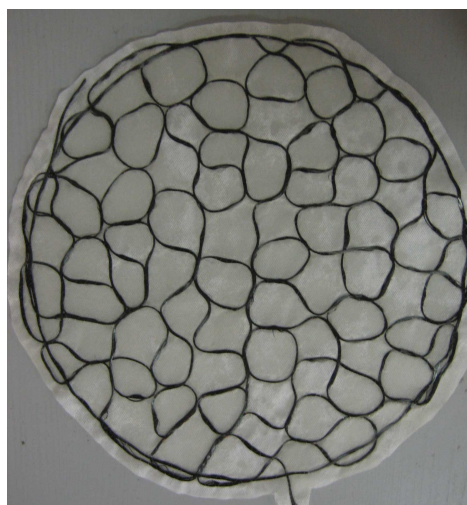


Рисунок 4.73 - Макет плоской оболочки, армированной в соответствии с рисунком жилкования крыла стрекозы

Укладка нитей аналогична способу, использованному при изготовлении макета оболочки плетением (Рисунок 4.66), но без переплетения нитей друг с другом. Образование ячеек в оболочке требует настрачивания армирующих нитей в несколько слоев, поэтому необходима тщательно разработанная схема укладки, чтобы избежать излишнего утолщения и снижения прочности оболочки.

По результатам анализа составлена схема этапов изготовления оболочек швейных изделий с нерегулярной структурой.

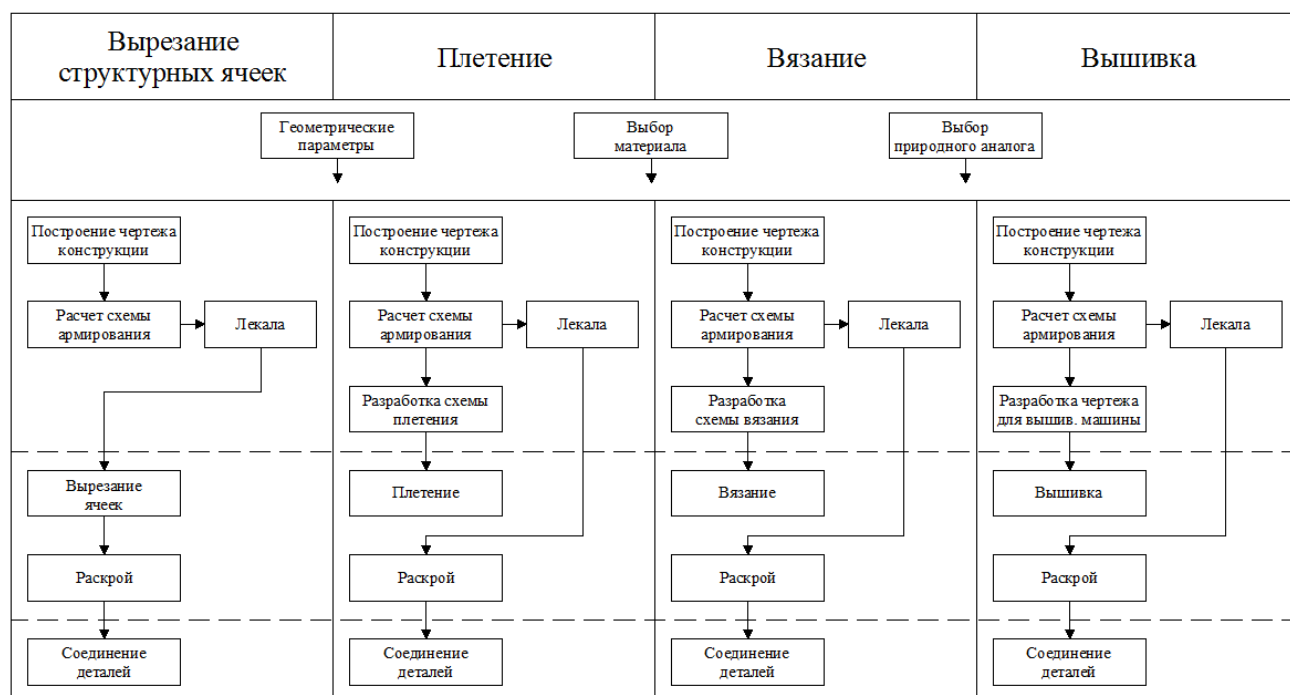


Рисунок 4.74 - Этапы изготовления оболочки в зависимости от способа изготовления

Все рассмотренные способы, за исключением операций, характерных для каждого способа, включают общие этапы: построение чертежа конструкции, расчет схемы армирования, раскрой и соединения деталей.

4.2 Разработка методики изготовления армированных оболочек с заданными геометрическими параметрами ячеек

Изготовлен макет оболочки на вышивальной машине ZSK JCL 0100-585. Углеродистый ровинг настрачивался на водорастворимую основу

зигзагообразной строчной. Ширина строчки составляла 3мм, длина стежка - 1мм. В качестве водорастворимой основы использовался флизелин Vilene Soluvlies. Поскольку радиальные и круговые нити имели криволинейную конфигурацию, они настрачивались по всей длине для наиболее точного соблюдения геометрических параметров оболочки. После завершения этапа настрачивания основа растворялась в воде. В результате оставалась армирующая конструкция из скрепленных нитями ровингов (Рисунок 4.75б).

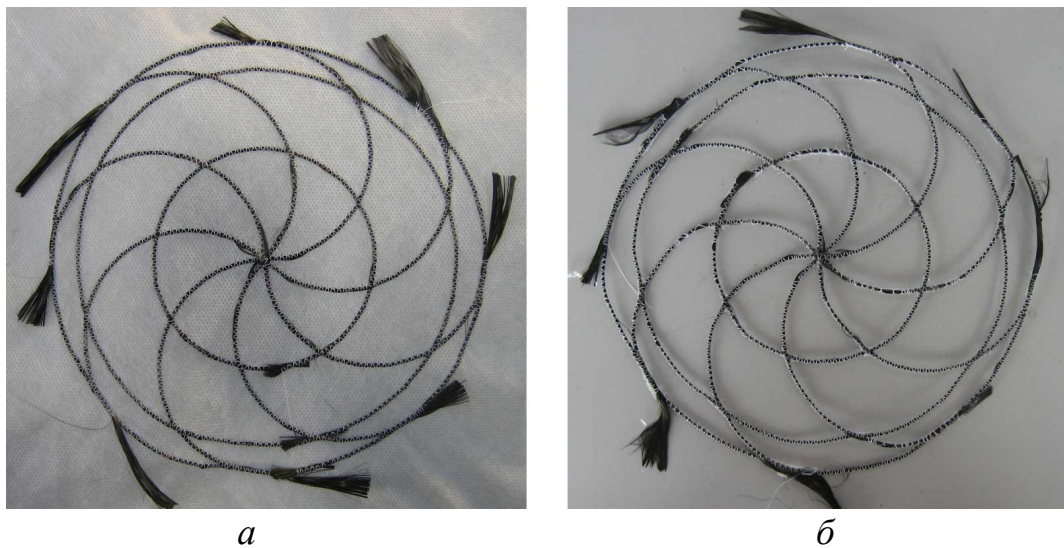


Рисунок 4.75 - Оболочка: *а* - на водорастворимой основе; *б* - после растворения основы

После растворения основы ниточное соединение в местах пересечения структурных элементов ослабевало и возникала необходимость дополнительной фиксации. В качестве таковой использовалось клеевое соединение. Клей наносился в точках пересечения ровингов до растворения основы.

Проверка конструкции в макете

При наложении макета на полусферическую форму было замечено, что особенность взаимного пересечения структурных элементов не позволяет конструкции свободно принимать заданную форму, так как углы, под которыми пересекаются структурные элементы в плоской форме отличаются от углов пересечения в пространственной (Рисунок 4.76).

У данной схемы армирования есть недостаток вследствие особенностей технологии изготовления на ZSK. Угол пересечения радиальных нитей с круговыми в трехмерной оболочке должен составлять 90° , тогда как в данном случае этого не происходит из-за ниточной и клеевой фиксации узлов. Кроме того, для придания пространственной формы в плоской оболочке должны изменяться сетевые углы.



Рисунок 4.76 - Формообразование полусферической оболочки с дугообразными радиальными нитями

Вследствие вышесказанного возникает необходимость оптимизации схемы армирования для более полного удовлетворения требований, предъявляемых к готовому изделию. Данную проблему можно решить путем расположения точек пересечения по прямым осям и сохранению длины отрезков 0-1, 1-2 и 2-3 (Рисунок 4.77).

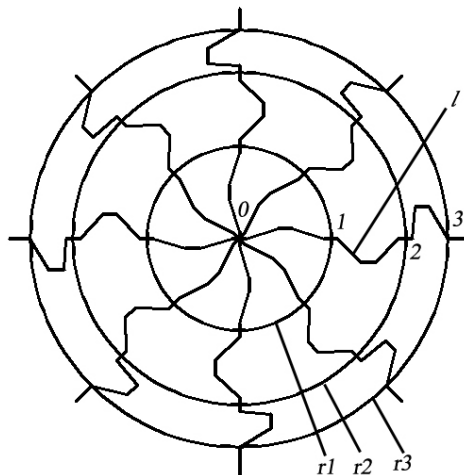


Рисунок 4.77 - Структура оболочки с ломаными радиальными нитями

Радиальные нити представляют собой ломаные линии, пересекающиеся с круговыми нитями под прямым углом.

Исходная информация для проектирования уточненной конструкции

Таблица 4.8 - Геометрические параметры готового изделия

Наименование	Значение
1	2
Радиус полусферы, R	75 мм
Плотность распределения элементов	Равномерное распределение радиальных и кольцевых элементов
Количество радиальных элементов, m	8
Количество кольцевых элементов, n	3
Длина заделки, a	5 мм

Расчёт и построение чертежа уточненной конструкции

Таблица 4.9 – Расчёт конструкции

Обозначение	Расчётная формула	Величина
1	2	3
0-3	$l = \frac{\pi R}{2}$	117,81 мм
$L_0(0-1, 1-2, 2-3)$	$L_0 = l/n$	39,27 мм
L_1	$r_1 - a$	32,5 мм
L_2	$r_2 - r_1 - a$	22,45 мм
L_3	$r_3 - r_2 - a$	5,05 мм
h_1	$h_n = \sqrt{\left(\frac{L_0 - 2a}{2}\right)^2 - \left(\frac{L_n - a}{2}\right)^2}$	5,01 мм
h_2		14,33 мм
h_3		14,63 мм
α	$\alpha = 180/m$	60°
r_1	$r_n = 2r_0 \sin\left(\frac{\alpha n}{2}\right)$	37,5 мм
r_2		64,95 мм
r_3		75 мм

Для схемы армирования с ломаными радиусами разработан метод расчета геометрических параметров в MS Excel на основе алгоритма описанного ранее.

Способ изготовления аналогичен описанному выше. Поскольку в этом случае не было необходимости настрачивать радиальные нити по всей их длине, в точках пересечения радиальных нитей с круговыми делались закрепки длиной 10мм (Рисунок 4.78).

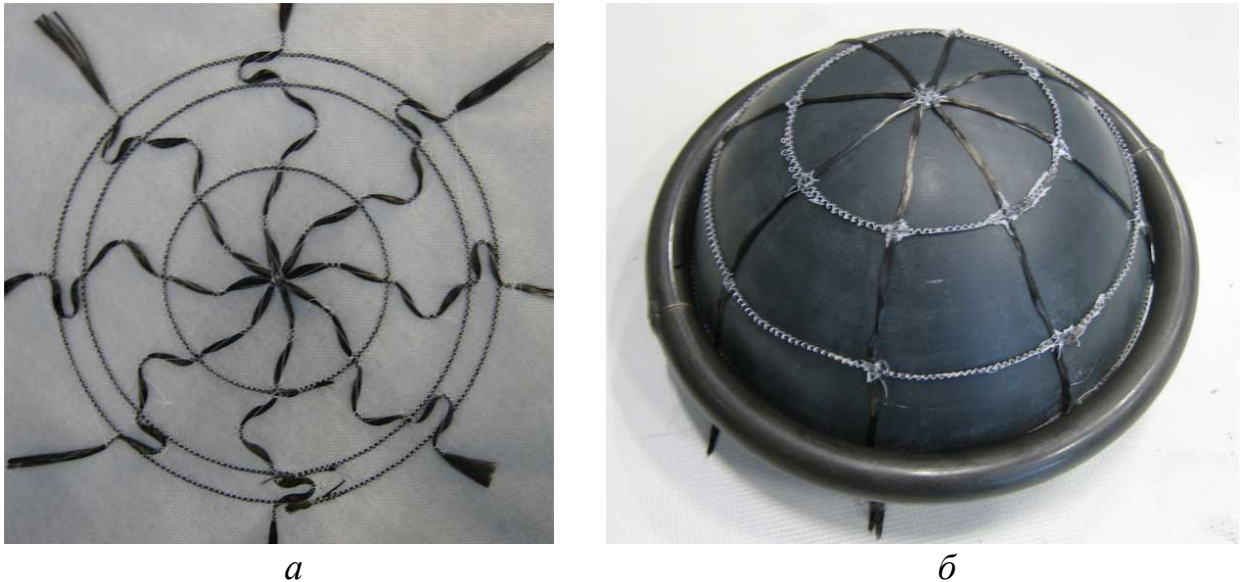


Рисунок 4.78 - Формообразование полусферической оболочки с ломаными радиальными нитями: *а* - двухмерная плоская оболочка; *б* - трехмерная оболочка

Изготовленная оболочка имеет более высокую формообразующую способность, чем структура с дугообразными радиальными нитями. В перспективе такая оболочка может применяться при армировании изделий заданной формы. В этом случае заготовка должна повторять заданную форму без образования складок и не оказывать значительного влияния на формообразующие свойства ткани-основы.

4.1.1 Исследование влияния армирования на формообразующие свойства оболочек при помощи системы цифрового исследования деформаций материалов Argus

Метод бесконтактного цифрового оптического анализа деформации материала широко применяется в различных областях техники и используется для испытаний материалов, конструкций и исследования объемных форм [70].

В данной работе проводилось цифровое оптическое исследование формообразования армированных оболочек при помощи измерительной системы

ARGUS. Метод заключается в получении цифрового изображения трехмерной оболочки и его последующей обработке в программном обеспечении для получения информации о деформации ткани при одевании объемной формы, расположении областей натяжения, величинах натяжения в ткани и т.д. Чтобы проанализировать формообразующую способность армированной оболочки, в рабочую область помещаются кодовые маркеры и одна или две масштабные линейки (Рисунок 4.79), затем производится съемка оболочки, наложенной на объемную форму при помощи фотокамеры с разных сторон под разными углами. Количество кадров зависит от сложности исследуемой формы. Чем сложнее объемная форма, тем большее количество кадров с разными ракурсами требуется системе для корректного распознавания точек и отображения формы (Рисунок 4.80). Изображения, сделанные фотокамерой, переносятся на компьютер. Затем программное обеспечение ARGUS определяет положение нанесенных на ткань точек и кодовых маркеров в каждом изображении. Используя кодовые маркеры, отдельные изображения объединяются в единое виртуальное представление оболочки. Расположение точек в трехмерном пространстве представляет собой форму оболочки. Расположение четырех соседних точек определяет локальные напряжения, возникшие в процессе получения объемной формы [71].



Рисунок 4.79 - Рабочая область системы ARGUS

Для цифрового исследования формообразования использовалась стеклоткань сатинового переплетения (Tencate K58459 7781 P 1270), так как она обладает лучшей формообразующей способностью по сравнению с тканями полотняного и саржевого переплетений и подходит для данного метода испытаний. На стеклоткань были предварительно нанесены при помощи термопресса точки, распознаваемые программным обеспечением системы Argus. Расстояние между точками составляло 10мм.

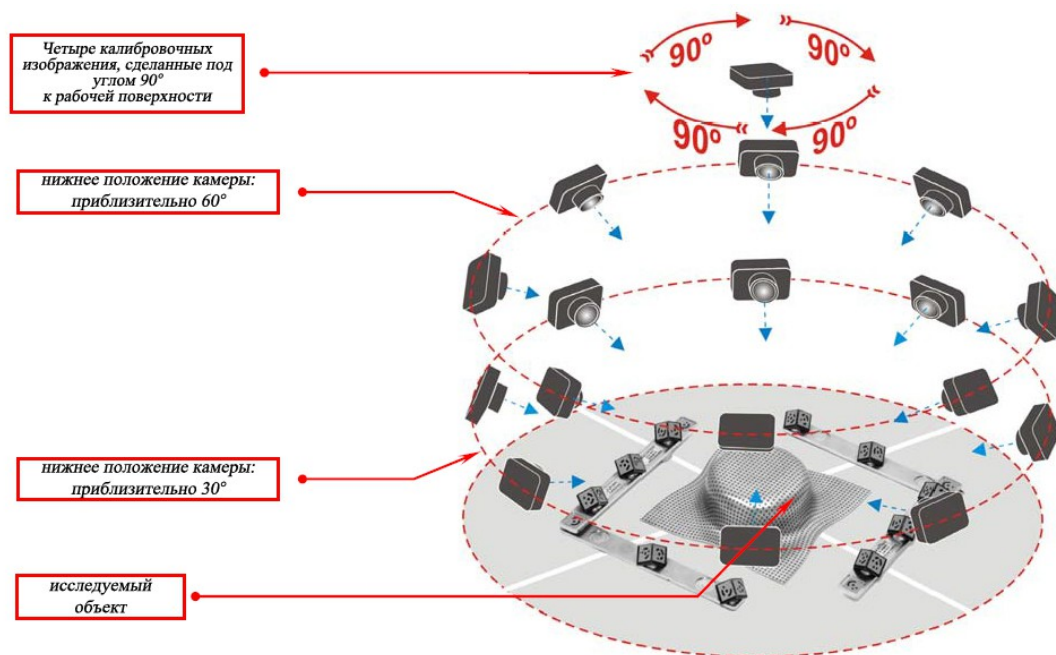


Рисунок 4.80 - Положения камеры при исследовании трехмерного объекта [71]

На предварительном этапе изготавливалась армирующая заготовка, состоящая из скрепленных между собой углеволоконистых ровингов в соответствии с геометрическим строением паутины. Ровинг настрачивался на растворимую основу (Vieseline Vilene Soluvlies 555643/1/4) зигзагообразной строчкой на вышивальной машине. Расстояние от центральной точки до первой окружности составляло 30мм, 40мм и 50мм (Рисунок 4.81).

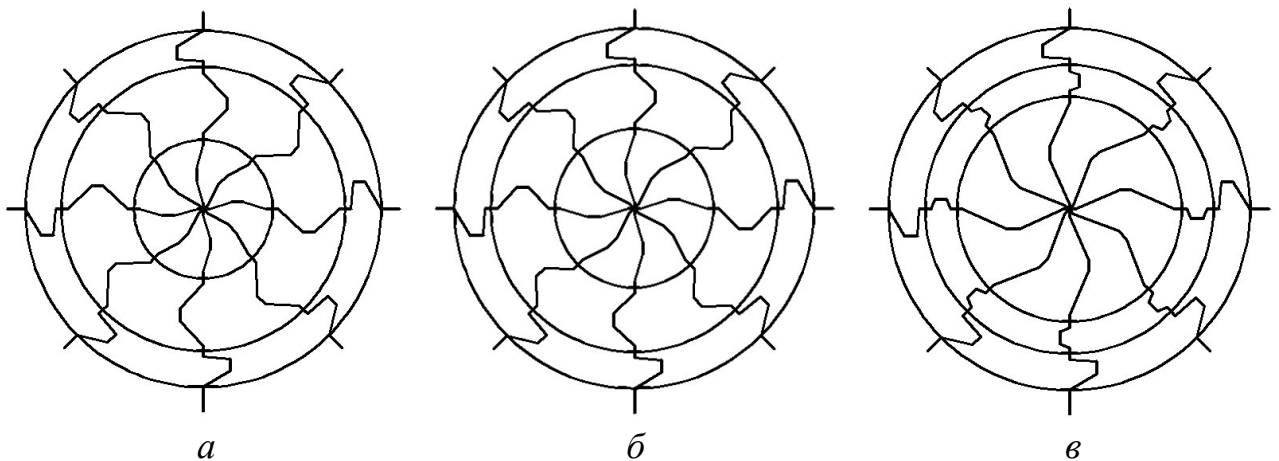


Рисунок 4.81 - Структура армирующих элементов для исследования формообразующих свойств армированных оболочек. Расстояние от центра оболочки до первой окружности: *а* - 30мм, *б* - 40мм, *в* - 50мм.

После окончания вышивания основа растворялась, в результате оставался углеволокнистый ровинг, скрепленный нитями (Рисунок 4.82).

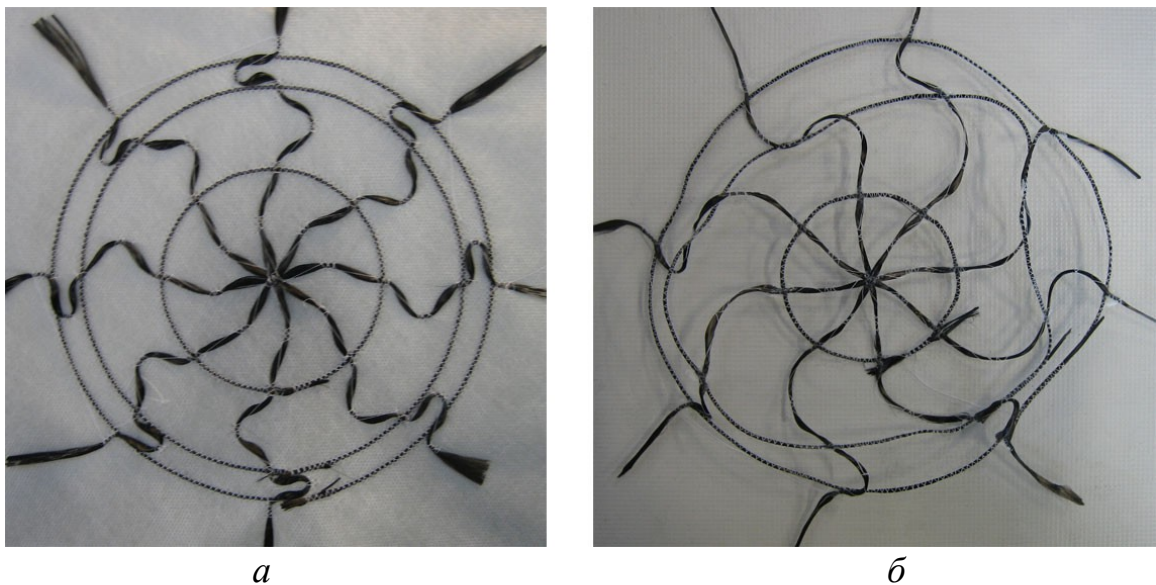


Рисунок 4.82 - Армирующая структура:
а - настроенная на водорастворимую основу, б - после растворения

Далее ровинг скреплялся со стеклотканью ниточным соединением. Точки соединения армирующего ровинга с оболочкой были получены опытным путем. Заготовки из стеклоткани накладывались на полусферическую поверхность, далее на них накладывались заготовки из углеволокнистых ровингов и фиксировались металлическим кольцом. На стеклоткани отмечались расположения точек пересечения ровингов между собой (Рисунок 4.83).

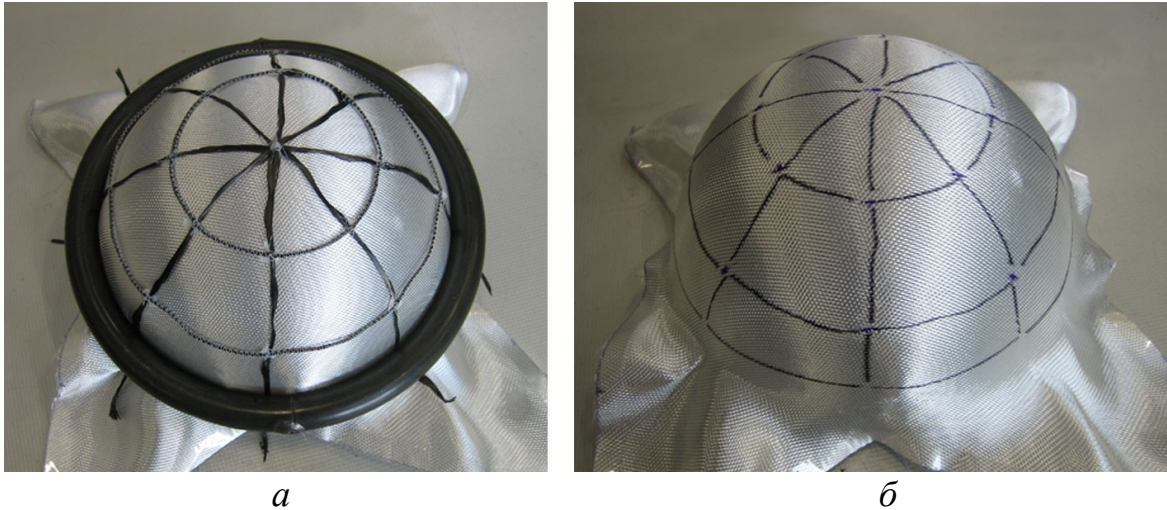


Рисунок 4.83 - Определение точек прикрепления армирующего ровинга к стеклоткани: *а* - фиксация ровинга и стеклоткани на полусфере; *б* - отмеченное положение армирующего ровинга на полусферической поверхности

Так как волокна ткани обладали подвижностью, возникла необходимость в исследовании не менее трех образцов для получения точного расположения точек прикрепления ровинга. В результате были изготовлены шаблоны с расположением точек прикрепления (Рисунок 4.84б)

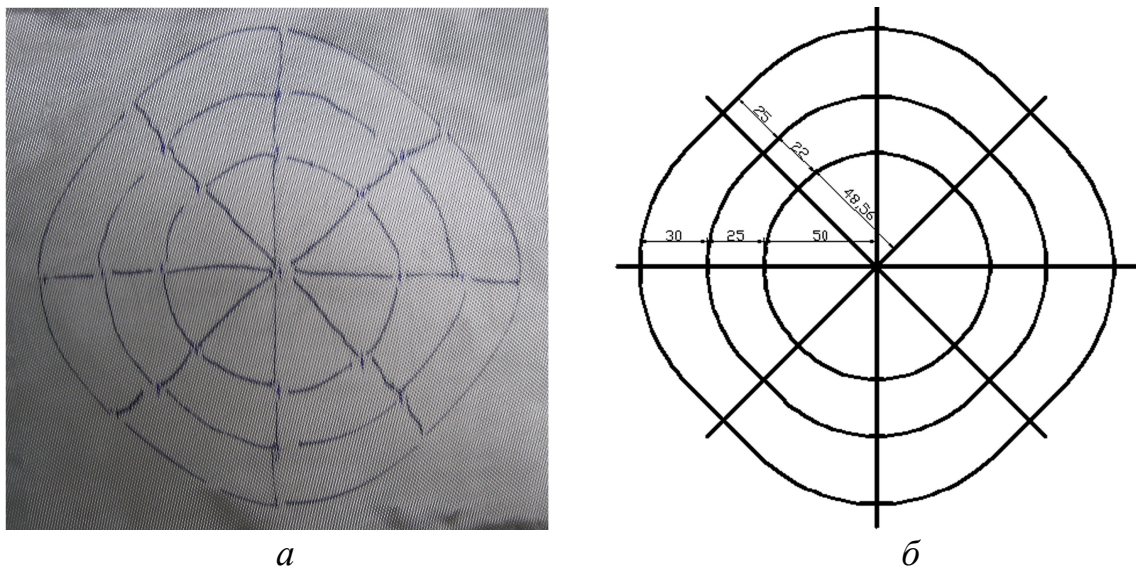


Рисунок 4.84 - Расположение элементов армирующей заготовки: *а* - после снятия образца с полусферы, *б* - чертеж, полученный по результатам исследования

В качестве сравнения были также исследованы несколько образцов без армирования. На диаграмме, представленной в приложении В видно, что деформация ткани в образце без армирования неравномерна. Это происходит

вследствие подвижности волокон ткани, способствующей хорошей формообразующей способности.



Рисунок 4.85 - Армирующий ровинг, прикрепленный к стеклоткани:
а - изнаночная сторона образца, б - лицевая сторона

Результаты цифрового исследования процесса формообразования оболочек из армированной стеклоткани подтвердили необходимость учета геометрии формы изделия, одевающей способности текстильного материала и схем армирования.

4.3 Апробация результатов исследования и внедрение в производство

4.3.1 Апробация результатов разработки процесса проектирования изделий с расположением армирующих элементов в соответствии с рисунком жилкования крыла стрекозы

Разработана схема армирования оболочки в соответствии со строением крыла стрекозы на примере юбки-солнце.

Построена базовая конструкция юбки, на которую произвольно нанесены точки. В области от линии талии до линии бедер плотность распределения точек была несколько больше, чем в области от линии бедер до линии низа (Рисунок 4.86). Некоторые точки ставились за пределами полотна юбки для корректного построения ячеек диаграммы.

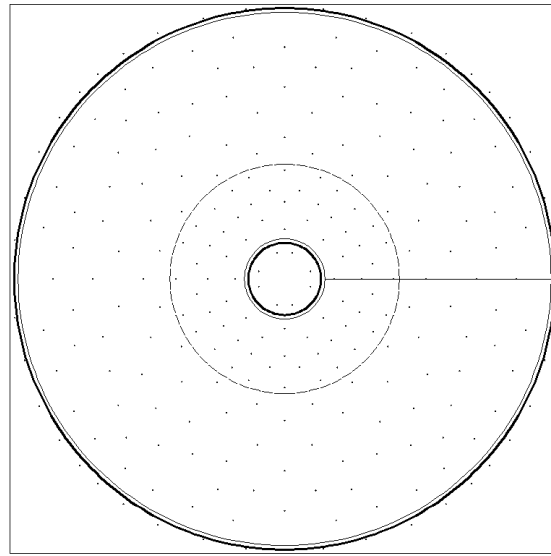


Рисунок 4.86. Чертеж юбки с нанесенными на него произвольными точками

Далее координаты всех построенных точек экспортировались в MATLAB в формате MS Excel. По точкам строилась диаграмма Вороного (Рисунок 4.87).

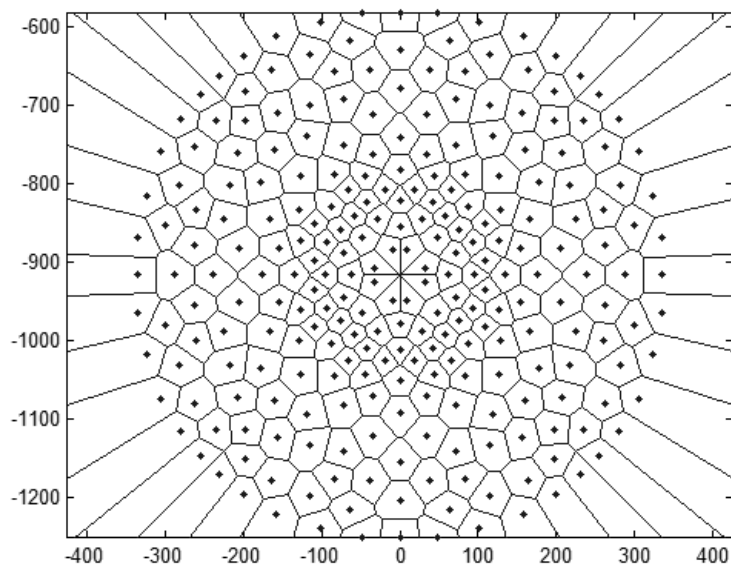


Рисунок 4.87. Диаграмма Вороного, построенная в программе MATLAB

Полученная диаграмма накладывалась на конструкцию юбки (Рисунок 4.88).

Чтобы избежать излишнего утолщения и снижения прочности оболочки при настрачивании армирующих нитей, необходима тщательно разработанная схема укладки нитей, позволяющая осуществить процесс настрачивания в один этап при непрерывной подаче нити.

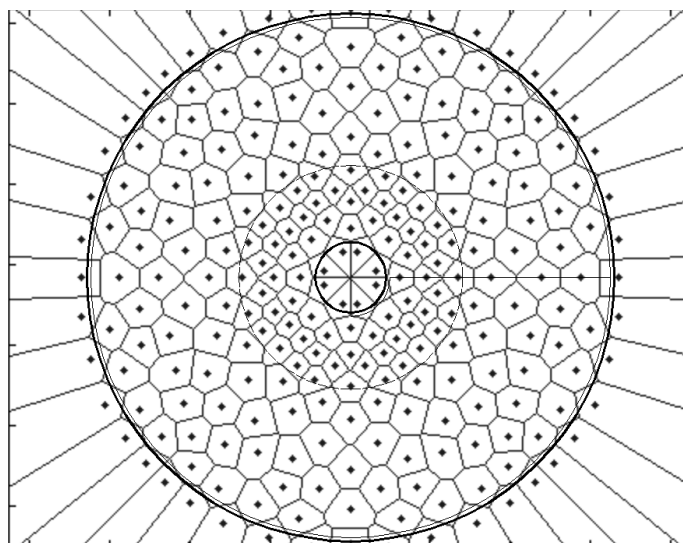


Рисунок 4.88. Диаграмма Вороного, совмещенная с чертежом юбки

Разработана технологическая схема изготовления юбки-солнце с зональным распределением армирующих нитей (Рисунок 4.89).

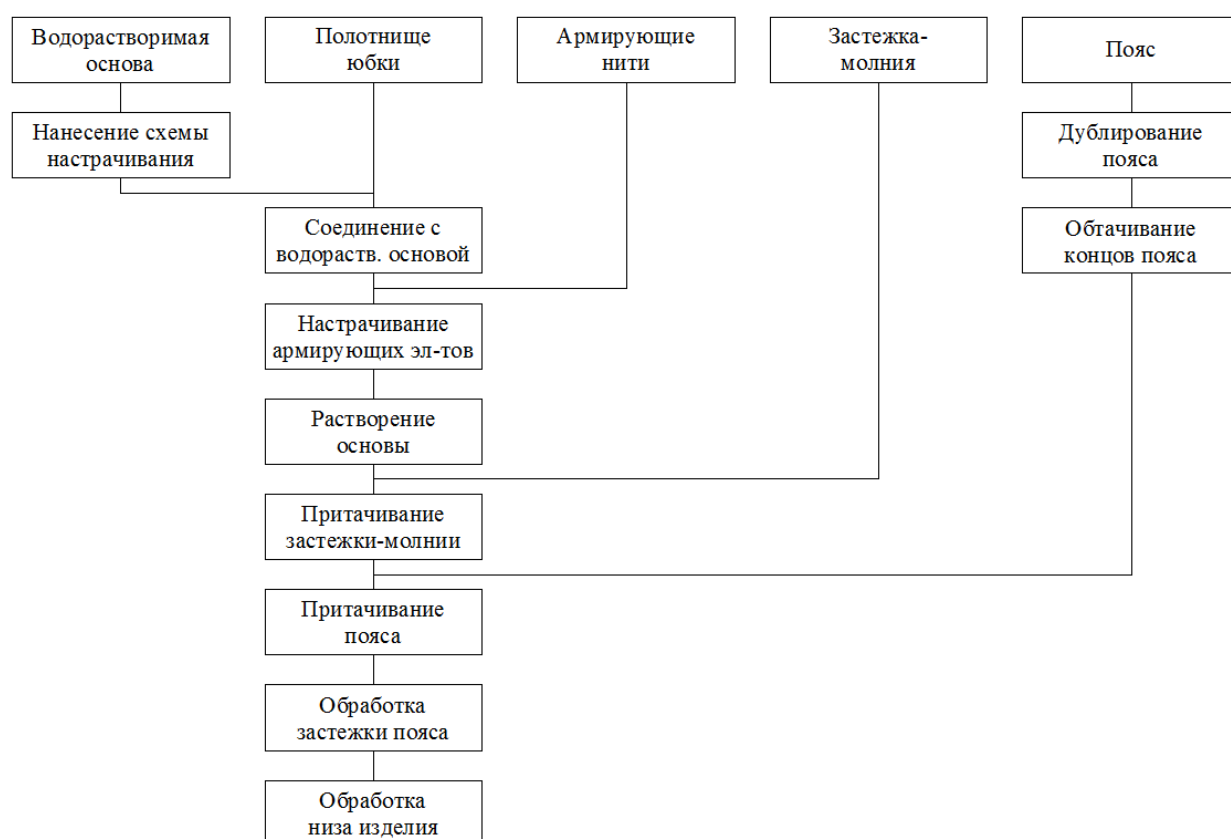


Рисунок 4.89 - Технологическая схема изготовления юбки-солнце

Изготовлены макеты поясных изделий с армированием и без армирования (Рисунок 4.90). Макеты изготавливались из трикотажного сетчатого материала. Армирующие ленты настрачивались в соответствии с разработанной схемой укладки.

Армирование позволяет значительно увеличить жесткость ткани, что может быть использовано при изготовлении многослойной одежды, поскольку появляется возможность сокращения количества слоев материала. Кроме того, путем изменения плотности расположения ячеек на определенных участках, появляется возможность проектирования изделия с требуемыми формообразующими свойствами.



Рисунок 4.90 - Поясное изделие без армирования и с армированием

Разработанный метод проектирования применялся при разработке схемы армирования каркаса крыла беспилотного летательного аппарата, проводимой в ОАО "НИАТ".

На чертеж конструкции крыла наносились точки, необходимые для построения диаграммы Вороного (Рисунок 4.91).

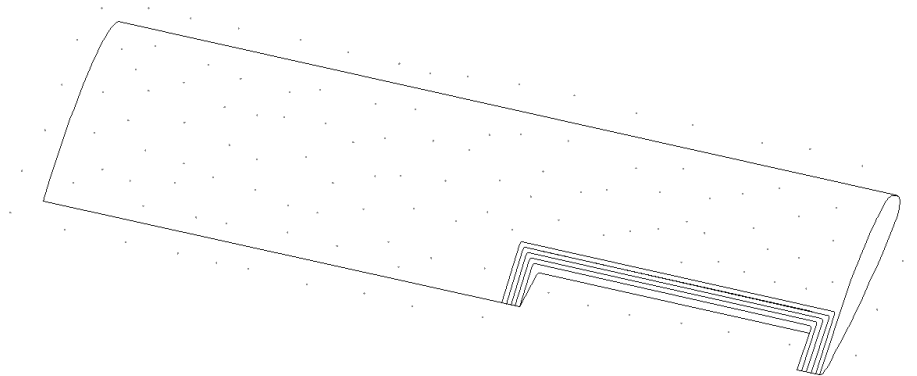


Рисунок 4.91. Конструкция крыла с нанесенными точками

Далее координаты точек, полученные с помощью дополнения для AutoCAD отображались в текстовом файле и переносились в MATLAB. По полученным точкам построена диаграмма Вороного и наложена на чертеж крыла (Рисунок 4.92).

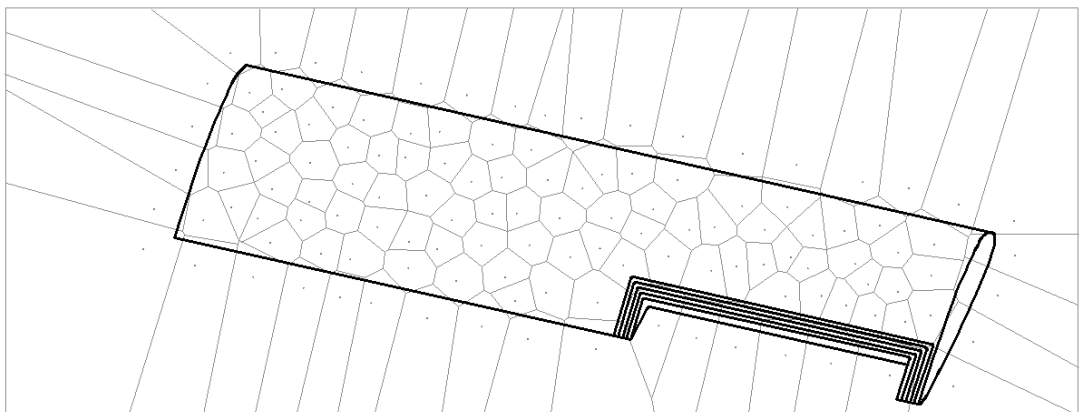


Рисунок 4.92. Диаграмма Вороного, совмещенная с чертежом крыла

Предложенный метод значительно сокращает время на разработку схем армирования и разверток изделий различного назначения. В то время, как простое наложение цифрового изображения крыла стрекозы требует дополнительной корректировки из-за необходимости распределения ячеек с заданной плотностью.

4.3.2 Апробация результатов разработки процесса проектирования изделий с радиально-кольцевым расположением армирующих элементов

Изготовлены макеты поясного изделия с усилительными элементами, расположенными в радиальном и круговом направлении и под углом 90° друг к другу (Рисунок 4.93).

Для изготовления макетов использовалась плотная ткань, на которую настрачивались атласные ленты зигзагообразной строчкой. Ширина лент составляла 6мм.

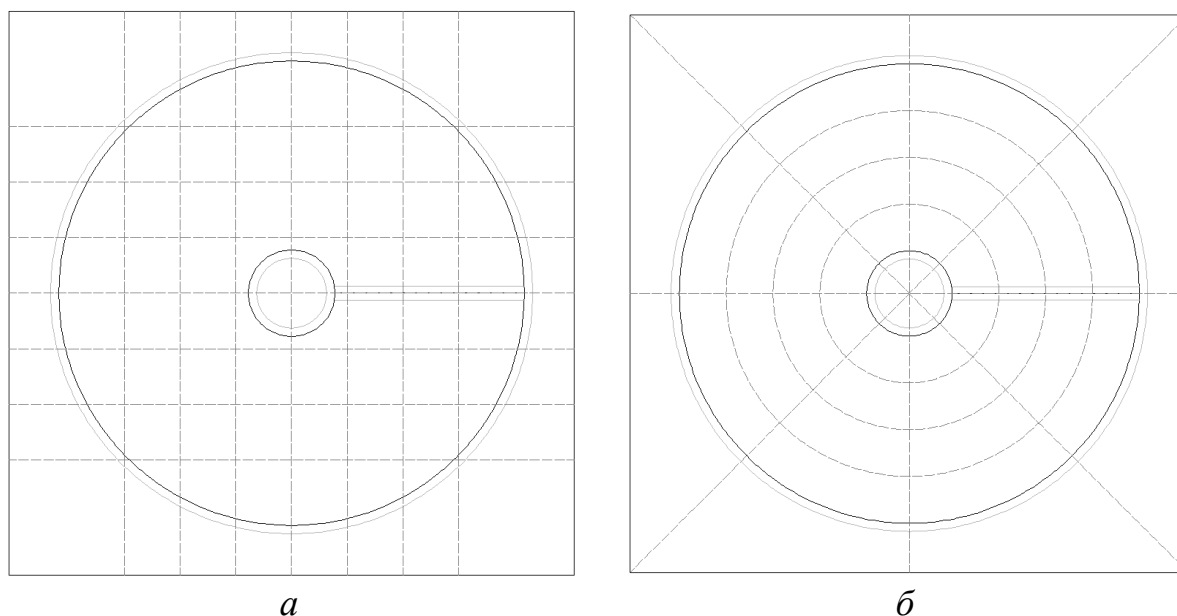


Рисунок 4.93 - Схема расположения усилительных элементов:
а - ортогональное; б - радиально-круговое

Проведены исследования влияния расположения армирующих элементов на драпируемость изделия. Оценка внешней формы изделия и равномерность расположения складок проводилась по методу, предложенному в работе Акимочкиной И.М. [72]. На полученных проекциях сечений формы изделия и соответствующего сечения формы манекена отмечались информативные точки (ИТ), отмечающие наиболее рельефные изгибы. Информативные точки оцениваются величинами пространственных зазоров (Γ) между фигурой манекена ($\mathcal{C}$) и формой изделия ($\mathcal{O}$) в радиальном направлении. Отсчет радиальных направлений ведется по часовой стрелке (для правой части) и против часовой стрелки (для левой части) на угол 180° с шагом в 10° (Рисунок 4.94).

При распределении поясного изделия с усилительными элементами по поверхности фигуры человека образование складок происходит с определенной частотой, которую можно охарактеризовать регулярностью и равномерностью.

Регулярность отражает распределение поверхности изделия в горизонтально

сечении и описывается количеством и рассеянностью складок относительно фигуры человека.

Равномерность характеризует выпуклость рельефа (высоту складок) при распределении изделия относительно фигуры человека.

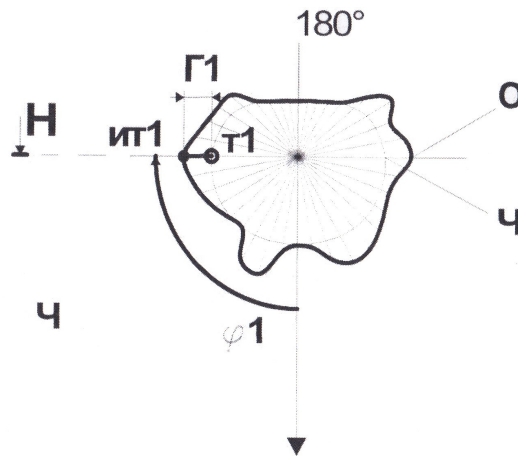
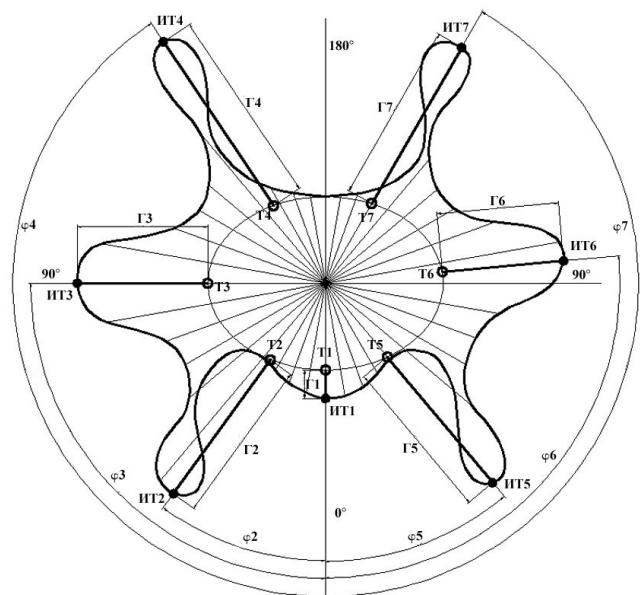


Рисунок 4.94 - Схема обозначения параметров расположения складок

По полученным данным построены графики распределения пространственных зазоров.



а

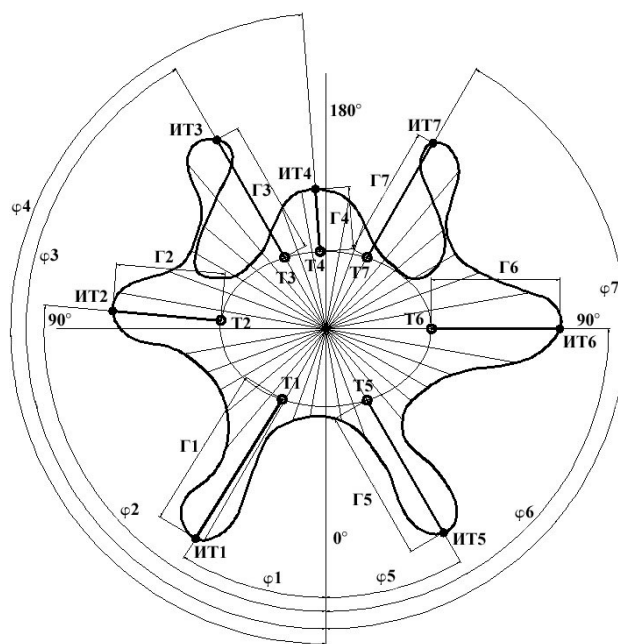


б

Рисунок 4.95 - Макет поясного изделия без армирования:
а - на манекене; *б* — график распределения зазоров



а

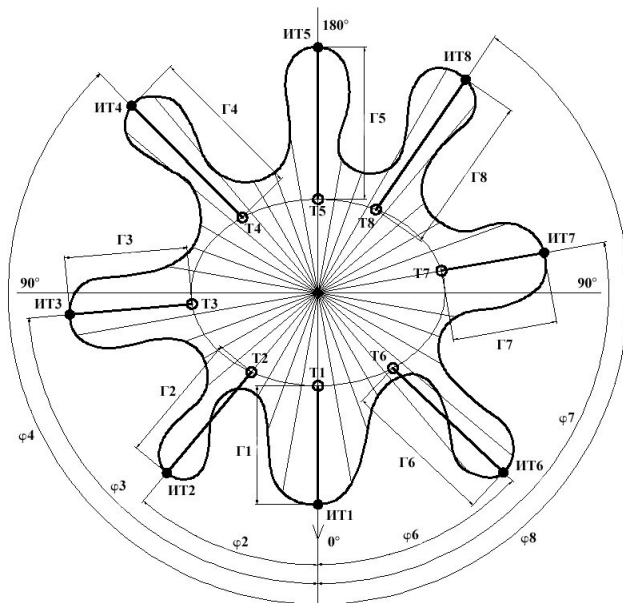


б

Рисунок 4.96 - Поясное изделие с ортогональным расположением усилительных элементов: а - на манекене; б — график распределения зазоров



а



б

Рисунок 4.97 - Поясное изделие с радиально-круговым расположением усилительных элементов: а - на манекене; б — график распределения зазоров

В макете поясного изделия без усилительных элементов складки имели регулярное расположение, однако выпуклость их рельефа была неравномерной.

Поверхность макета с ортогональным расположением усилительных

элементов образовывала неравномерные складки, расположенные нерегулярно относительно поверхности манекена. Кроме того, складки в задней части макета имели заломы (точки ИТ3 и ИТ7 на рисунке 4.96), затрудняющие оценку выпуклости рельефа.

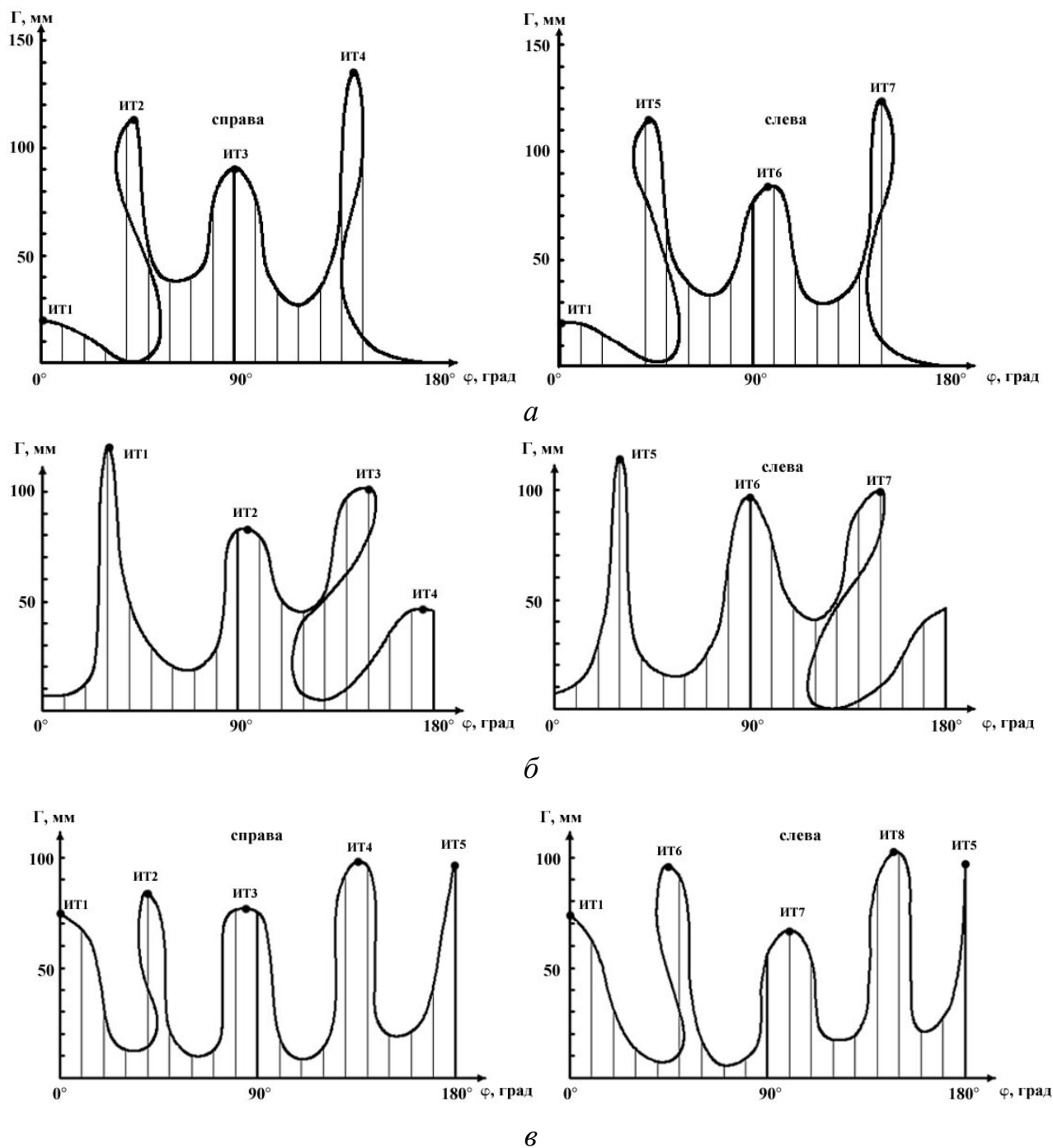


Рисунок 4.98 - Графики распределения пространственных зазоров между поверхностью манекена и изделием в горизонтальном сечении: а — без армирования; б — ортогональное расположение армирующих элементов; в — радиально-кольцевое расположение армирующих элементов.

В макете с радиально-кольцевым расположением усилительных элементов равномерные складки имели регулярный характер распределения и образовывались вдоль радиальных лент (Рисунок 4.97, 4.98в). Такое расположение элементов позволяет проектировать изделие с заданными свойствами формообразования. Кроме того, разработка неравномерной схемы настрачивания усилительных элементов позволит проектировать швейные изделия с заданным расположением складок.

Проведенные исследования позволяют оценивать регулярность и равномерность складок в изделиях с различным расположением армирующих элементов и, в дальнейшем, прогнозировать внешнюю форму изделия.

Выводы

1. Разработан способ изготовления плоских оболочек, переходящих в пространственную форму и принимающих заданную форму без образования складок, ухудшающих прочностные показатели изделия.

2. Проведена апробация метода проектирования и способа изготовления на примере крыла беспилотного летательного аппарата и юбки с усилительными элементами, расположенными в соответствии с рисунком крыла стрекозы. Результаты апробации показали эффективность применения разработанных метода проектирования и способа изготовления для получения швейных изделий с требуемыми свойствами.

3. Результаты цифрового исследования процесса формообразования армированных оболочек подтвердили необходимость учета геометрических параметров готового изделия, одевающей способности текстильного материала и схем армирования.

Общие выводы по работе

1. Анализ научно-исследовательских работ выявил актуальность исследований по разработке новых методов проектирования и изготовления оболочек, универсальных для швейных изделий различного назначения, которая подтверждается возросшими требованиями к эксплуатационным характеристикам швейных оболочек.

2. Выявлена необходимость разработки способов изготовления и методов проектирования оболочек швейных изделий с осевой симметрией свойств и профилем в сечении, являющихся новым ассортиментом для швейной промышленности. Данные оболочки чрезвычайно востребованы в технических сферах, так как их использование позволяет сократить материалоемкость, снизить вес и увеличить прочность технических конструкций. Существующие технологии не обеспечивают комплекса условий для получения оболочек с заданными требованиями.

3. Анализ способов проектирования и изготовления трубчатых и разнотолщинных изделий позволил обосновать целесообразность использования плетеного рукавного материала, что подтверждено экспериментальным исследованием влияния конструкций швейных оболочек замкнутой формы из ткани на топологические возможности образования профиля в сечении.

4. Выявлено, что существующие способы изготовления оболочек из плетеного рукавного материала не обеспечивают осевой симметрии свойств. Предложен новый способ изготовления оболочки замкнутой формы из плетеного рукавного материала, позволяющий исключить недопустимые членения конструкции швейной оболочки для обеспечения требований прочности.

5. Анализ деформационных возможностей тороидальных оболочек подтвердил, что для получения профиля нити оболочки должны располагаться под углом к радиальному направлению, что соответствует расположению нитей в плетеном рукавном материале.

6. Исследование процессов формообразования двухмерных и трехмерных оболочек из плетеных рукавных материалов позволили выделить основные характеристики для описания и построения сети оболочек, которые могут быть использованы для разработки метода проектирования швейных оболочек из плетеного рукавного материала различного назначения.

7. Разработана методика расчета диаметра и оценки деформационных возможностей плетеного рукавного материала, позволяющая подбирать материалы для изготовления швейной оболочки с профильным сечением заданной формы.

8. Сформирована исходная информация для проектирования швейных оболочек из плетеных рукавных материалов, включающая описание внешней формы и структуры изделия, требования к материалам, конструкции и технологии изготовления.

9. Разработан метод проектирования оболочек швейных изделий из плетеных рукавных материалов на примере деталей одежды и технических изделий. Особенностью метода является проектирование сети оболочки с деформированными ячейками, трехмерное моделирование сети для визуальной оценки, фиксация сети, определение количества слоев многослойной оболочки.

10. Разработана методика расчета и построения сети швейных оболочек из плетеного рукавного материала, позволяющая рассчитывать деформированную сеть оболочки, проводить построение сети и оценку структуры. Составленные алгоритмы расчета оболочек, основанные на итерационных методах решения и позволяющие производить расчет сети от выбранного положения окружности ячеек с заданным сетевым углом, подтвердили, что теоретические положения верны.

11. Разработан способ изготовления многослойной оболочки из плетеного рукавного материала, обеспечивающий малооперационную и ресурсосберегающую технологию изготовления швейных изделий сложной пространственной формы с осевой симметрией и профильным сечением.

12. Промышленная апробация разработанного метода проектирования и способа изготовления проведена на примере многослойной оболочки для армирования авиационной окантовки иллюминатора самолета из полимерных композиционных материалов. Результаты апробации и испытания прочностных свойств образцов показали эффективность разработанной конструкции, технологии изготовления и метода получения армирующей многослойной оболочки.

13. Ожидаемая экономическая эффективность изготовления швейных армирующих оболочек из плетеных рукавных материалов может быть достигнута обеспечением ресурсосберегающей технологии изготовления и снижением стоимости эксплуатации окантовки иллюминатора за счет уменьшения веса авиационной конструкции.

14. Перспективы развития метода проектирования швейных оболочек из плетеных рукавных материалов связаны с расширением области применения для изготовления и декоративного оформления одежды, создания герметизирующих и плотно облегающих форму элементов специальной одежды, снаряжения и изделий бытового и технического назначения. Разработка двуаксиальных оболочек из плетеных рукавных материалов является продолжением научно-исследовательских работ, посвященных проектированию и изготовлению бесшовных и малошовных оболочек швейных изделий с использованием чебышевской сети.

Список литературы

1. Лопандин, И. В. Расчет оболочек и разверток одежды промышленного производства. Учеб. пособие для ВТУЗов / И. В. Лопандин. — М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1982. — 169 с.
2. Базаев, Е. М. Новые структуры тканых геом-оболочек / Е. М. Базаев // Дизайн и Технологии. - 2009. - № 11(53). — с. 44-47
3. Базаев, Е. М. Проектирование геометрических структур тканых оболочек / Е. М. Базаев // Дизайн и технологии. — 2009. — № 13(55). — с. 49-55.
4. Савостицкий, Н. А. Расчет и построение разверток плоских оболочек деталей одежды по образцам моделей / Н. А. Савостицкий. — М.: ВЗМИ, 1980. — 26 с.
5. Коблякова, Е. Б. Основы конструирования одежды / Е. Б. Коблякова, А. В. Савостицкий, Г. С. Ивлева и др.; под общ. ред. Е.Б. Кобляковой. — М.: Легкая индустрия, 1980. — 448 с.: ил.
6. Чебышев, П. Л. Полное собрание сочинений. Том 5. Прочие сочинения. Биографические материалы. — М.: Изд-во академии наук СССР, 1951. — 485 с.
7. Базаев, Е. М. Геометрия формообразования структур тканевых и тканых оболочек / Е. М. Базаев // Дизайн и Технологии. - 2008. - № 8(50). — с. 47-52
8. Коблякова Е.Б. Лабораторный практикум по конструированию одежды с элементами САПР / Е.Б. Коблякова, А.И. Мартынова, Г.С. Ивлева и др.; под. ред. Е.Б. Кобляковой. — М.: Легпромбытиздат. — 1992. — 320 с.
9. Базаев Е. М. Разработка метода проектирования и способа изготовления деталей одежды ткачеством: дис. ... кандидата технических наук : 05.19.04 / Базаев Евгений Михайлович. — М.: МТИЛП, 1985. — 139 с.
10. Курочкина Я. Л. Разработка способа изготовления тканых деталей одежды разноплотных структур: дис. ... кандидата технических наук : 05.19.04 — М.: МТИЛП, 1989. — 184 с.
11. Лаврис, Е. В. Разработка способа проектирования тканых бесшовных оболочек: дис. ... кандидата технических наук : 05.19.04 / Лаврис Екатерина Васильевна. — М.: МГУДТ, 2005. — 149 с.

12. Лаврис Е.В. Цельнотканые объемные оболочки с комбинацией двухниточных и трехниточных переплетений / Е.В. Лаврис, Е.М. Базаев, Е.Г. Андреева // Швейная промышленность. — 2006. — №6. — с.42-43.
13. Философский энциклопедический словарь / Гл. ред.: Л. Ф. Ильичёв, П. Н. Федосеев, С. М. Ковалёв, В. Г. Панов. — М.: Советская энциклопедия, 1983. — 836 с.
14. Словарь русского языка: В 4-х т. / РАН, Ин-т лингвистич. исследований; Под ред. А. П. Евгеньевой. — 4-е изд., стер. — М.: Рус. яз.; Полиграфресурсы, 1999. - Том 4. - 797 с.
15. Frontczak-Wasiak, I. Textile structures modelled on a spider's net / Izabela Frontczak-Wasiak, Marek Snyckerski, Izabela Luiza Ciesielska // *Fibres&Textiles in Eastern Europe*. Vol.16. — 2008. — №5(70). — с. 54-58.
16. Ефимик, В. Е. Значение паутины в жизни пауков / В. Е. Ефимик // Соросовский образовательный журнал. — 2001. — №1. — с. 24-31
17. Бродский, А. К. Пауки, насекомые / А. К. Бродский, А. Л. Львовский. — Л.: Лениздат, 1990. — 141 с.
18. Иванов, А. В. Пауки, их строение, образ жизни и значение для человека / А. В. Иванов — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1965. — 304 с.
19. Opell, B.D. Changes in spinning anathomy and thread stickness associated with the origin of orb-weaving spiders // *Biological Journal of the Linnean Society*. Vol. 68. — 1999. — с. 593-612.
20. Wainwright, S.A. Mechanical design in organisms / S.A. Wainwright, W.D. Biggs, J.D. Currey, J.M. Gosline. — London: Princeton University Press. — 1982. — 423 с.
21. Zschokke, S. Planarity and size of orb-webs built by *Araneus diadematus* under natural and experimental conditions / S. Zschokke, F. Vollrath // *Ekologia (Bratislava)*. Vol.19. — 2000. — с. 307-318.
22. Akerman, C. On the spider *Miagrammopes* sp., which constructs a single-line snare // *Ann. Natal mus.* — 1932. — №7. — с. 137-143.
23. Craig C.L. Orb-web visibility: the influence of insect flight behaviour and visual

- physiology on the evolution of web designs within the Araneoidea // *Animal Behaviour*. — №34. — 1986.
24. Zschokke, S. Form and function of the orb-web / S. Zschokke // *European Arachnology 2000. Proceedings of the 19th European Colloquium of Arachnology, Aarhus 17-22 July 2000*. — Aarhus, Aarhus University Press. — 2002. — c.99-106.
25. Thompson, D.A.W. On growth and form / D'Arcy Wentworth Thompson. — Cambridge University Press, Cambridge, 1992. — 346 c.
26. Eberhard, W.G. Function and phylogeny of spider webs // *Annual Review Of Ecology and Systematics*. Vol.21. — 1990. — c. 341-372.
27. Lin, L. Structural engineering of a spider's web / L. Lin, D. Edmonds, F. Vollrath // *Nature*. Vol.373. — 1995. — №12. — c. 146-148.
28. Sandoval, C.P. Plasticity in web design in the spider *Parawixia bistriata*: a response to variable prey type // *Functional Ecology*. Vol.8. — 1994. — №6. — c. 701-707.
29. Vollrath F. Design variability in web geometry of an orb-web spider / F. Vollrath, M. Downes, S. Krackow // *Physiology and Behavior*. — №62. — 1997. — c.735-743.
30. Schneider J.M. The effect of prey type on the geometry of the capture web of *Araneus diadematus* / J.M. Schneider, F. Vollrath // *Naturwissenschaften*. — №85. — 1998. — c.391-394.
31. Masters, M.W. A functional explanation of top-bottom asymmetry in vertical orbwebs / M. W. Masters, A. Moffat // *Animal Behaviour*. Vol.31. — 1983. — c. 1043-1046.
32. Zschokke, S. Nomenclature of the orb web / S. Zschokke // *The Journal of Arachnology*. Vol. 27. — 1999. — c. 542-546.
33. Wainwright, S.A. Mechanical design in organisms / S.A. Wainwright, W.D. Biggs, J.D. Currey, J.M. Gosline. — London: Princeton University Press. — 1976. — 423 c.
34. Бродский, А. К. Механика полета насекомых и эволюция их крылового аппарата / А. К. Бродский. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1988. — 208 с.
35. Wootton, R. J. Functional Morphology of Insect Wings // *Annual Review of Entomology*. Vol. 37. — 1992. — c. 113-140.

36. Combes, S. A., Daniel, T. L. Flexural stiffness in insect wings. I. Scaling and the influence of wing venation // The Journal of Experimental Biology. Vol.206. — 2003. — с. 2979-2987.
37. McLendon, W. R. Investigation into dragonfly wing structure and composite fabrication [Электронный ресурс] / W. R. McLendon, J. D. Whitcomb. — Texas A&M University. — 2005. — Режим доступа: <http://tiims.tamu.edu/2005summerREU/finalpapers.html>
38. Insect Wings [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://128.6.230.9/Insect%20Wings/index.html>
39. Бочарова-Мессьер, О.М. Особенности крыльев насекомых как аэродинамических поверхностей // Адаптивные свойства эпителия и его производных / Под ред. К.К. Флерова. М.: 1979. — 180 с.
40. Руднева Т.В. Проектирование швейных изделий по принципу строения природных оболочек / Т.В. Руднева, Е.М. Базаев // Швейная промышленность. — 2012. — №4, 2012. — с. 26-27.
41. Лотова, Л. И. Морфология и анатомия высших растений / Л. И. Лотова. — М.: «Едиториал УРСС», 2001. — 528 с.
42. Яковлев, Г. П. Ботаника: учебник для вузов / Г.П. Яковлев, В.А. Челомбитько, В. И. Дорофеев. — Спб.: СпецЛит, 2008. — 687 с.
43. Андреева, И. И. Ботаника / И.И. Андреева, Л.С. Родман. — М.: «Колосс», 2002. — 488 с.
44. Тихомиров Ф.К. Ботаника: учебник для с.-х. вузов. — М.: Высш. школа, 1978. — 439 с.
45. Тимонин, А.К. Ботаника: в 4 т. Т. 3. Высшие растения: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / А.К. Тимонин. — М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 352 с.
46. Патури, Ф. Растения – гениальные инженеры природы: пер. с нем. / Ф. Патури. — М.: Прогресс, 1979. — 272 с.
47. Li, Zhong-xue. On the vein-stiffening membrane structure of a dragonfly hindwing /

- Zhong-xue Li, Wei Shen, Gen-shu Tong, Jia-meng Tian, Loc Vu-quoc // Journal of Zhejiang University Science A. Vol. 10 (1). – 2009. – с. 72-81.
48. Song, F. Microstructure and nanomechanical properties of the wing membrane of dragonfly / F. Song, K. W. Xiao, K. Bai, Y. L. Bai // Material Science and Engineering: A. Vol. 457. – 2007. – с. 254-260.
49. Machida, K. Structure analysis of the wing of a dragonfly / K. Machida, J. Shimanuki // Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. Vol. 5852, Pt. II – Third International Conference on Experimental Mechanics and Third Conference of the Asian Committee on Experimental Mechanics, 2005. – с. 671-676.
50. Newman, D.J.S. An Approach to the Mechanics of Pleating in Dragonfly Wings / D.J.S. Newman, R.J. Wootton, // Journal of Experimental Biology. Vol.125. – 1986. — с. 361-372.
51. Wootton, R.J. The functional Morphology of the Wings of Odonata. // Adv. Odonatol. Vol. 5. – 1991. – с. 153-169.
52. Гордон, Дж. Конструкции, или почему не ломаются вещи: пер. с англ. / Дж. Гордон. — М.:Издательство «Мир», 1980. — 392 с.
53. Руднева Т.В. Моделирование текстильных оболочек по принципу строения природных структур / Т.В. Руднева, Е.М. Базаев // Дизайн и технологии. — 2012. — №28(70). — с. 36-40.
54. Rhisiart, A., Vollrath, F. Design features of the orb web of the spider, *Araneus diadematus* // Behavioral Ecology. Vol. 5. – 1993. – №3. — с. 280-287.
55. Patent 5,070,914 US, Int. Cl. D03D 13/00. Triaxial fabric of interlaced oblique yarns / Kenji Fukuta, Hiroshi Hatta, Noboru Hiroshima, Kunihiro Murayama, Toshiyuki Sugano; заявитель и патентообладатель Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha; Agency of Industrial Science and Technology. — №485,834, заявл. 28.02.1990, опубл. 10.12.1991. — 11 с.: илл.
56. Patent 6,086,968 A US, Int. Cl. B32B 1/08 D03D 3/00. Two- and three-dimensional shaped woven materials / Zvi Horovitz. — №08/827,663, заявл. 10.04.1997, опубл. 11.07.2000. — 8с.: илл.

57. Patent 6,029,350 A US, Int. Cl. B21D 53/26. Spiral woven composite flywheel rim / David Maass, Douglas M. Hoon; заявитель и патентообладатель GKN Westland Aerospace Inc. — №09/076,467, заявл. 12.05.1998, опубл. 29.02.2000. — 8 с.: илл.
58. Milwich, M. Biomimetics and technical textiles: solving engineering problems with the help of nature's wisdom / M. Milwich, T. Speck, O. Speck, T. Stegmaier, H. Planck // American Journal of Botany. Vol.93(10). — 2006. — с. 1455-1465.
59. Patent 7,946,236 B2 US, Int. Cl. B32B 7/08 A61B 17/70 D05B 93/00. Using zigzags to create three-dimensional embroidered structures / Peter Butcher; заявитель и патентообладатель Nu Vasile, Inc. — №11/968,157, заявл. 31.12.2007, опубл. 24.05.2011. — 13 с.: илл.
60. Feng, P. Large-span woven web structure made of fiber-reinforced polymer / Peng Feng, Lie-Ping Ye, J. G. Teng // Journal of composites for construction, March/April. Vol.11. — 2007. — №2. — с.110-119.
61. Pochel, T. Simple Model for the Growth of Ramified Leaf Structures / T. Pochel, H. A. Malchow // Chaos, Solitons & Fractals. Vol. 4. — 1994. — №10. — с. 1883-1888.
62. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. — Томск.: Изд-во Том. ун-та, 2002. — 128 с.
63. Dimcic M. Structural Optimization of Grid Shells based on Genetic Algorithms. — Institut fuer Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen, Stuttgart, 2011. — 199 с.
64. Скворцов А.В. Алгоритмы построения и анализа триангуляции / А.В. Скворцов, Н.С. Мирза. — Томск.: Изд-во Том. ун-та, 2006. — 168 с.
65. ГОСТ 25.601-80. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах. — М.: Изд-во стандартов, 1981.
66. Батаев, А.А., Батаев, В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: учеб. пособие / М.: Университетская книга; Логос. — 2006. — 400 с.
67. Ишлинский, А. Ю. Новый политехнический словарь / А. Ю. Ишлинский. — М.: Большая Российская энциклопедия, 2000. — 671 с.

68. ISO 12236:2006. Geosynthetics — Static puncture test (CBR test). — International Organization for Standardization, 2006. — 6 с.
69. Lomov, S. V. Non-crimp fabric composites. Manufacturing, properties and applications / Stepan V. Lomov. — Woodhead Publishing Limited, 2011. — 544 с.
70. GOM: Optical Measuring Techniques [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.gom.com/>
71. Argus. User Manual [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.gom.com/>
72. Акимочкина, И.М. Разработка метода автоматизированного проектирования разверток объемно-пространственных форм моделей одежды с учетом адресных принципов : дис. ... кандидата технических наук : 05.19.04 / Акимочкина Ирина Михайловна. — М., 2007. — 279 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Испытания на растяжение образцов с нерегулярной структурой

Механические испытания на растяжение 8 типов образцов. Методика и режимы испытаний согласованы с лабораторией 10150.

1. Аппаратура

Испытательная машина Tinius Olsen H100KU

наименование оборудования, марка, модель

2. Образцы

Число образцов: по 5 штук каждого типа

Обозначение (маркировка) образцов	Структура образцов	Материал образцов	Технология изготовления
01-41	Ортогональная структура, угол ориентации 0°	Бумага 80г/м ²	Ручная (вырезание структурных ячеек)
02-42	Ортогональная структура, угол ориентации 45°		
03-43	Некорректная структура, угол ориентации 0°		
04-44	Некорректная структура, угол ориентации 90°		
05-45	Сотовая структура, угол ориентации 0°		
06-46	Сотовая структура, угол ориентации 90°		
07-47	Структура крыла стрекозы, угол ориентации 0°		
08-48	Структура крыла стрекозы, угол ориентации 45°		
09-49	Структура крыла стрекозы, угол ориентации 90°		

3. Условия испытаний

Условия кондиционирования: ГОСТ 12423-66

Температура испытаний: 21°C

Скорость движения траверсы: 4 мм/мин

4. Результаты испытаний

Обозначение образцов	№ образца	Ширина, мм	Толщина, мм	Разрушающая нагрузка, Н	Прочность при растяжении, МПа
01-41	01	40	0,08	33,7	10,53
	02	40	0,08	38,6	12,06
	03	40	0,08	39,3	12,28
	04	40	0,08	34,7	10,84
	05	40	0,08	39,7	12,41
Среднее арифметическое:				37,2	11,62
02-42	01	40	0,08	23,2	7,25
	02	40	0,08	31,9	9,97
	03	40	0,08	24,9	7,78
	04	40	0,08	29,3	9,16
	05	40	0,08	28,7	8,97
Среднее арифметическое:				27,6	8,63
03-43	01	40	0,08	32,4	10,13
	02	40	0,08	32,2	10,06
	03	40	0,08	29,3	9,16
	04	40	0,08	39,7	12,41
	05	40	0,08	27,8	8,69
Среднее арифметическое:				32,3	10,09
04-44	01	40	0,08	56,2	17,56
	02	40	0,08	43,5	13,59
	03	40	0,08	41,6	13
	04	40	0,08	44,8	14
	05	40	0,08	50,4	15,75
Среднее арифметическое:				47,3	14,78
05-45	01	40	0,08	31,7	9,91
	02	40	0,08	20,9	6,53
	03	40	0,08	21,8	6,81
	04	40	0,08	24,9	7,78
	05	40	0,08	32,2	10,06
Среднее арифметическое:				26,3	8,22

06-46	01	40	0,08	30,8	9,63
	02	40	0,08	21,1	6,59
	03	40	0,08	32,7	10,22
	04	40	0,08	24,3	7,59
	05	40	0,08	20,6	6,44
Среднее арифметическое:				25,9	8,09

07-47	01	40	0,08	34,9	10,91
	02	40	0,08	32,9	10,28
	03	40	0,08	41,6	13
	04	40	0,08	33,4	10,44
	05	40	0,08	40,2	12,56
Среднее арифметическое:				36,6	11,44

08-48	01	40	0,08	20,8	6,5
	02	40	0,08	42,5	13,28
	03	40	0,08	42,6	13,31
	04	40	0,08	38,9	12,16
	05	40	0,08	29,7	9,28
Среднее арифметическое:				34,9	10,91

09-49	01	40	0,08	40,8	12,75
	02	40	0,08	36,4	11,38
	03	40	0,08	39,2	12,25
	04	40	0,08	30,2	9,44
	05	40	0,08	33,8	10,56
Среднее арифметическое:				35,4	11,28

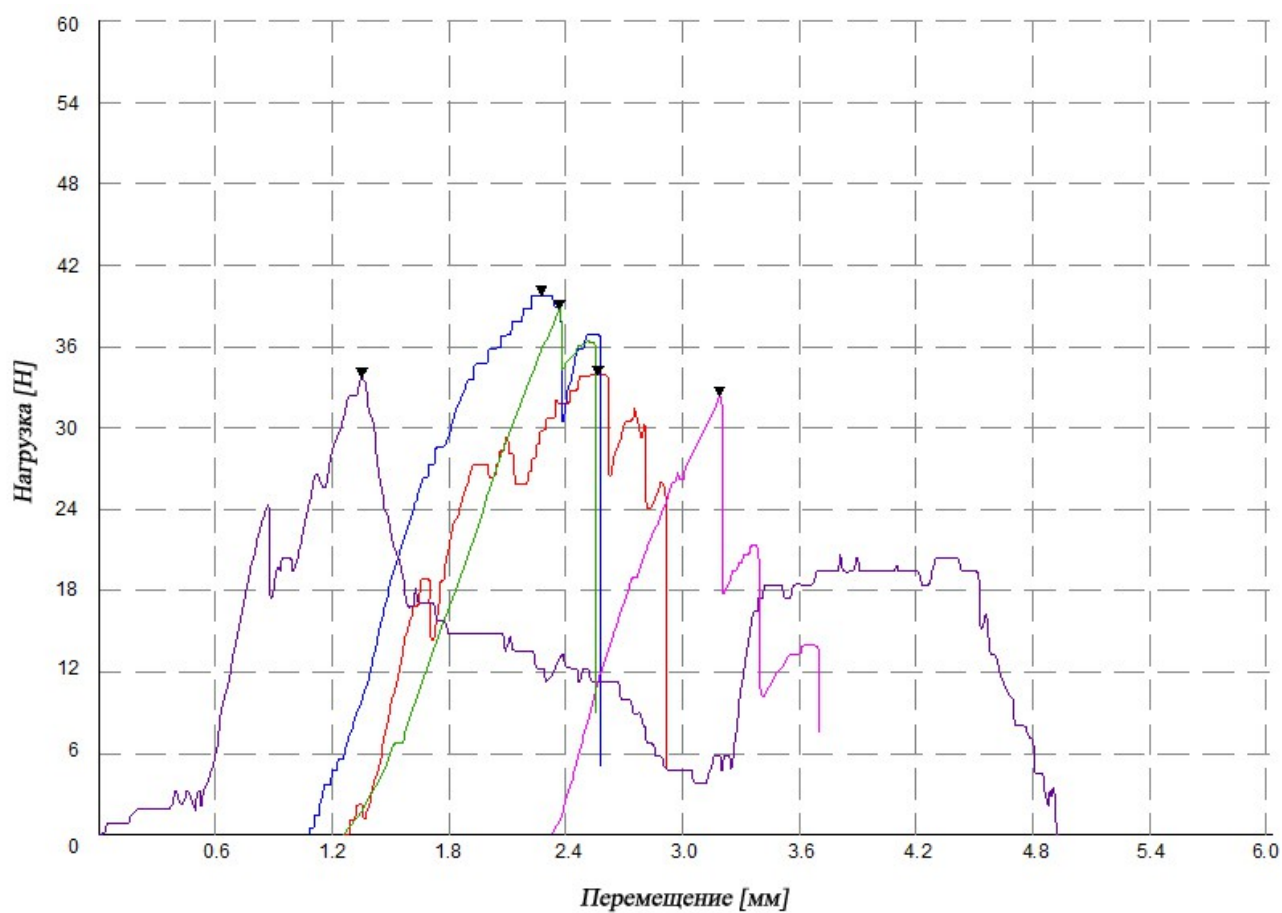


Рисунок А99 - Диаграммы испытаний образцов с ортогональной структурой; угол ориентации 0°

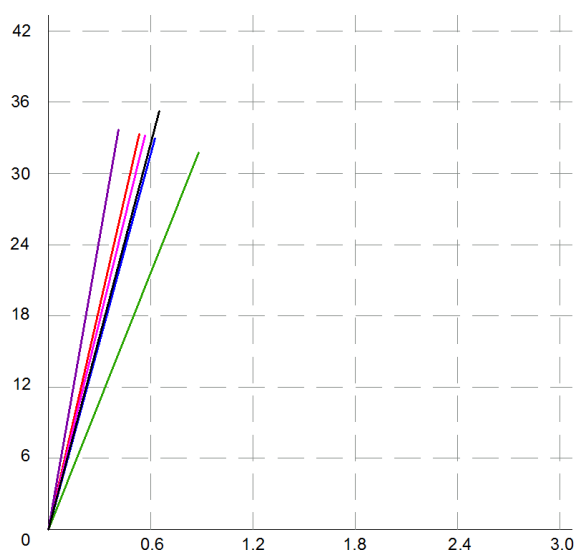


Рисунок А100 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица А10 - Разрывная нагрузка образцов с ортогональной структурой; угол ориентации 0°

Структура образца	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	33.7
		2	32.3
		3	39.3
		4	34.7
		5	39.7

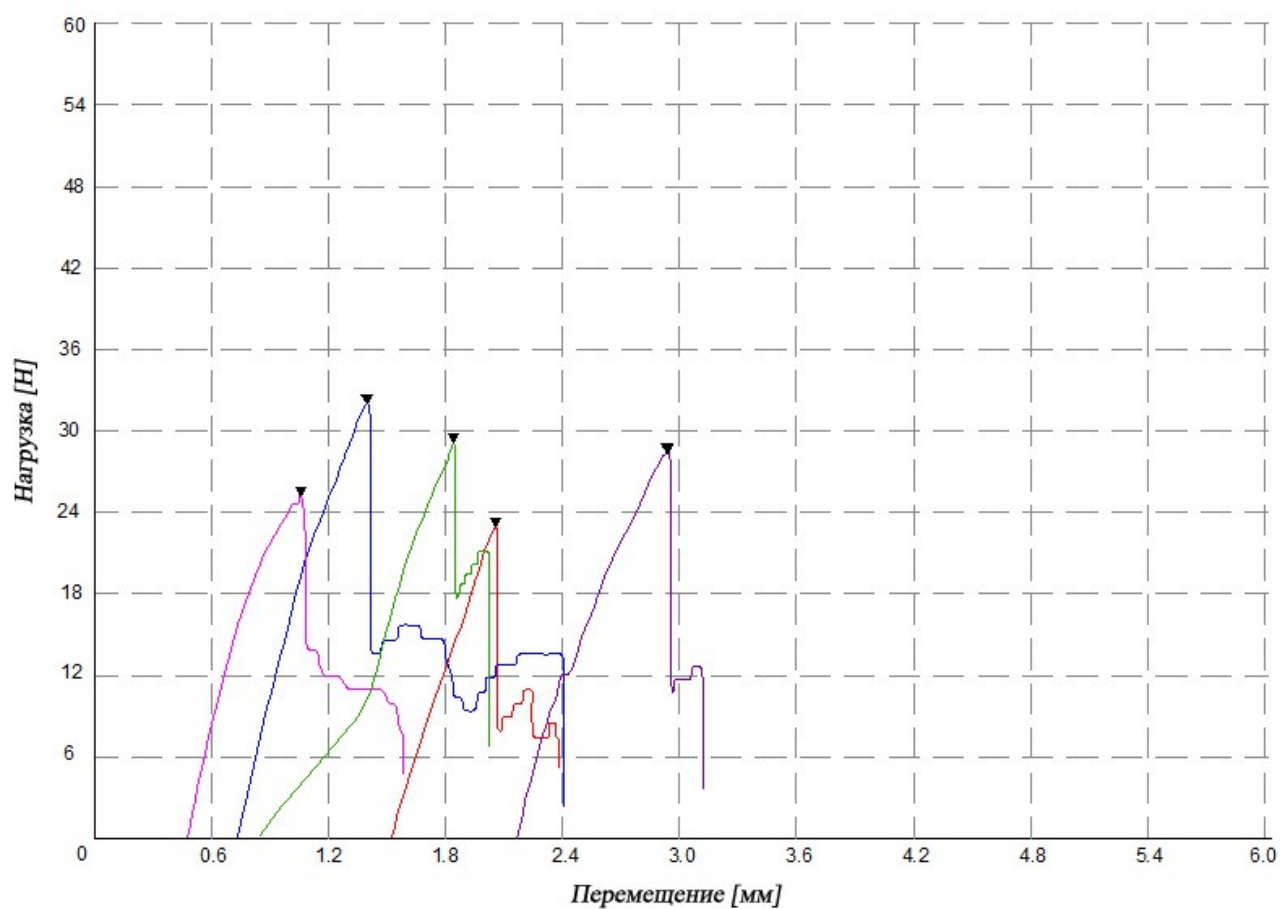


Рисунок А101 - Диаграммы испытаний образцов с ортогональной структурой; угол ориентации 45°

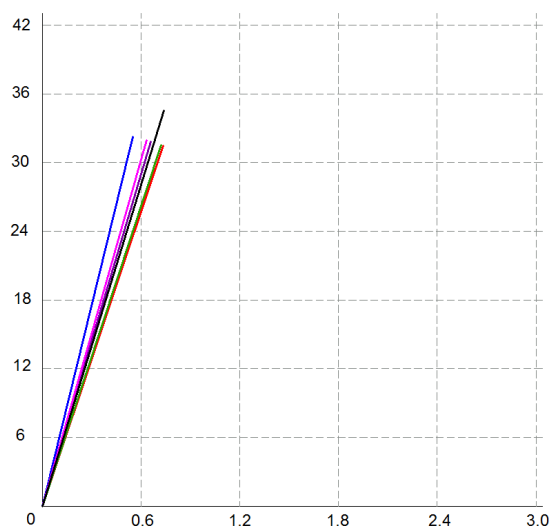


Рисунок А102 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица А11 - Разрывная нагрузка образцов с ортогональной структурой; угол ориентации 45°

Структура образца	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	23.2
		2	31.9
		3	24.9
		4	29.3
		5	28.7

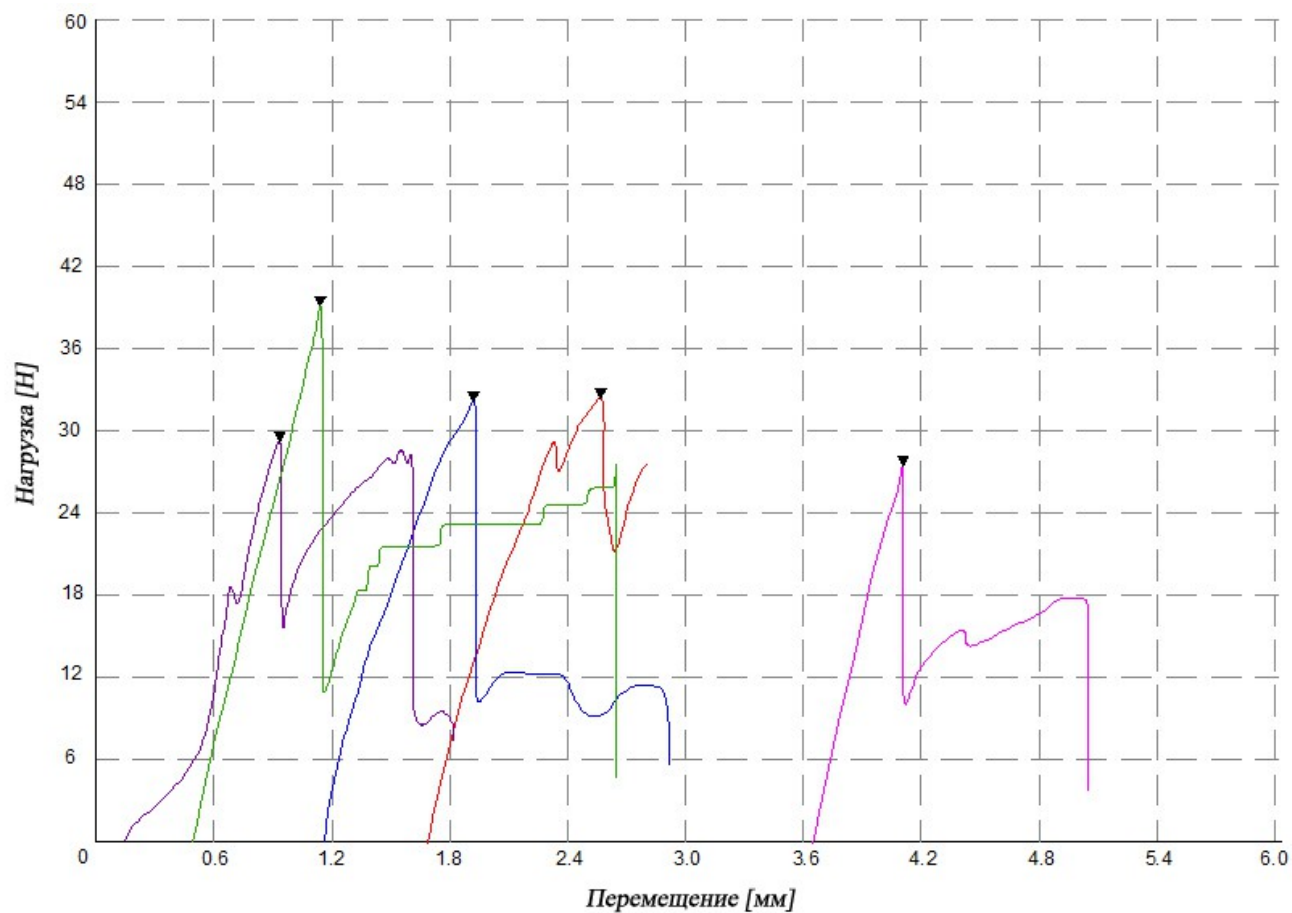


Рисунок А103 - Диаграммы испытаний образцов с некорректной структурой; угол ориентации 0°

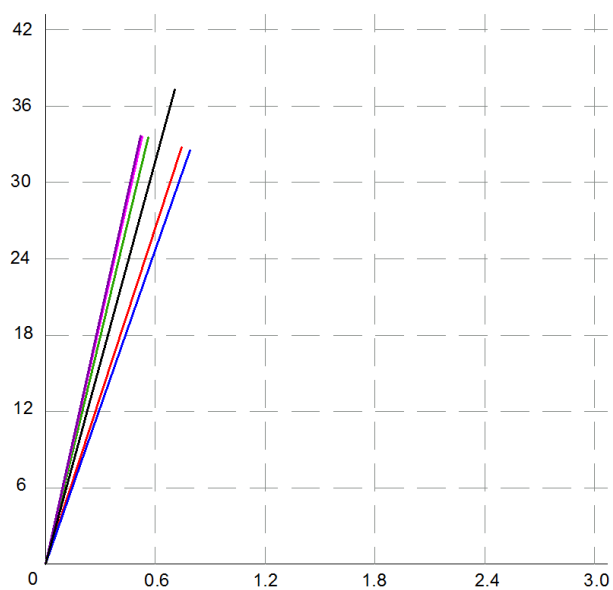


Рисунок А104 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица А12 - Разрывная нагрузка образцов с некорректной структурой; угол ориентации 0°

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	32.4
		2	32.2
		3	29.3
		4	39.7
		5	27.8

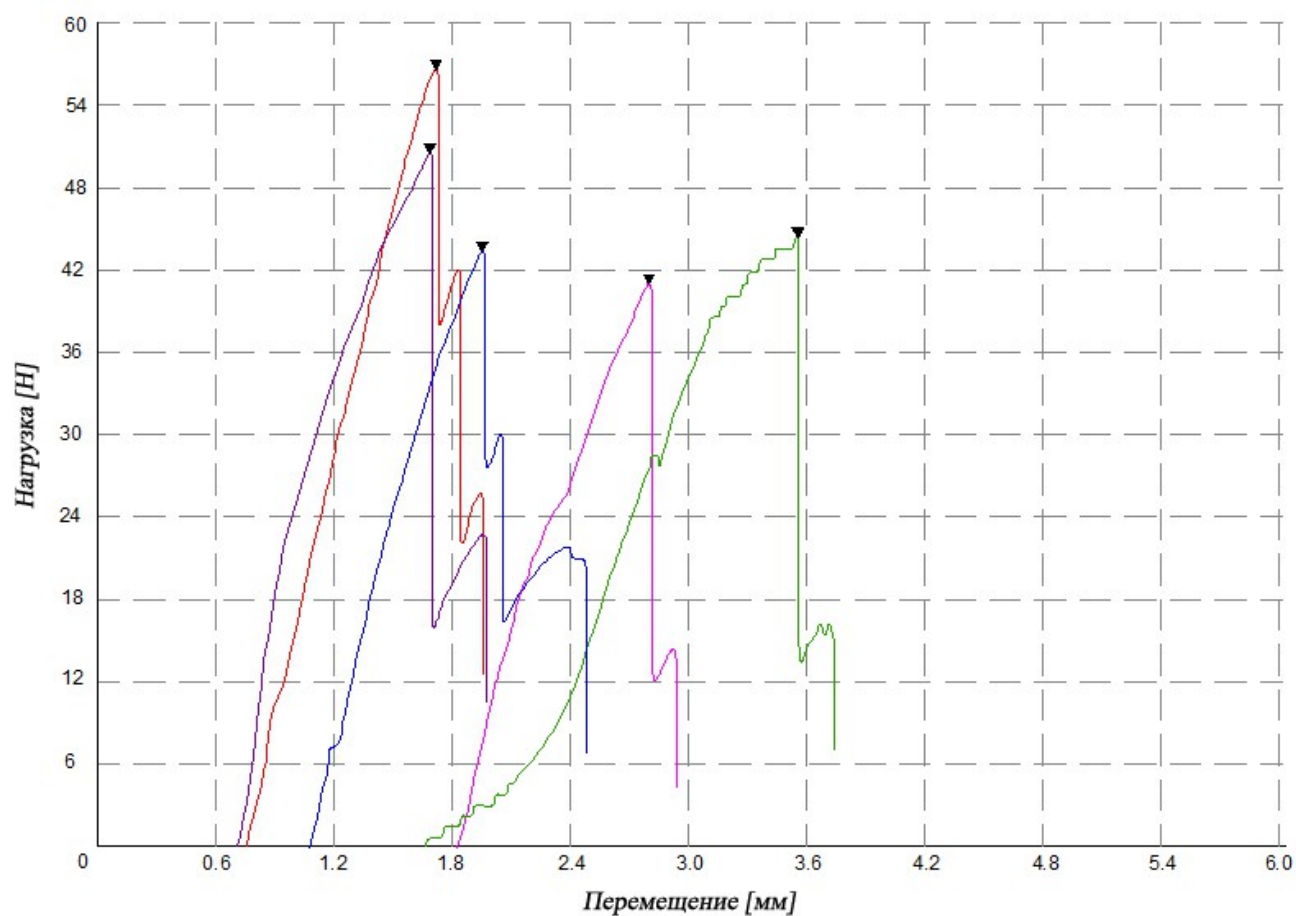


Рисунок A105 - Диаграммы испытаний образцов с некорректной структурой; угол ориентации 90°

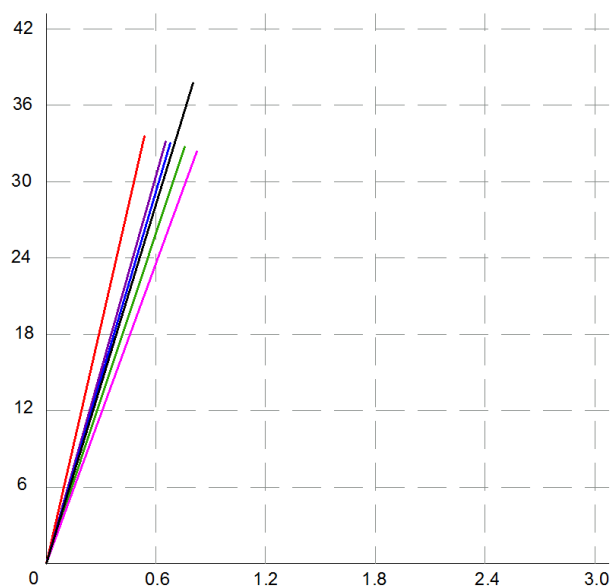


Рисунок A106 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица A13 - Разрывная нагрузка образцов с некорректной структурой; угол ориентации 90°

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [H]
  		1	56.2
		2	43.5
		3	41.6
		4	44.8
		5	50.4

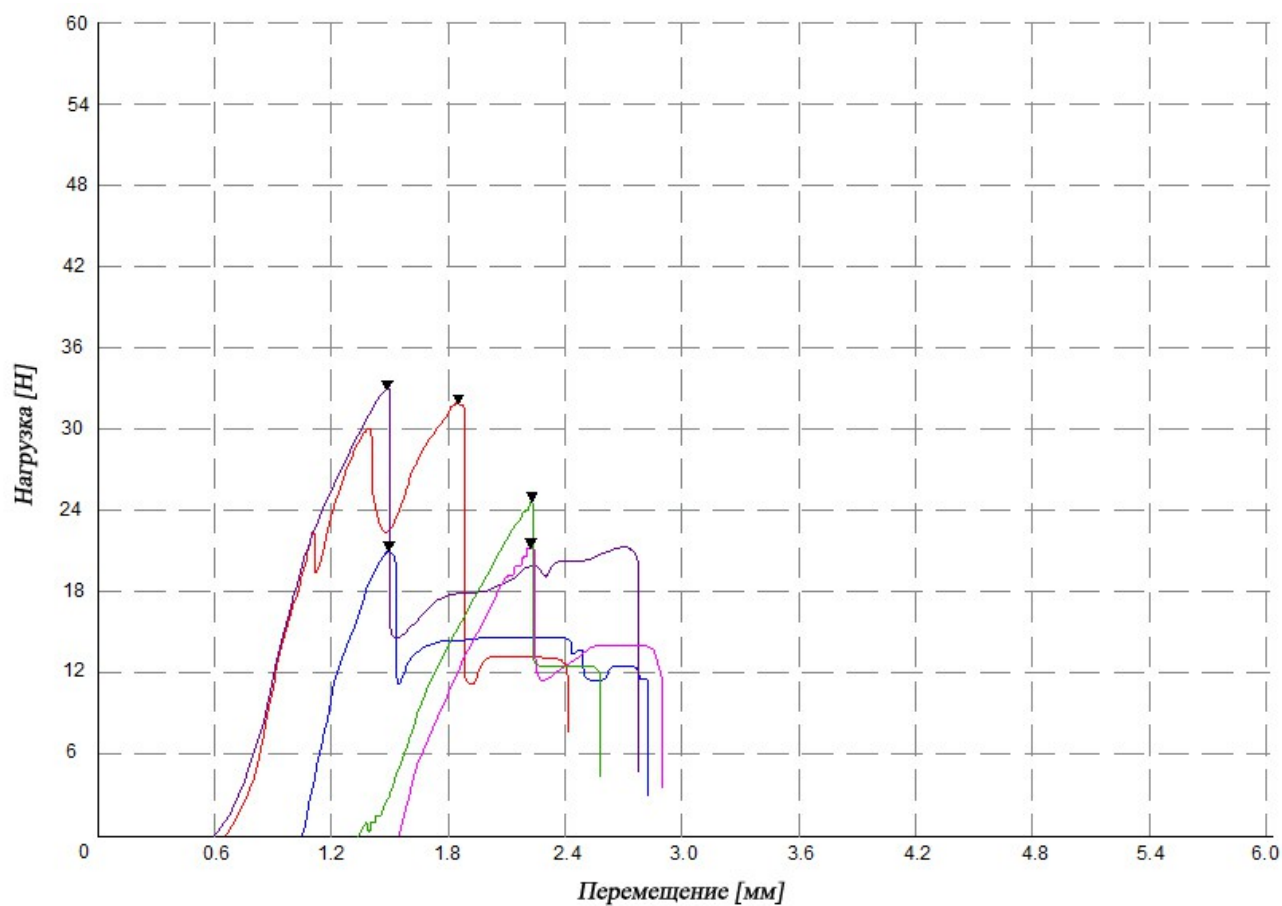


Рисунок А107 - Диаграммы испытаний образцов с сотовой структурой;
угол ориентации 0°

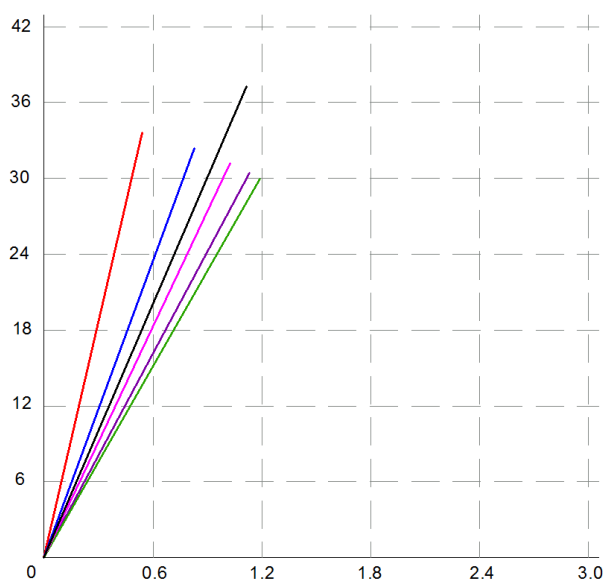
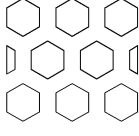


Рисунок А108 - Углы наклона участков
пропорциональности к оси деформаций

Таблица А14 - Разрывная нагрузка
образцов с сотовой структурой;
угол ориентации 0°

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	31.7
		2	20.9
		3	21.8
		4	24.9
		5	32.2

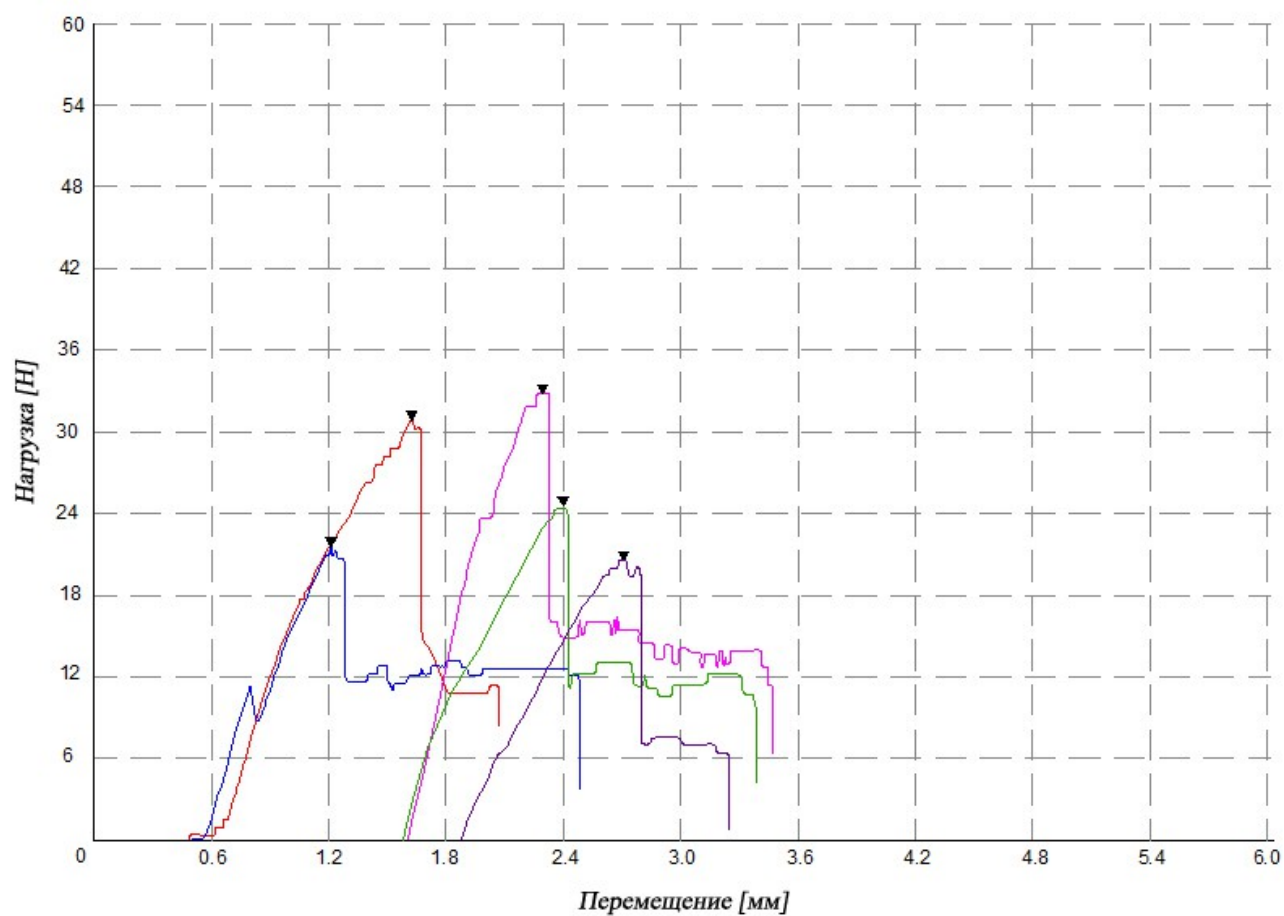


Рисунок А109 - Диаграммы испытаний образцов с сотовой структурой;
угол ориентации 90°

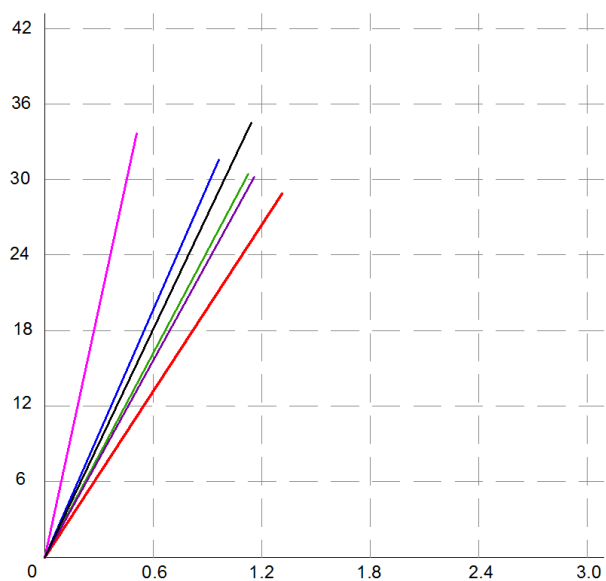


Рисунок А110 - Углы наклона участков
пропорциональности к оси деформаций

Таблица А15 - Разрывная нагрузка
образцов с сотовой структурой;
угол ориентации 90°

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	30.8
		2	21.1
		3	32.7
		4	24.3
		5	20.6

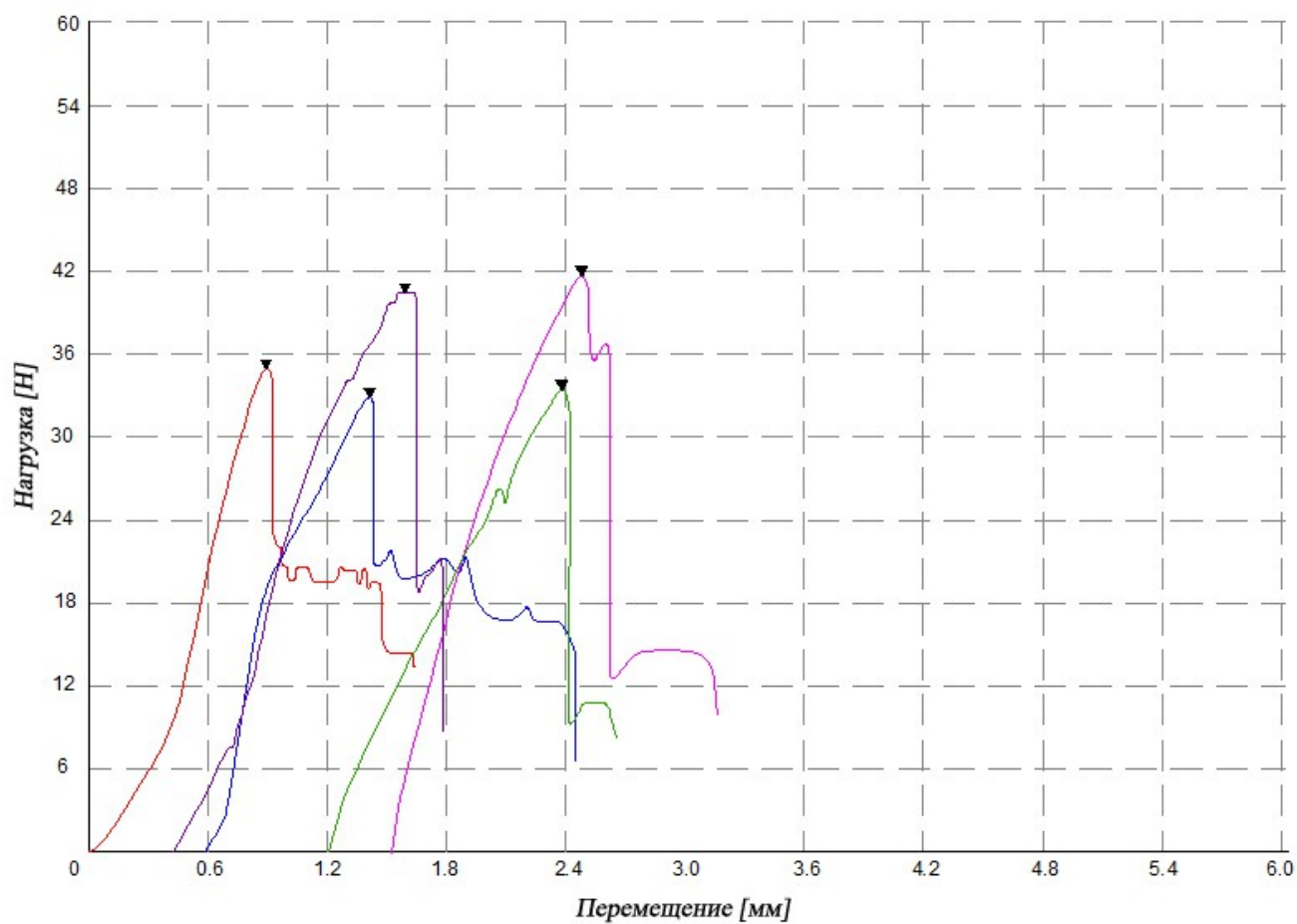


Рисунок A111 - Диаграммы испытаний образцов со структурой крыла стрекозы; угол ориентации 0°

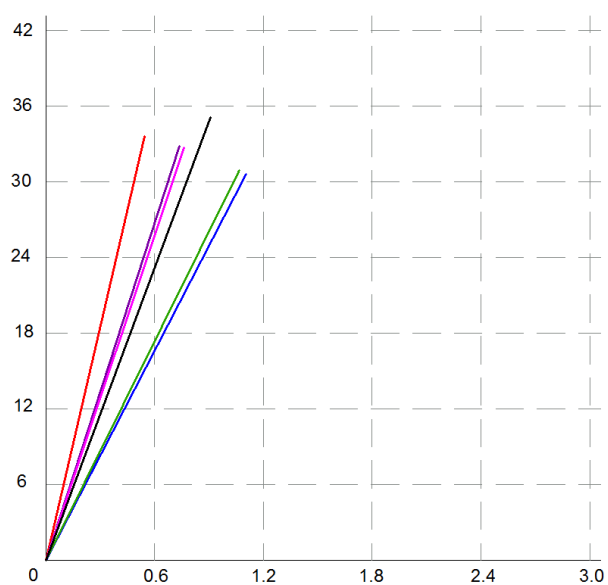
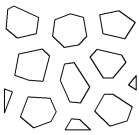


Рисунок A112 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица A16 - Разрывная нагрузка образцов со структурой крыла стрекозы; угол ориентации 0°

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [H]
		1	34.9
		2	32.9
		3	41.6
		4	33.4
		5	40.2

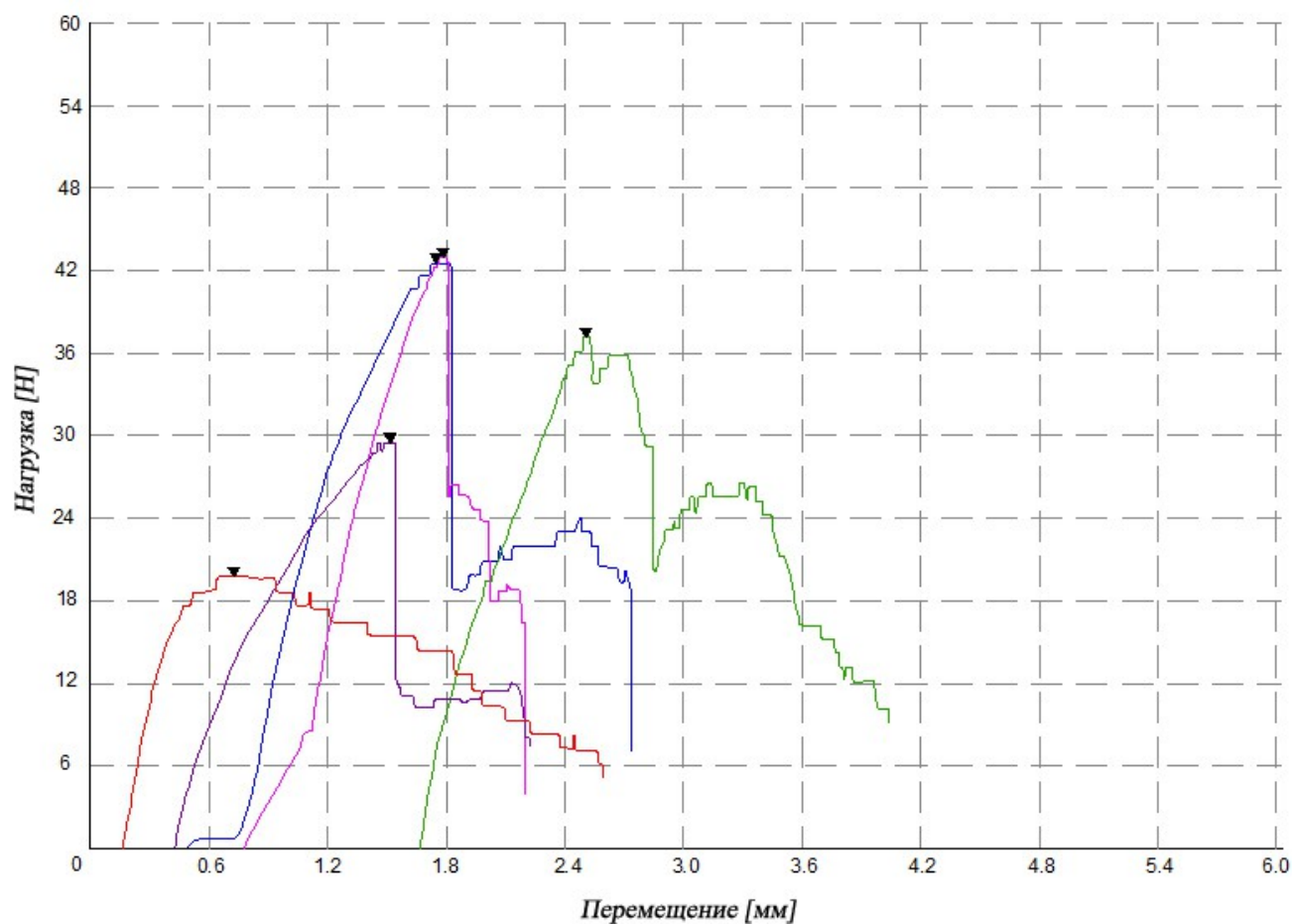


Рисунок А113 - Диаграммы испытаний образцов со структурой крыла стрекозы; угол ориентации 45°

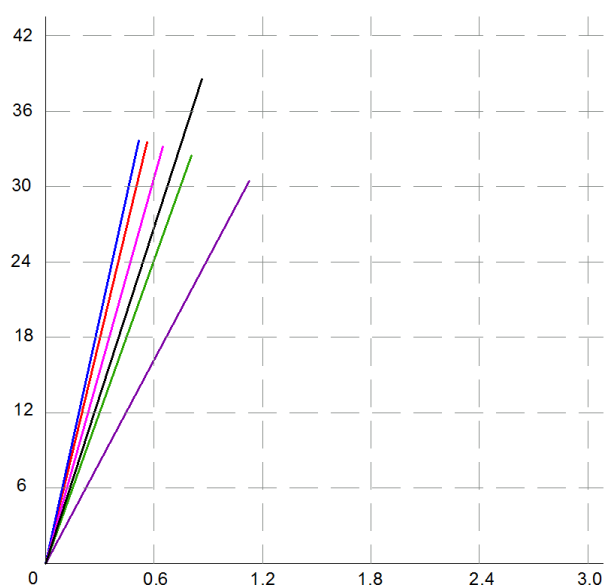
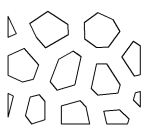


Рисунок А114 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица А17 - Разрывная нагрузка образцов со структурой крыла стрекозы; угол ориентации 45°

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	20.8
		2	42.5
		3	42.6
		4	38.9
		5	29.7

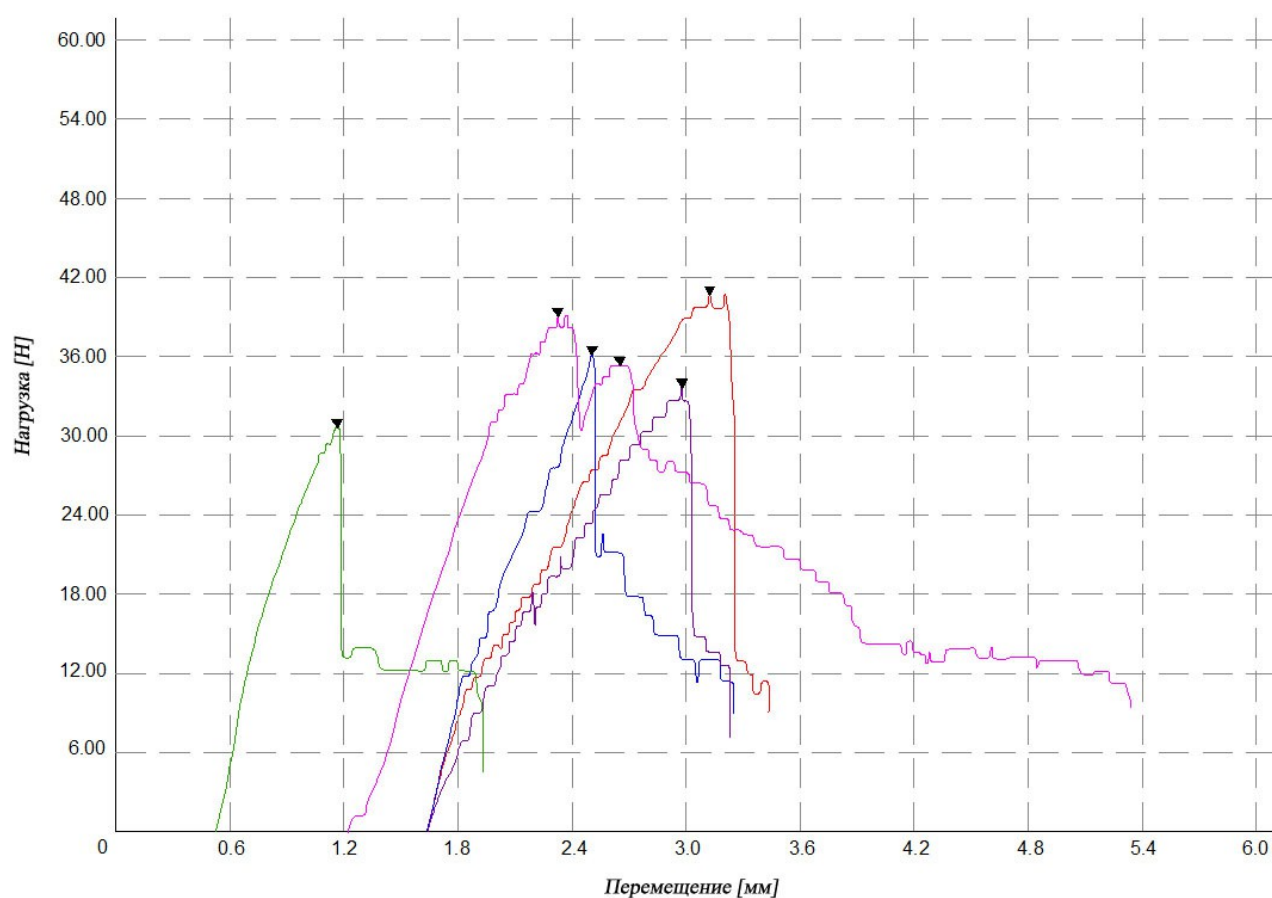


Рисунок А115 - Диаграммы испытаний образцов со структурой крыла стрекозы; угол ориентации 90°

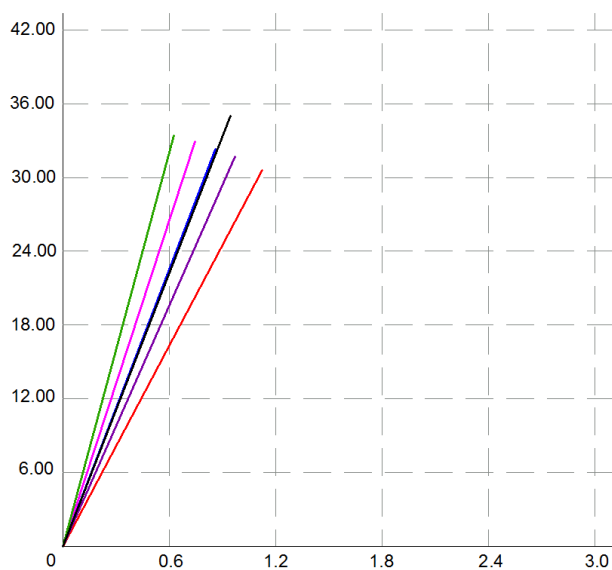
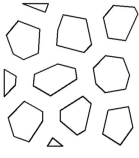


Рисунок А116 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица А18 - Разрывная нагрузка образцов со структурой крыла стрекозы; угол ориентации 90°

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	
		2	
		3	
		4	
		5	

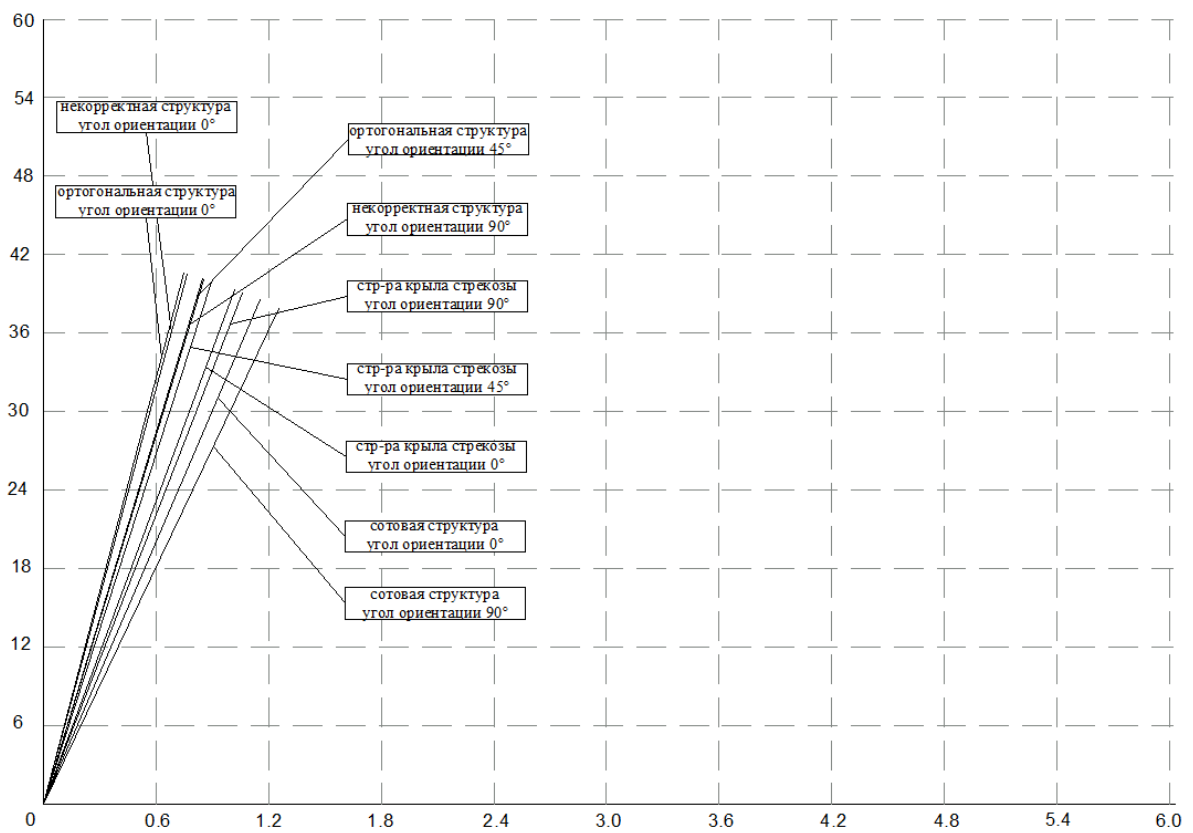


Рисунок А117 - Средние значения углов наклона участков пропорциональности к оси деформаций для каждого типа образцов

Испытание образцов из углеволокнуистого материала

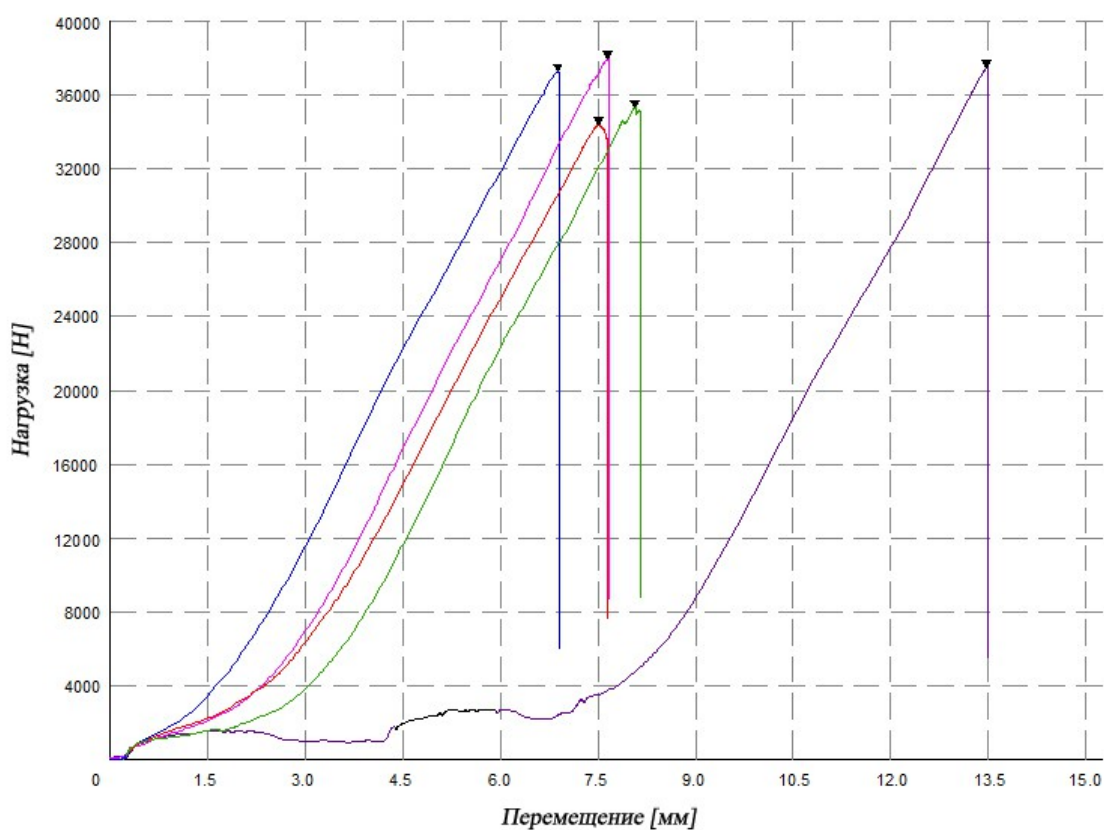


Рисунок А118 - Диаграммы испытаний образцов первого типа

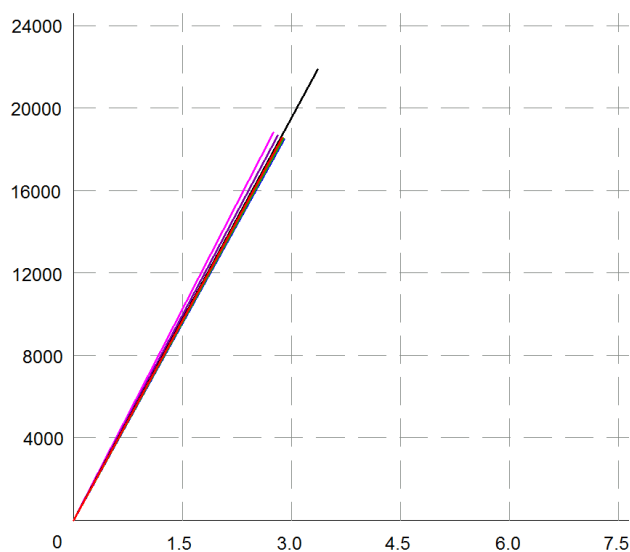


Рисунок А119 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица А19 - Разрывная нагрузка образцов первого типа

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	34500
		2	37300
		3	38000
		4	35400
		5	37500

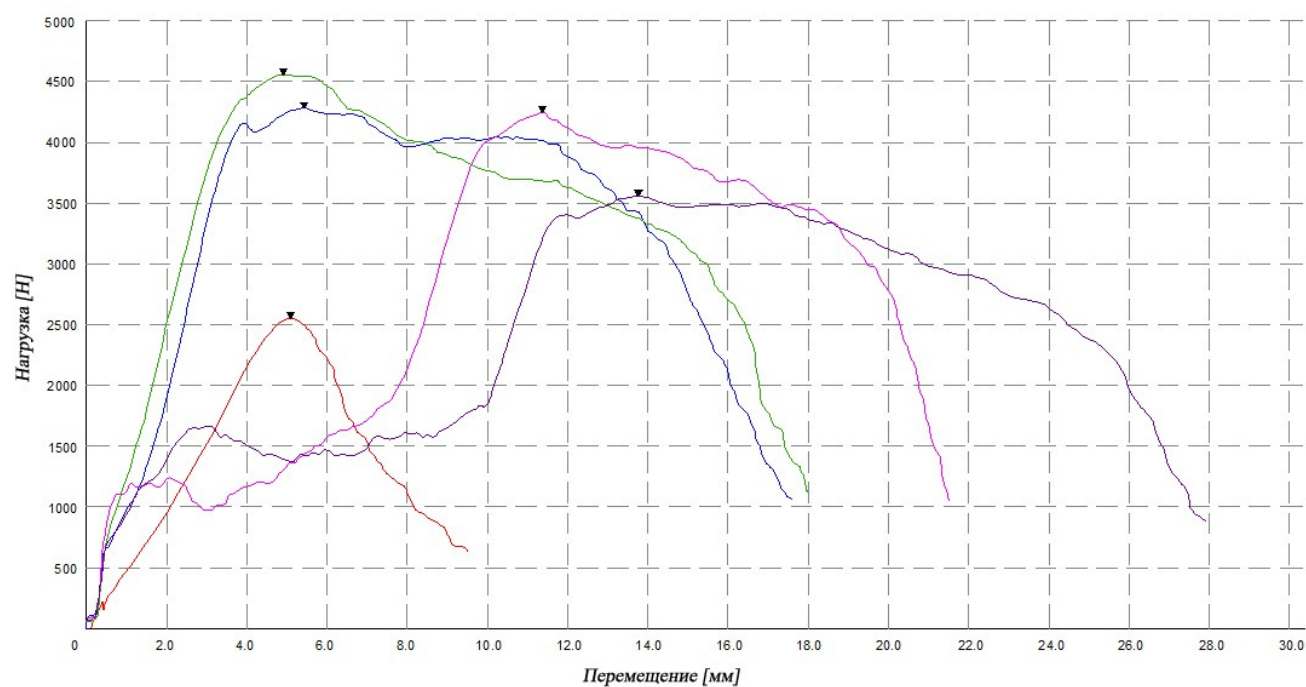


Рисунок А120 - Диаграммы испытаний образцов второго типа

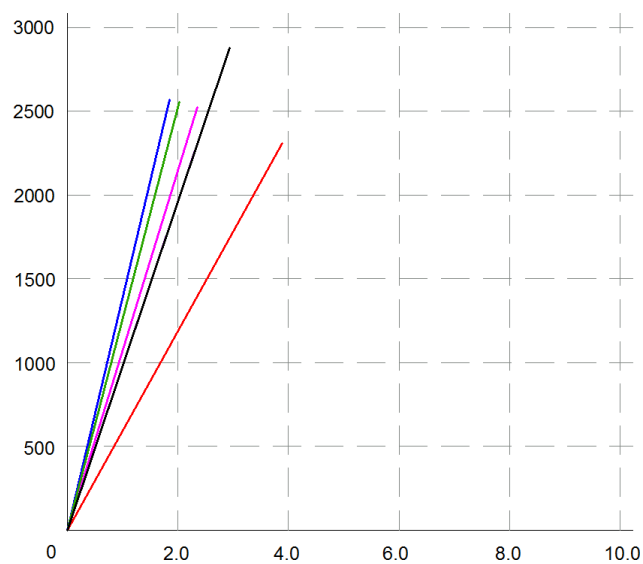
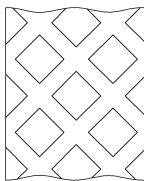


Рисунок А121 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица А20 - Разрывная нагрузка образцов второго типа

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	2540
		2	4280
		3	4240
		4	4550
		5	3550

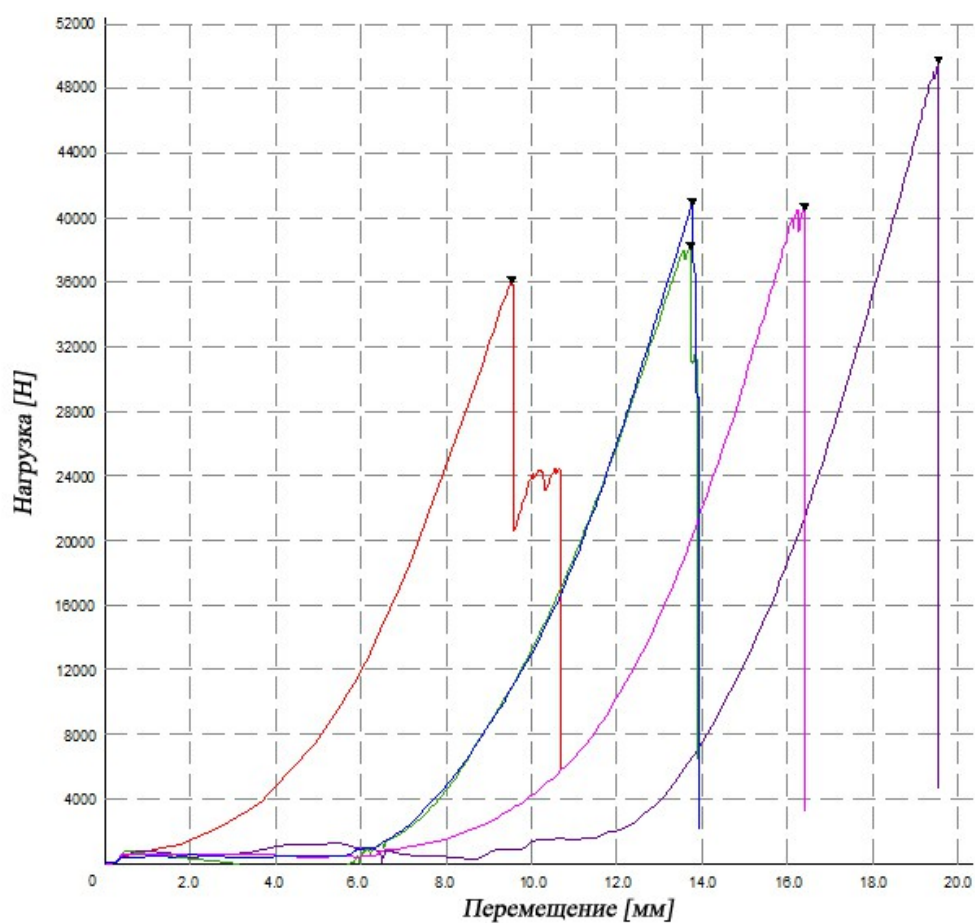


Рисунок А122 - Диаграммы испытаний образцов со структурой паутины

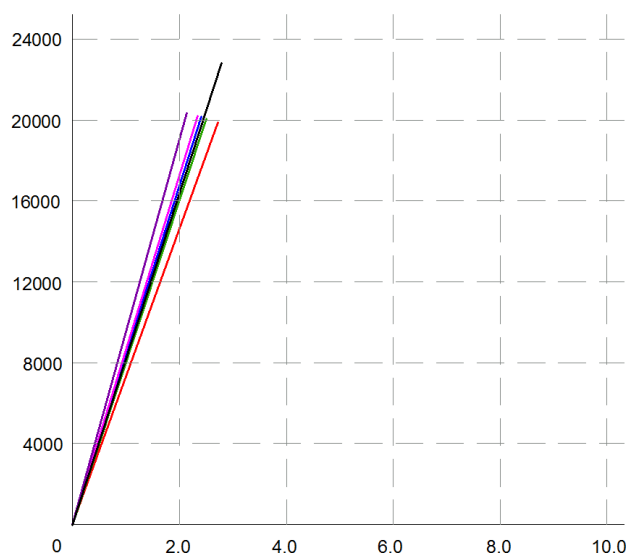
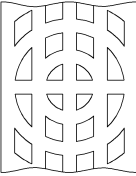


Рисунок А123 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица А21 - Разрывная нагрузка образцов со структурой паутины

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	35900
		2	40600
		3	40400
		4	38200
		5	49100

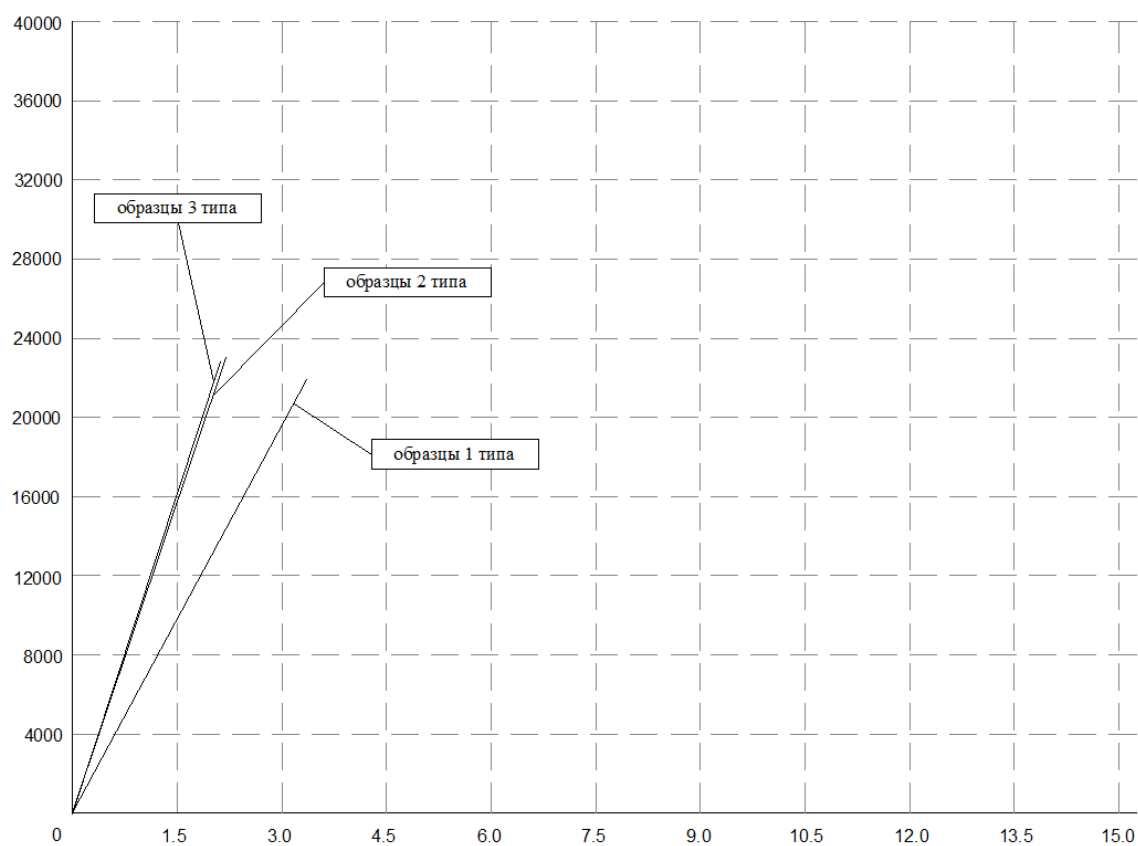


Рисунок А124 - Средние значения углов наклона участков пропорциональности к оси деформаций для каждого типа образцов

ОАО НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

127051, Москва, Петровка, 24 Тел.: (499) 794-22-75, Тел./ Факс: (499) 317-46-66 E-mail: niat3.10@gin.ru

НПЦ «НИАТ Композит»

Научно-исследовательская и испытательная лаборатория НИЛ 10160

Аттестат аккредитации № AP МАК/СЦМ/060/ИЛ

Свидетельство о признании РМРС №12.00663.120

Протокол № 131

от « 29 » октября 20 13 г.

Настоящий протокол составлен в том, что проведены механические
вид испытаний
 испытания растяжение на основании задания 131
тип испытаний
 и передан в Швейную лабораторию
лаборатория (организация), адрес
 Испытания проведены по ГОСТ 25.601-80
стандарт (НТД) на испытание

1. Аппаратура

Испытательная машина Tinius Olsen H100KU

Наименование оборудования, марка, модель

2. Образцы

Число образцов: По 5 штук каждого типа

Обозначение (маркировка) образцов	Структура образцов	КД, материал образцов	Технология изготовления
P-131-C	Стандартная	Черт. 3.005.000.019.000СБ Эпоксидное связующее Этал-Инжект, ткань углеродная Porcher 2011, нить Guttermann Tera60	Швейная технология настрачивания нитей. Контактное формование
P-131-O	Ортогональная 45°	Черт. 3.005.000.021.000СБ Эпоксидное связующее Этал-Инжект, углеродный ровинг Toho Tenax HTS5631 K12	
P-131-П	Природные оболочки	Черт. 3.005.000.023.000СБ Эпоксидное связующее Этал-Инжект, углеродный ровинг Toho Tenax HTS5631 K12	

Дата поступления образцов 23.10.2013

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

2

127051, Москва, Петровка, 24 Тел.: (499) 317-46-55, Тел/ Факс: (499) 317-46-66 E-mail: niat3.10@gin.ru

3. Условия испытаний

Условия кондиционирования: ГОСТ 12423-66

Температура испытаний: 23°C

Скорость движения траверсы 10 мм/мин

4. Результаты испытаний

Обозначение образцов	№ образца	Ширина, мм	Толщина, мм	Разрушающая нагрузка, Н	Прочность при растяжении, МПа
Р-131-С	01	39,9	2,35	34500	368
	02	41,9	2,30	37300	387
	03	40,8	2,28	38000	408
	04	40,1	2,32	35400	380
	05	39,8	2,31	37500	408
Среднее арифметическое:				36540	390
Обозначение образцов	№ образца	Ширина, мм	Толщина, мм	Разрушающая нагрузка, Н	Прочность при растяжении, МПа
Р-131-О	01	39,3	3,32	2540	19,5
	02	41,6	3,23	4280	31,8
	03	40,1	3,30	4240	32,1
	04	40,6	3,18	4550	35,2
	05	38,3	3,25	3550	28,5
Среднее арифметическое:				3832	29,4
Обозначение образцов	№ образца	Ширина, мм	Толщина, мм	Разрушающая нагрузка, Н	Прочность при растяжении, МПа
Р-131-П	01	39,8	2,94	35900	307
	02	40,7	3,26	40600	306
	03	39,6	2,86	40400	357
	04	39,4	2,71	38200	358
	05	38,6	2,94	49100	433
Среднее арифметическое:				40840	352

Дата проведения испытаний 29.10.2013

Протокол составлен на 2 стр.

Испытания провел

Рябовол Д.Ю.

фамилия и.о.

Подпись

Начальник лаборатории НИЛ 10160

Шершак П.В.

фамилия и.о.

Подпись

Протокол №131

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Испытания на статический прокол образцов с нерегулярной структурой

Испытания образцов из углеволоконной нити

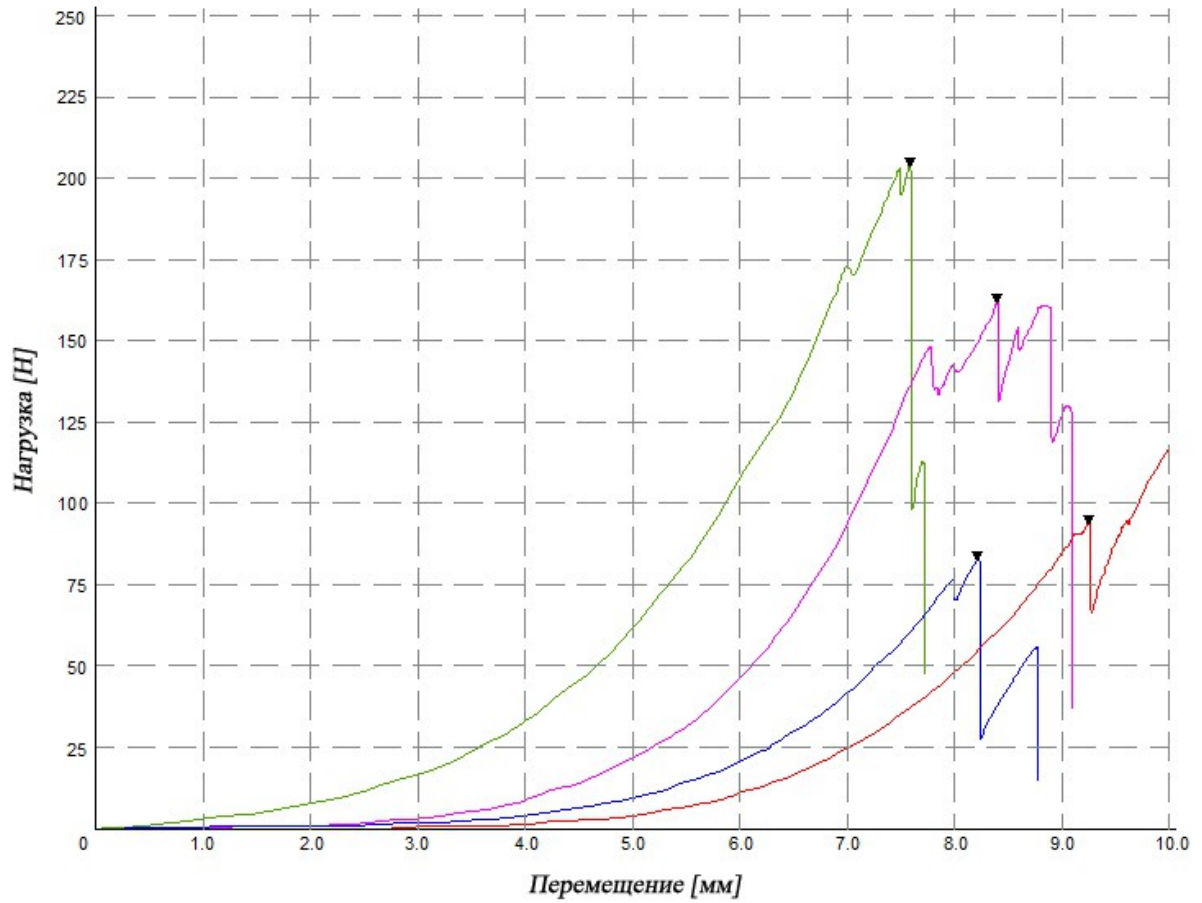


Рисунок Б125 - Диаграмма испытаний образцов с ортогональной структурой

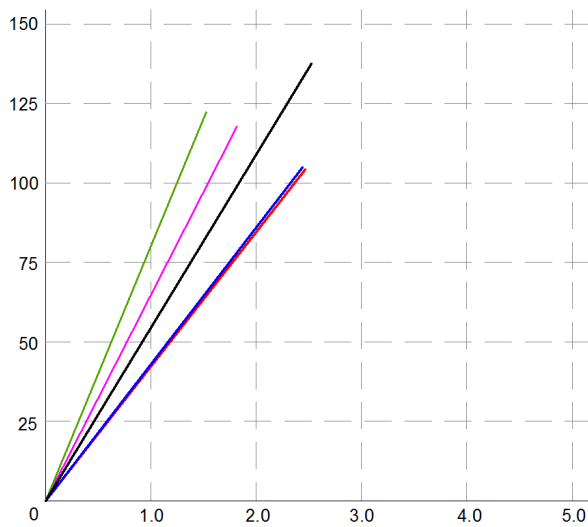


Рисунок Б126 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица Б22 - Разрывная нагрузка образцов с ортогональной структурой

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	126.5
		2	82.6
		3	80.7
		4	101.6

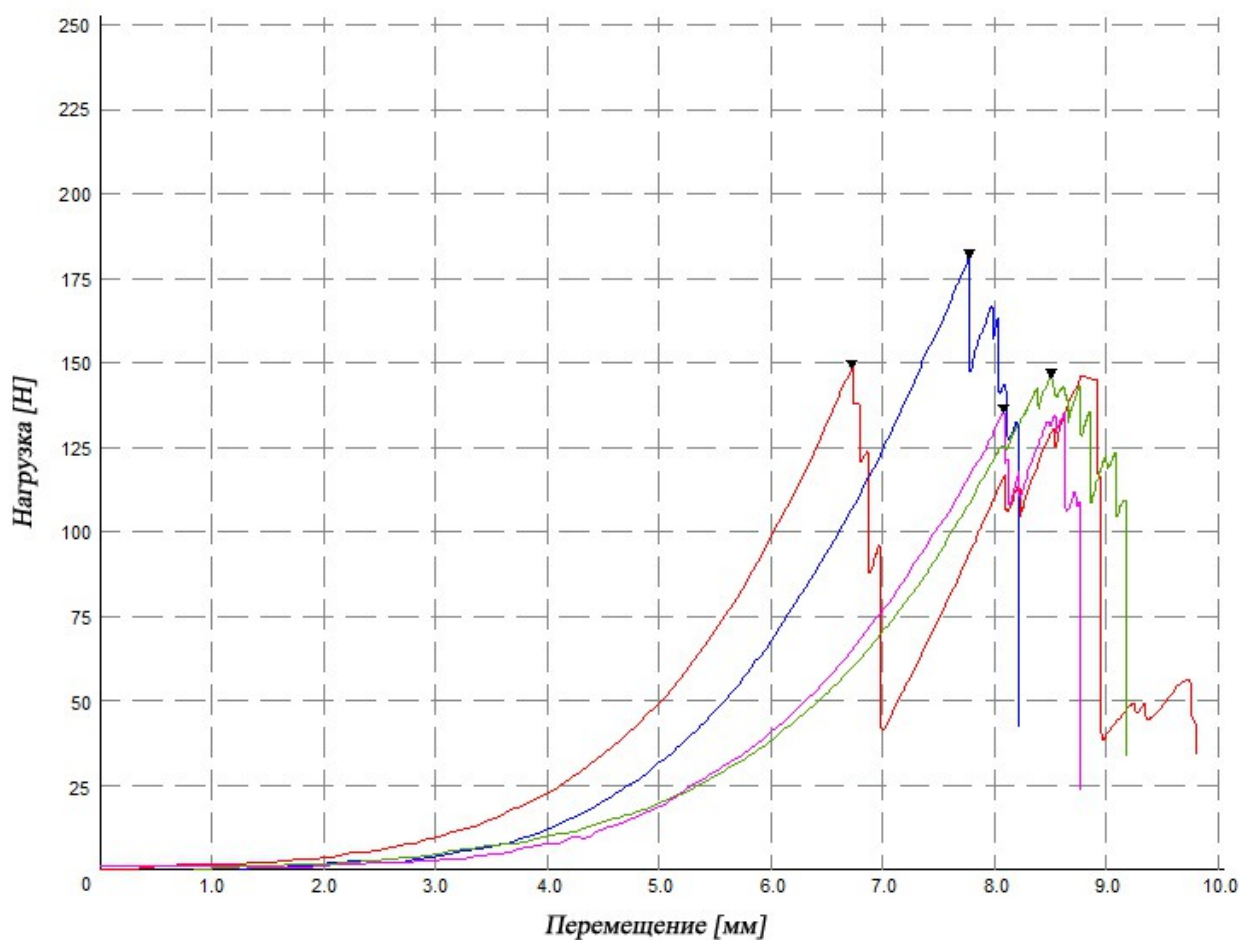


Рисунок Б127 - Диаграммы испытаний образцов со структурой паутины

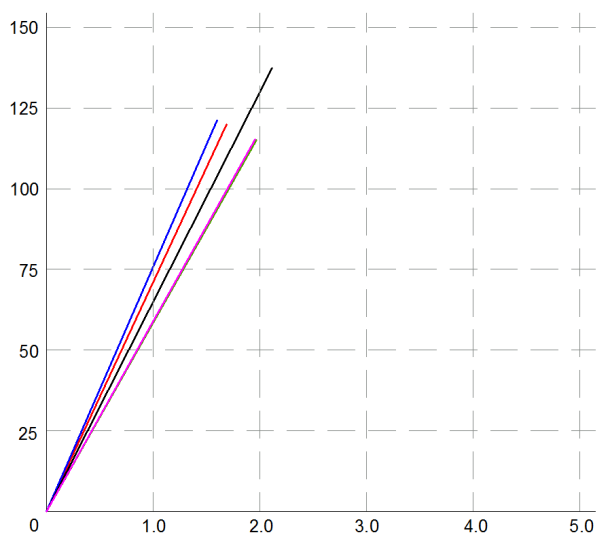
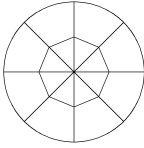


Рисунок Б128 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица Б23 - Разрывная нагрузка образцов со структурой паутины

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	148.4
		2	180.7
		3	134.8
		4	145.2

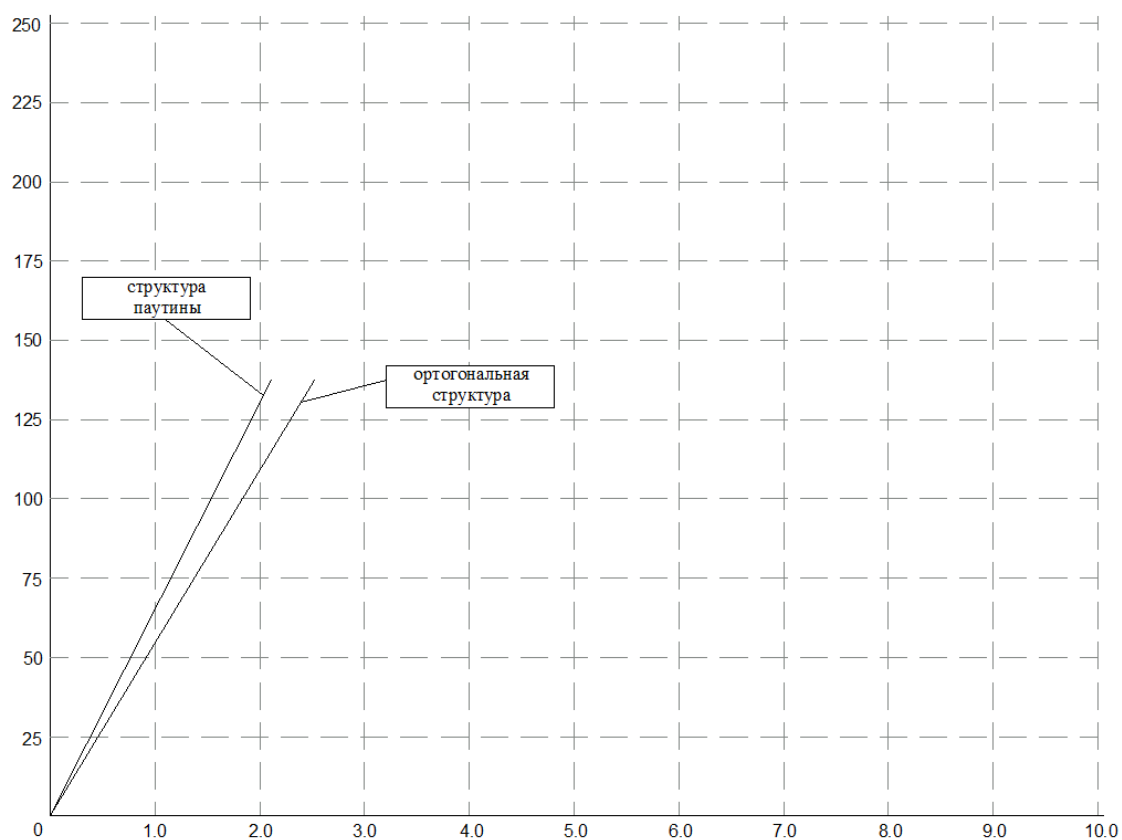


Рисунок Б129 - Средние значения углов наклона участков пропорциональности к оси деформаций для каждого типа образцов

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

127051, Москва, Петровка, 24 Тел.: (499) 317-46-55, Тел/Факс: (499) 317-46-66 E-mail: niat3.10@gin.ru

Центр «НИАТ-Композит»

Лаборатория метрологии и контроля качества продукции

Протокол № 093

от « 18 » Января 20 12 г.

Настоящий протокол составлен в том, что проведены механические испытания на продавливание образцов 2 типов.

1. АппаратураИспытательная машина Tinius Olsen H100KU**2. Состав образцов**

№ образцов	Материал	Размеры образцов, мм	Структура образцов	Технология изготовления
O/01-O/04	Углеродное волокно Порше К-12	Ø55	ортогональная	Ручное плетение
P/01-P/04	Углеродное волокно Порше К-12	Ø55	радиальная	Ручное плетение

3. Условия испытаний

Испытания:	<u>Продавливание монетой «1 рубль» Банка России.</u>
Кондиционирование:	<u>Скорость – 4 мм/мин</u>
Число образцов:	<u>по ГОСТ 12423-66</u>
Условия испытаний:	<u>4 штуки для каждого типа</u>
	<u>(20±3)⁰С</u>

4. Результаты испытаний

Испытание на растяжение образцов				
Тип образца	№ образца	Диаметр, мм		Разрушающая нагрузка, Н
Ортогональная структура	01	55		126,5
	02	55		82,6
	03	55		80,7
	04	55		101,6
Среднее арифметическое:				97,9
Радиальная структура	01	55		148,4
	02	55		180,7
	03	55		134,8
	04	55		145,2
Среднее арифметическое:				152,3

Графики испытаний всех образцов в электронном виде были переданы Базаеву Е.М.

Испытания провел

Рябовол Д.Ю.

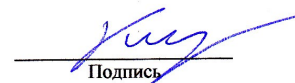
фамилия и.о.


Подпись

Начальник лаборатории 10160

Шершак П.В.

фамилия и.о.


Подпись

Испытание образцов из углеволокнистого ровинга,
изготовленных методом настрачивания

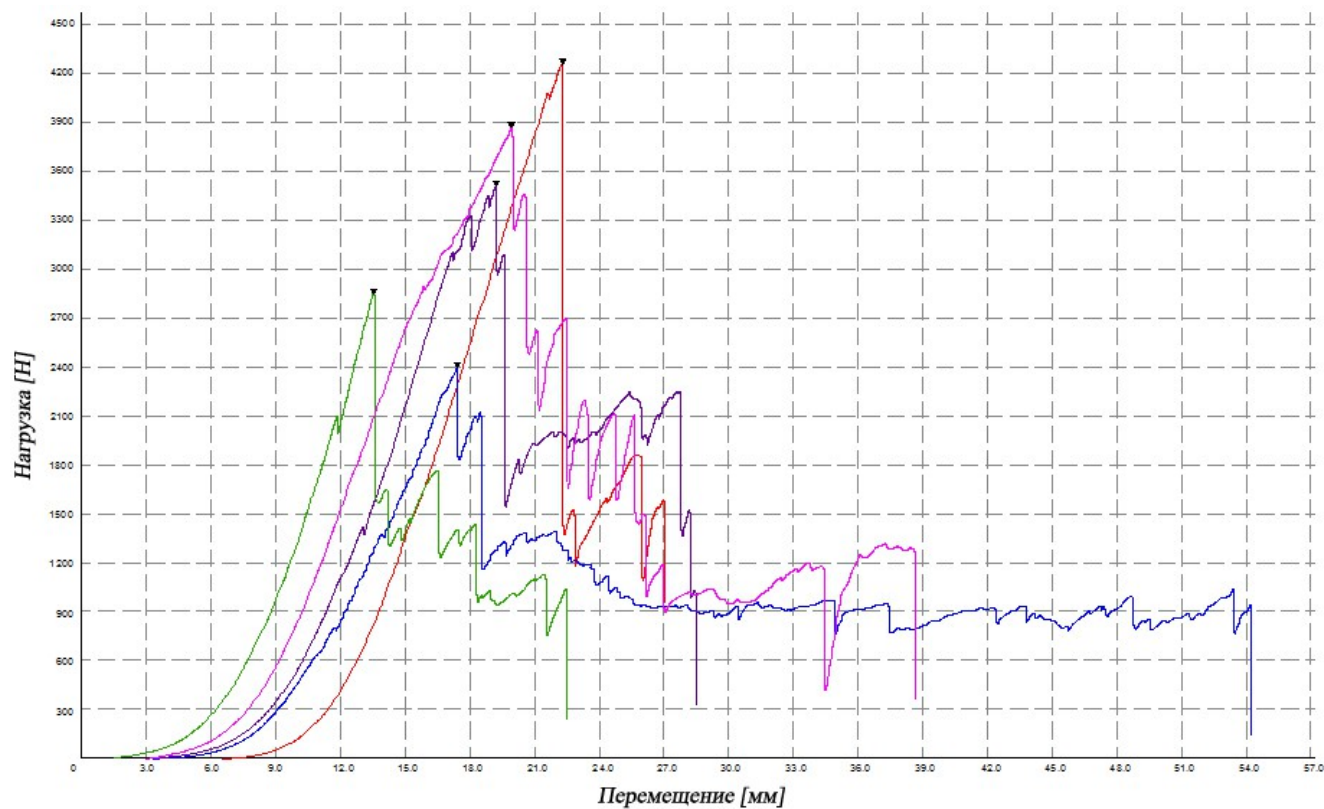


Рисунок Б130 - Диаграммы испытаний образцов с ортогональной структурой

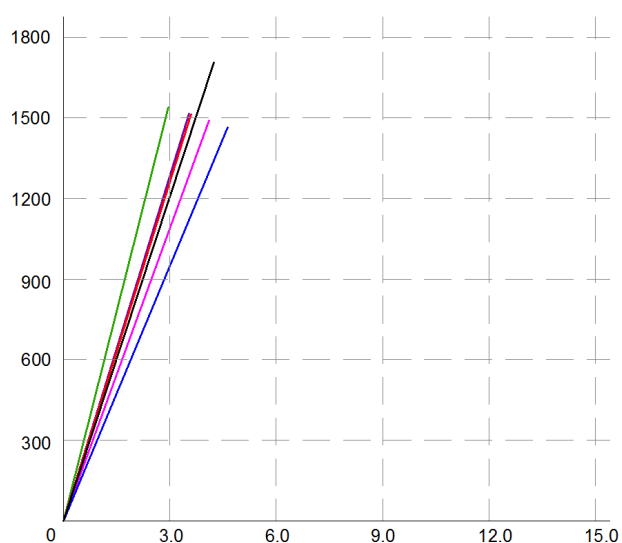


Рисунок Б131 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица Б24 - Разрывная нагрузка образцов с ортогональной структурой

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	4260
		2	2390
		3	3860
		4	2840
		5	3510

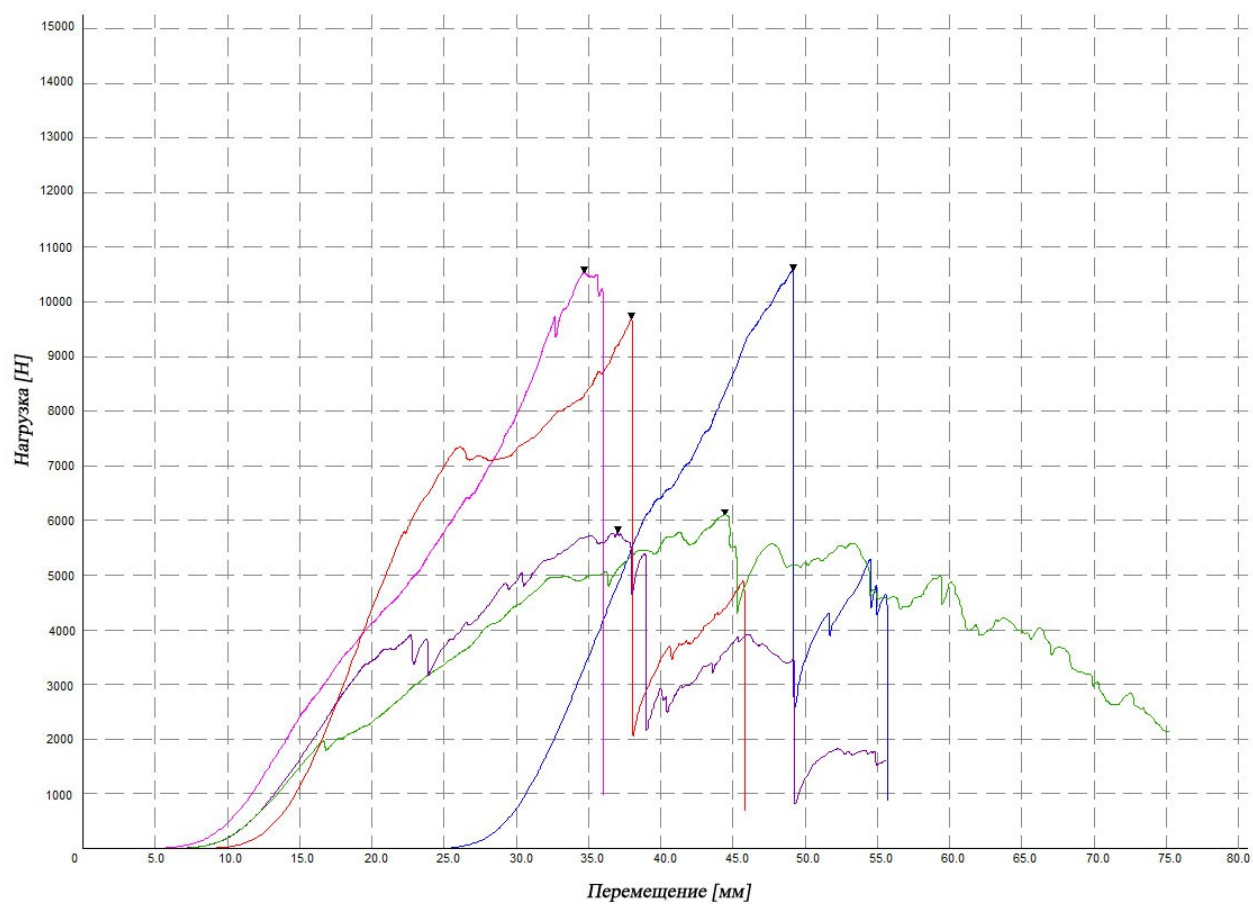


Рисунок Б132 - Диаграммы испытаний образцов со структурой паутины

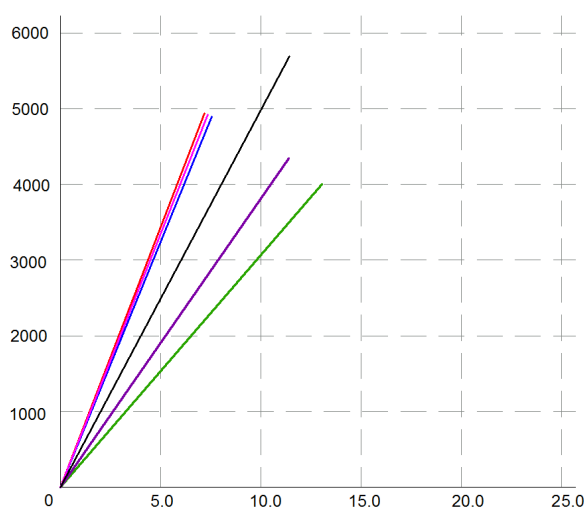
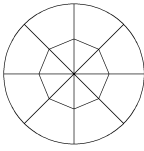


Рисунок Б133 - Углы наклона участков пропорциональности к оси деформаций

Таблица Б25 - Разрывная нагрузка образцов со структурой паутины

Структура образцов	Обозначение образца	№ образца	Максимум нагрузки, [Н]
		1	9740
		2	10650
		3	10180
		4	6120
		5	5800

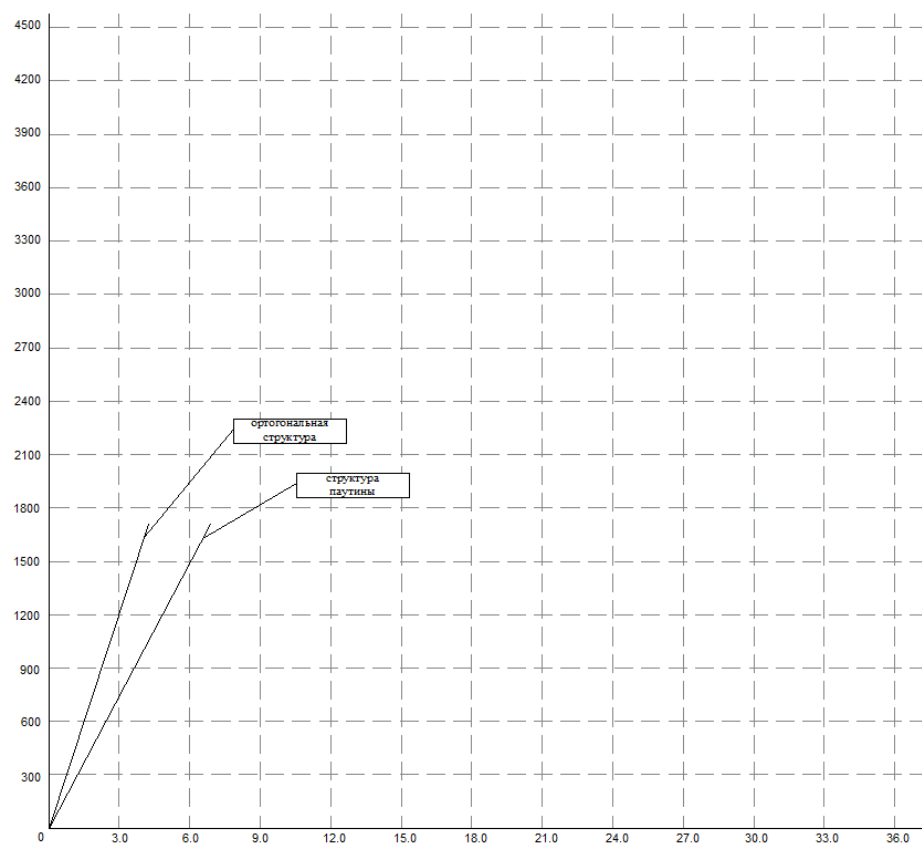


Рисунок Б134 - Средние значения углов наклона участков пропорциональности к оси деформаций для каждого типа образцов

ОАО НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

127051, Москва, Петровка, 24 Тел.: (499) 794-22-75. Тел/ Факс: (499) 317-46-66 E-mail: niat3.10@gin.ru

НПЦ «НИАТ Композит»

Научно-исследовательская и испытательная лаборатория НИЛ 10160

Аттестат аккредитации № AP МАК/СЦМ/060/ИЛ

Свидетельство о признании РМРС №12.00663.120

Протокол № 136

от « 17 » января 20 14 г.

Настоящий протокол составлен в том, что проведены механические
вид испытанийиспытания статический прокол на основании задания 136
тип испытанийи передан в НИС 10110Испытания проведены по ISO 12236-2009 лаборатория (организация), адрес

стандарт (НТД) на испытание

1. АппаратураИспытательная машина: Tinius Olsen H100KU

Наименование оборудования, марка, модель

2. ОбразцыЧисло образцов: По 5 каждого типа

Обозначение (маркировка) образцов	Структура образцов	КД, материал образцов	Технология изготовления
ПР-136-1	Ортогональная	Черт. 3.005.000.024.001 Эпоксидное связующее ЭТАЛ, углеволокно TORAY T700SC, водорастворимая подложка	Настрачивание углеволокна на машине ZSK
ПР-136-2	«Паутина»	Черт. 3.005.000.024.003 Эпоксидное связующее ЭТАЛ, углеволокно TORAY T700SC, водорастворимая подложка	

Дата поступления образцов 14.01.2014

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

127051, Москва, Петровка, 24 Тел.: (499) 317-46-55. Тел/ Факс: (499) 317-46-66 E-mail: niat3.10@gin.ru

2

3. Условия испытаний

Условия кондиционирования: ISO 554

Температура испытаний: 21°C

Скорость движения траверсы: 50 мм/мин

4. Результаты испытаний

Обозначение образцов	№ образца	Разрушающая нагрузка, Н
ПР-136-1	01	4260
	02	2390
	03	3860
	04	2840
	05	3510
Среднее арифметическое:		3372

Обозначение образцов	№ образца	Разрушающая нагрузка, Н
ПР-136-2	01	1399
	02	1714
	03	996
	04	1671
	05	1764
Среднее арифметическое:		1509

Дата проведения испытаний 16.01.2014

Протокол составлен на 2 стр.

Испытания провел

Рябовол Д.Ю.

фамилия и.о.

Подпись

Начальник лаборатории НИЛ 10160

Шершак П.В.

фамилия и.о.

Подпись

Протокол №136

ОАО НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

127051, Москва, Петровка, 24 Тел.: (499) 794-22-75, Тел/ Факс: (499) 317-46-66 E-mail: niat3.10@gin.ru

НПЦ «НИАТ Композит»

Научно-исследовательская и испытательная лаборатория НИЛ 10160

Аттестат аккредитации № AP МАК/СЦМ/060/ИЛ

Свидетельство о признании РМРС №12.00663.120

Протокол № 140

от « 02 » апреля 20 14 г.

Настоящий протокол составлен в том, что проведены механические
вид испытаний
 испытания статический прокол на основании задания 140
тип испытаний
 и передан в НИС 10140
лаборатория (организация), адрес
 Испытания проведены по ISO 12236-2009
стандарт (НТД) на испытание

1. АппаратураИспытательная машина Tinius Olsen H100KUНаименование оборудования, марка, модель**2. Образцы**Число образцов: 5

Обозначение (маркировка) образцов	КД, структура, материал образцов	Технология изготовления
ПР-140	Черт. 3.005.000.024.006 Эпоксидное связующее ЭТАЛ, углеволокно TORAY T700SC, водорастворимая подложка	Настрачивание на машине ZSK

Дата поступления образцов 31.03.2014**3. Условия испытаний**Условия кондиционирования: ISO 554Температура испытаний: 21°CСкорость движения траверсы: 50 мм/мин

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

127051, Москва, Петровка, 24 Тел.: (499) 317-46-55, Тел/ Факс: (499) 317-46-66 E-mail: niat3.10@gin.ru

2

4. Результаты испытаний

Обозначение образцов	№ образца	Масса, г	Разрушающая нагрузка, Н
ПР-140	01	52,9	9740
	02	68,2	10650
	03	58,2	10180
	04	52,9	6120*
	05	61,1	5800*
Среднее арифметическое:		58,7	10190

* Данные по разрушающей нагрузке не учитывались при расчете среднего арифметического значения (проскальзывание образцов в зажимах)

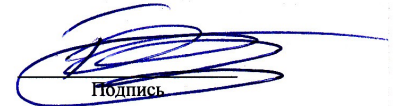
Дата проведения испытаний 01.04.2014

Протокол составлен на 2 стр.

Испытания провел

Рябовол Д.Ю.

фамилия и.о.


Подпись

Начальник лаборатории НИЛ 10160

Шершак П.В.

фамилия и.о.


Подпись

Протокол №140

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Исследования формообразования нерегулярных оболочек

Таблица В1 - Изменения сетевых углов оболочки со структурой крыла стрекозы

Наим. угла	Величина нач., град	Величина изм., град	Разница, град
P1	121	85	36
P2	111	151	40
P3	136	137	1
P4	100	72	28
P5	114	151	37
P6	138	137	1
Q1	121	97	24
Q2	134	143	9
Q3	101	128	27
Q4	122	88	34
Q5	123	141	18
Q6	119	135	16
U1	119	88	31
U2	94	122	28
U3	108	106	2
U4	127	109	18
U5	93	126	33
Z1	119	100	19
Z2	120	149	29
Z3	118	107	11
Z4	105	103	2
Z5	138	142	4
Z6	121	129	8
a1	102	82	20
a2	109	137	28
a3	142	132	10
a4	102	93	9
a5	124	138	14
a6	140	144	4
b1	122	140	18
b2	129	143	14
b3	138	137	1
b4	118	103	15
b5	115	131	16
b6	129	139	10
b7	150	118	32
c1	105	109	4
c2	137	125	12
c3	109	122	13
c4	125	132	7
c5	131	113	18
c6	114	127	13
d1	128	93	35
d2	119	144	25
d3	111	121	10
d4	130	99	31
d5	116	133	17
d6	116	130	14
e1	107	129	22
e2	118	102	16
e3	147	151	4
e4	132	140	8
e5	119	132	13
e6	149	126	23

Наим. угла	Величина нач., град	Величина изм., град	Разница, град
e7	129	133	4
k1	123	133	10
k2	133	142	9
k3	102	90	12
k4	128	138	10
k5	137	138	1
k6	97	90	7
l1	118	115	3
l2	126	146	20
l3	138	128	10
l4	138	132	6
l5	116	133	17
l6	143	133	10
l7	123	122	1
m1	103	97	6
m2	134	149	15
m3	119	128	9
m4	142	121	21
m5	90	108	18
m6	131	122	9
n1	90	113	23
n2	115	106	9
n3	119	115	4
n4	84	94	10
n5	132	123	9
o1	108	93	15
o2	106	117	11
o3	111	106	5
o4	107	113	6
o5	108	113	5
p1	134	126	8
p2	116	124	8
p3	130	123	7
p4	123	129	6
p5	141	130	11
p6	129	142	13
p7	127	131	4
q1	97	99	2
q2	137	129	8
q3	123	130	7
q4	107	107	0
q5	132	128	4
q6	124	130	6
r1	120	108	12
r2	106	113	7
r3	122	126	4
r4	113	111	2
r5	137	130	7
r6	121	140	19
s1	110	120	10
s2	106	106	0
s3	114	113	1
s4	99	107	8
s5	111	99	12

Продолжение таблицы В1

Наим. угла	Величина нач., град	Величина изм., град	Разница, град
t1	105	125	20
t2	117	104	13
t3	134	128	6
t4	119	139	20
t5	114	105	9
t6	132	126	6
u1	109	135	26
u2	101	70	31
u3	99	132	33
u4	106	86	20
u5	125	124	1
A'1	122	145	23
A'2	105	84	21
A'3	103	116	13
A'4	112	114	2
A'5	97	89	8
B'1	99	129	30
B'2	108	115	7
B'3	135	108	27
B'4	74	107	33
B'5	124	87	37
C'1	115	135	20
C'2	140	124	16
C'3	126	119	7
C'4	120	148	28
C'5	124	115	9
C'6	149	133	16
C'7	127	138	11
D'1	139	137	2
D'2	107	114	7
D'3	129	123	6
D'4	113	122	9
D'5	128	123	5
D'6	104	108	4
E'1	116	112	4
E'2	96	109	13
E'3	149	144	5
E'4	134	120	14
E'5	90	114	24
E'6	134	124	10
F'1	100	100	0
F'2	114	115	1
F'3	109	108	1
F'4	93	95	2
F'5	123	123	0
G'1	126	131	5
G'2	137	128	9
G'3	114	129	15
G'4	135	126	9
G'5	127	135	8
G'6	137	125	12
G'7	123	134	11
H'1	132	145	13
H'2	130	132	2

Наим. угла	Величина нач., град	Величина изм., град	Разница, град
H'3	133	117	16
H'4	119	135	16
H'5	131	140	9
H'6	131	118	13
H'7	124	126	2
I'1	120	151	31
I'2	133	131	2
I'3	119	90	29
I'4	108	143	35
I'5	130	121	9
I'6	110	91	19
J'1	97	123	26
J'2	131	126	5
J'3	99	91	8
J'4	131	141	10
J'5	148	159	11
J'6	113	88	25
P'1	106	119	13
P'2	123	117	6
P'3	130	132	2
P'4	122	129	7
P'5	129	127	2
P'6	109	105	4
Q'1	140	131	9
Q'2	101	114	13
Q'3	130	132	2
Q'4	120	111	9
Q'5	104	110	6
Q'6	124	125	1
R'1	118	122	4
R'2	131	123	8
R'3	113	128	15
R'4	111	97	14
R'5	123	129	6
R'6	125	123	2
S'1	119	112	7
S'2	117	124	7
S'3	127	126	1
S'4	102	101	1
S'5	135	135	0
S'6	120	128	8
T'1	115	118	3
T'2	130	123	7
T'3	121	132	11
T'4	116	108	8
T'5	130	132	2
T'6	108	111	3
U'1	129	140	11
U'2	82	70	12
U'3	125	125	0
U'4	106	110	4
U'5	99	94	5
Z'1	95	128	33
Z'2	133	103	30

Продолжение таблицы В1

Наим. угла	Величина нач., град	Величина изм., град	Разница, град
Z3	87	109	22
Z4	123	117	6
Z5	102	91	11
a'1	125	116	9
a'2	131	126	5
a'3	110	125	15
a'4	113	107	6
a'5	135	129	6
a'6	105	125	20
b'1	107	97	10
b'2	135	129	6
b'3	112	137	25
b'4	126	110	16
b'5	132	129	3
b'6	109	125	16
c'1	112	97	15
c'2	135	138	3
c'3	100	119	19
c'4	150	140	10
c'5	108	104	4
c'6	115	132	17
d'1	104	102	2
d'2	126	135	9
d'3	130	117	13
d'4	100	108	8
d'5	138	139	1
d'6	123	121	2
e'1	133	122	11
e'2	106	126	20
e'3	106	94	12
e'4	134	125	9
e'5	123	144	21
e'6	117	112	5
f'1	129	130	1
f'2	130	160	30
f'3	132	110	22
f'4	120	115	5
f'5	129	149	20
f'6	131	139	8
f'7	129	101	28
k'1	138	119	19
k'2	108	93	15
k'3	122	158	36
k'4	134	115	19
k'5	116	109	7
k'6	102	135	33
l'1	118	108	10
l'2	132	130	2
l'3	138	140	2
l'4	112	132	20
l'5	147	127	20
l'6	115	117	2
l'7	139	159	20
m'1	140	118	22

Наим. угла	Величина нач., град	Величина изм., град	Разница, град
m'2	103	109	6
m'3	91	102	11
m'4	104	93	11
m'5	102	127	25
n'1	122	107	15
n'2	142	146	4
n'3	114	131	17
n'4	102	80	22
n'5	133	141	8
n'6	107	119	12
o'1	136	116	20
o'2	131	144	13
o'3	113	127	14
o'4	144	141	3
o'5	155	134	21
o'6	103	127	24
o'7	118	120	2
p'1	107	100	7
p'2	104	127	23
p'3	119	95	24
p'4	91	121	30
p'5	118	103	15
q'1	120	124	4
q'2	94	138	44
q'3	157	124	33
q'4	143	123	20
q'5	106	152	46
q'6	126	138	12
q'7	154	115	39
r'1	123	130	7
r'2	131	135	4
r'3	119	116	3
r'4	143	145	2
r'5	140	140	0
r'6	121	136	15
r'7	122	112	10

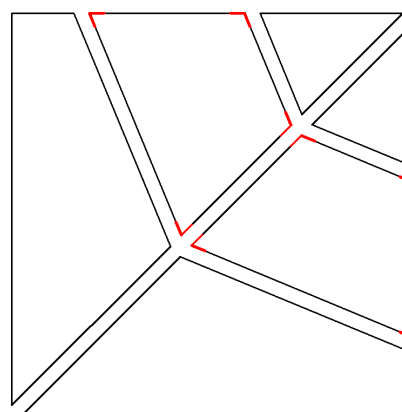
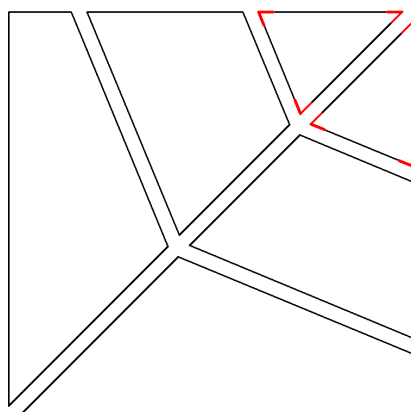
Таблица В2 - Изменения сетевых углов оболочки со структурой паутины

Наим. угла	Величина нач., град	Величина изм., град	Разница, град
A1	45	45	0
A2	68	65	3
A3	68	74	-6
B1	45	43	2
B2	68	71	-3
B3	68	71	-3
C1	45	45	0
C2	68	70	-2
C3	68	69	-1
D1	45	45	0
D2	68	71	-3
D3	68	68	0
E1	45	44	1
E2	68	64	4
E3	68	75	-7
F1	45	43	2
F2	68	70	-2
F3	68	70	-2
G1	45	44	1
G2	68	69	-1
G3	68	71	-3
H1	45	45	0
H2	68	72	-4
H3	68	68	0

-1

Наим. угла	Величина нач., град	Величина изм., град	Разница, град
A'1	113	112	1
A'2	68	76	-8
A'3	68	86	-18
A'4	113	105	8
B'1	113	106	7
B'2	68	81	-13
B'3	68	75	-7
B'4	113	110	3
C'1	113	109	4
C'2	68	77	-9
C'3	68	77	-9
C'4	113	110	3
D'1	113	108	5
D'2	68	82	-14
D'3	68	75	-7
D'4	113	107	6
E'1	113	114	-1
E'2	68	74	-6
E'3	68	87	-19
E'4	113	101	12
F'1	113	110	3
F'2	68	86	-18
F'3	68	76	-8
F'4	113	107	6
G'1	113	110	3
G'2	68	80	-12
G'3	68	77	-9
G'4	113	110	3
H'1	113	107	6
H'2	68	84	-16
H'3	68	77	-9
H'4	113	108	5

-3,38



Продолжение таблицы В2

Наим. угла	Величина нач., град	Величина изм., град	Разница, град
A"1	113	101	12
A"2	113	96	17
B"1	113	98	15
B"2	113	105	8
C"1	113	99	14
C"2	113	100	13
D"1	113	95	18
D"2	113	102	11
E"1	113	104	9
E"2	113	93	20
F"1	113	98	15
F"2	113	103	10
G"1	113	99	14
G"2	113	99	14
H"1	113	93	20
H"2	113	103	10

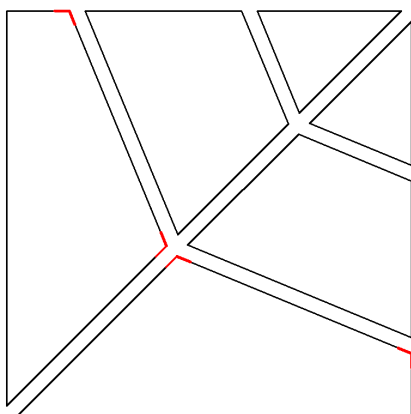


Таблица В3 - Изменения сторон ячеек оболочки со структурой крыла стрекозы

Наим. стороны	Величина нач., см	Величина изм., см	Разница, см	Наим. стороны	Величина нач., см	Величина изм., см	Разница, см
l2a4 - l1a5	1,6	1,8	0,2	q5o3 - q6o2	2	2	0
l1Z3 - l7Z4	2,7	2,8	0,1	q6c5 - q1c4	2,1	2,2	0,1
l7k2 - l6k3	1,7	1,8	0,1	r4q2 - r5q1	1,7	1,7	0
l6C1 - l5C2	1,8	2,1	0,3	r5c4 - r6c3	1,4	1,5	0,1
P2L3 - P1L4	1,9	2	0,1	r6d4 - r1d3	2,3	2,6	0,3
P1K3 - P6K4	2,2	2,3	0,1	s5q3 - s1q2	2	2	0
P6O2 - P5O3	1,7	1,7	0	s1r4 - s2r3	1,9	1,9	0
P5Z1 - P4Z2	2,3	2,4	0,1	s2t6 - s3t5	1,9	1,9	0
Q3R5 - Q2R6	1,8	1,8	0	s3H1 - s4H7	2,1	2,2	0,1
Q2D4 - Q1D5	2	2	0	t6r3 - t1r2	2,3	2,4	0,1
Q1L5 - Q6L3	1,7	1,7	0	t1e6 - t2e5	1,7	1,8	0,1
Q6P2 - Q5P3	1,7	1,8	0,1	u4t3 - u5t2	2,2	2,3	0,1
Q5a1 - Q4a2	2	2	0	u5e5 - u1e4	1,7	1,9	0,2
U2S5 - U1S6	2,3	2,4	0,1	u1f5 - u2f4	2,5	2,5	0
U1R3 - U5R4	2,2	2,3	0,1	u2v6 - u3v5	2,6	2,8	0,2
U5b1 - U4b2	1,3	1,3	0	A'1j3 - A'5j4	1,8	1,8	0
Z1O3 - Z6O4	2,1	2,2	0,1	A'5z2 - A'4z3	1,7	1,7	0
Z6Y2 - Z5Y3	1,5	1,5	0	A'4B1 - A'3B2	1,9	1,9	0
Z5k1 - Z4k2	0,9	2,1	1,2	A'3C6 - A'2C7	1,7	1,8	0,1
a1P3 - a6P4	2,7	2,8	0,1	B'1z3 - B'5z4	2,1	2,1	0
a6Z2 - a5Z3	1,6	1,6	0	B'5N2 - B'4N3	2,2	2,2	0
b1R4 - b7R5	1,3	1,5	0,2	B'4O7 - B'3O1	2,4	2,4	0
b7Q3 - b6Q4	2,1	2,3	0,2	B'3C5 - B'2C6	1,6	1,8	0,2
b6a2 - b5a3	2,1	2,1	0	C'5O1 - C'4O2	1,8	2	0,2
b5m1 - b4m2	1,7	1,8	0,1	C'4P6 - C'3P1	2,5	2,6	0,1
c6b3 - c1b2	1,8	1,8	0	D'1l4 - D'6l5	2,2	2,3	0,1
c1U4 - c2U3	2,5	2,5	0	D'6C2 - D'5C3	1,8	1,8	0
c2d5 - c3d4	2	2,2	0,2	D'5P1 - D'4P2	1,7	1,9	0,2
d5U3 - d6U2	1,8	1,8	0	D'4Q6 - D'3Q1	1,9	2	0,1
d6S5 - d1S4	2,1	2,2	0,1	E'1n2 - E'6n3	2,2	2,3	0,1
d1T5 - d2T4	2,2	2,2	0	E'6D2 - E'5D3	1,8	1,8	0
e6r2 - e7r1	1,7	1,7	0	E'5Q1 - E'4Q2	1,6	1,6	0
e7d3 - e1d2	1,7	1,7	0	E'4R6 - E'3R1	1,5	1,8	0,3
e1T4 - e2T3	2,4	2,4	0	F'5p5 - F'1p4	2,2	2,5	0,3
e2V5 - e3V4	1,9	1,9	0	F'1G6 - F'2G5	1,9	1,9	0
e3f6 - e4f5	1,1	1,1	0	F'2S1 - F'3S6	1,8	1,8	0
k1Y3 - k6Y4	2,3	2,3	0	F'4R1 - F'3R2	2,5	2,6	0,1
k6j2 - k5j3	1,8	1,9	0,1	F'4E1 - F'5E2	1,7	1,7	0
k5A'1 - k4A'2	1,7	1,7	0	G7q4 - G1q3	1,8	1,9	0,1
k4C'7 - k2C'1	2,2	2,2	0	G1s5 - G2s4	2,1	2,1	0
m1a3 - m6a4	2,4	2,6	0,2	G2H7 - G3H6	1,7	1,7	0
m6l2 - m5l3	2,3	2,3	0	G3T1 - G4T6	2,1	2,2	0,1
n1m4 - n5m5	2,2	2,2	0	G4S2 - G5S1	1,7	1,9	0,2
n5l3 - n4l4	1,6	1,6	0	H'1t5 - H'2t4	1,7	2	0,3
n4D'1 - n3D'2	1,5	1,5	0	H'2f6 - H'3f5	1,9	2	0,1
o4m3 - o5m2	1,8	1,8	0	H'3J1 - H'4J6	1,8	1,8	0
o5b4 - o1b3	2,6	2,7	0,1	H'4U1 - H'5U5	2,3	2,3	0
o1c6 - o2c5	2,3	2,4	0,1	H'6T1 - H'5T2	1,7	2	0,3
p4G6 - p3G7	1,6	1,8	0,2	I'6t4 - I'1t3	1,6	1,6	0
p3q4 - p2q5	1,6	1,7	0,1	I'1u4 - I'2u3	2,4	2,4	0
p2O3 - p1O4	2,7	2,7	0	I'2v5 - I'3v4	2	2	0
p1m3 - p7m4	1,5	1,8	0,3	I'3K'7 - I'4K'6	1,5	1,5	0
p7n1 - p6n2	1,2	1,2	0	J'1f5 - J'2f4	2,7	2,8	0,1
p6E1 - p5E2	1,7	1,8	0,1	J'2K'6 - J'3K'5	1,9	1,9	0

Продолжение таблицы В3

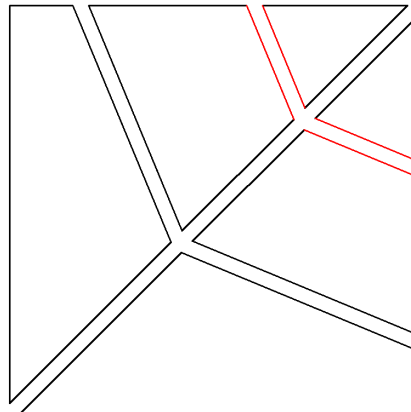
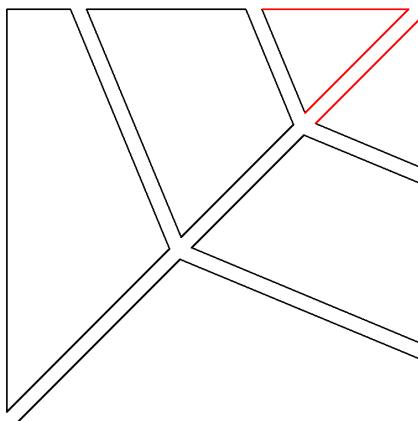
Наим. стороны	Величина нач., см	Величина изм., см	Разница, см
J'3V'1 - J'4V'6	1,6	1,6	0
P'6O'2 - P'5O'3	1,9	2	0,1
P'5Z'1 - P'4Z'2	1,7	1,7	0
P'4a'6 - P'3a'1	1,6	1,7	0,1
P'3Q'5 - P'3Q'6	1,9	1,9	0
Q'5a'1 - Q'4a'2	2	2,2	0,2
R'6Q'2 - R'5Q'3	1,7	1,8	0,1
R'5b'1 - R'4b'2	2,6	2,8	0,2
S'2T'6 - S'3T'5	1,9	1,9	0
S'3d'1 - S'4d'6	1,8	1,8	0
S'4c'2 - S'5c'1	1,9	2	0,1
S'5R'3 - S'6R'2	1,6	1,6	0
T'2U'5 - T'3U'4	1,8	1,8	0
T'3e'1 - T'4e'6	1,5	1,7	0,2
T'4d'2 - T'5d'1	1,9	2,1	0,2
U'4e'1 - U'3e'2	2,1	2,3	0,2
U'3f'7 - U'2f'1	2,3	2,3	0
U'2J'5 - U'1J'6	1,9	2	0,1
Z'4j'3 - Z'5j'2	2	2	0
Z'5O'4 - Z'1O'3	2,4	2,4	0
a'6Z'2 - a'5Z'3	2,1	2,1	0
a'5k'1 - a'4k'2	1,7	1,9	0,2
b'1Q'3 - b'6Q'4	1,9	2	0,1
b'6a'2 - b'5a'3	1,8	2	0,2
b'5l'1 - b'4l'2	2	2,3	0,3
c'1R'3 - c'6R'4	2,2	2,4	0,2
c'6b'2 - c'5b'3	1,5	1,5	0
c'5m'1 - c'4m'2	1,9	1,9	0
d'6c'2 - d'5c'3	1,5	1,6	0,1
d'5n'1 - d'4n'2	1,7	1,9	0,2
e'6d'2 - e'5d'3	1,6	1,6	0
e'5p'1 - e'4p'2	1,6	1,7	0,1
e'4r'7 - e'3r'1	2,1	2,2	0,1
e'3f'6 - e'2f'7	1,9	1,9	0
f'5u'6 - f'4u'1	2,3	2,4	0,1
f'4g'5 - f'3g'6	1,8	1,8	0
f'3V'5 - f'2V'6	2,5	2,6	0,1
f'2J'4 - f'1J'5	1,6	1,8	0,2
k'3A"1 - k'4A"6	1,6	1,8	0,2
k'4z'2 - k'5z'1	1,7	1,7	0
k'5j'4 - k'6j'3	2	2	0
k'6Z'4 - k'1Z'3	2	2	0
l'4B"1 - l'5B"7	2,1	2,3	0,2
l'5A"2 - l'6A"1	1,9	2	0,1
l'6k'3 - l'7k'2	1,7	2,7	1
l'7a'4 - l'1a'3	2,1	2,3	0,2
m'1b'3 - m'5b'4	1,5	1,7	0,2
m'5l'2 - m'4l'3	1,7	1,7	0
m'4o'7 - m'3o'1	2,7	2,7	0
n'1c'3 - n'6c'4	1,7	1,7	0
n'6m'2 - n'5m'3	1,7	1,7	0
n'5o'1 - n'4o'2	2,2	2,6	0,4
n'4q'6 - n'3q'7	1,8	1,9	0,1
o'7l'3 - o'6l'4	1,9	1,9	0

Наим. стороны	Величина нач., см	Величина изм., см	Разница, см
o'6B"1 - o'5B"2	1,9	2,1	0,2
o'5C"1 - o'4C"2	1,9	2	0,1
o'4D"6 - o'3D"1	1,9	1,9	0
o'3q'5 - o'2q'6	1,3	1,3	0
p'2r'7 - p'3r'6	1,7	1,7	0
p'3q'1 - p'4q'7	1,9	2	0,1
p'4n'3 - p'5n'2	1,6	1,7	0,1
p'1d'3 - p'5d'4	1,9	1,9	0
q'5D"1 - q'4D"2	1,4	1,5	0,1
q'4E"6 - q'3E"1	1,9	2	0,1
q'3s'6 - q'2s'1	1,8	1,9	0,1
q'2r'5 - q'1r'6	1,5	1,5	0
r'5s'1 - r'4s'2	1,4	1,7	0,3
r'4t'5 - r'3t'1	1,7	1,7	0
r'3u'5 - r'2u'6	1,6	1,6	0
r'2f'5 - r'1f'6	1,7	2,1	0,4

Таблица В4 - Изменения сторон ячеек оболочки со структурой паутины

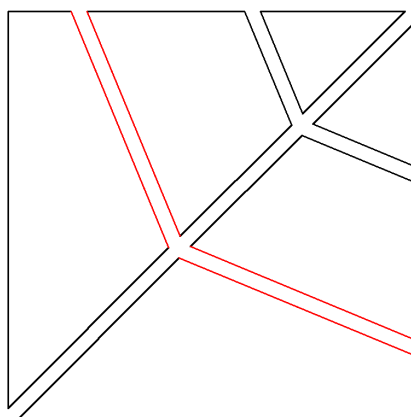
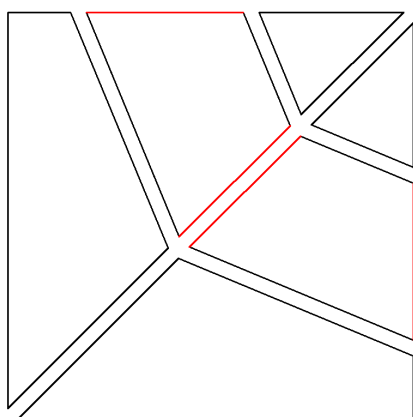
Наим. стороны	Величина нач., см	Величина изм., см	Разница, см
01	5,9	5,9	0
02	5,9	6,3	0,4
03	5,9	6,3	0,4
04	5,9	6	0,1
05	5,9	5,8	-0,1
06	5,9	6,2	0,3
07	5,9	6,3	0,4
08	5,9	6,1	0,2

Наим. стороны	Величина нач., см	Величина изм., см	Разница, см
12	4,5	4,5	0
23	4,5	4,5	0
34	4,5	4,5	0
45	4,5	4,5	0
56	4,5	4,5	0
67	4,5	4,5	0
78	4,5	4,5	0
81	4,5	4,5	0



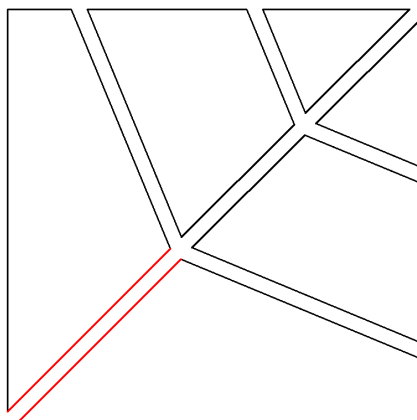
11'	5,9	6,2	0,3
22'	5,9	6,8	0,9
33'	5,9	6,4	0,5
44'	5,9	6,4	0,5
55'	5,9	6,1	0,2
66'	5,9	6,7	0,8
77'	5,9	6,4	0,5
88'	5,9	6,6	0,7

1'2'	9,1	8	-1,1
2'3'	9,1	8,2	-0,9
3'4'	9,1	8,4	-0,7
4'5'	9,1	8	-1,1
5'6'	9,1	7,8	-1,3
6'7'	9,1	8,2	-0,9
7'8'	9,1	8,3	-0,8
8'1'	9,1	8,2	-0,9



Продолжение таблицы В4

Наим. стороны	Величина нач., см	Величина изм., см	Разница, см
1'1"	4,9	4,9	0
2'2"	4,9	5,2	0,3
3'3"	4,9	5	0,1
4'4"	4,9	5,2	0,3
5'5"	4,9	4,9	0
6'6"	4,9	5,1	0,2
7'7"	4,9	5	0,1
8'8"	4,9	5,2	0,3
<i>Стороны 01, 05, 11', 55', 1'1" и 5'5" проходят вдоль долевой нити.</i>			



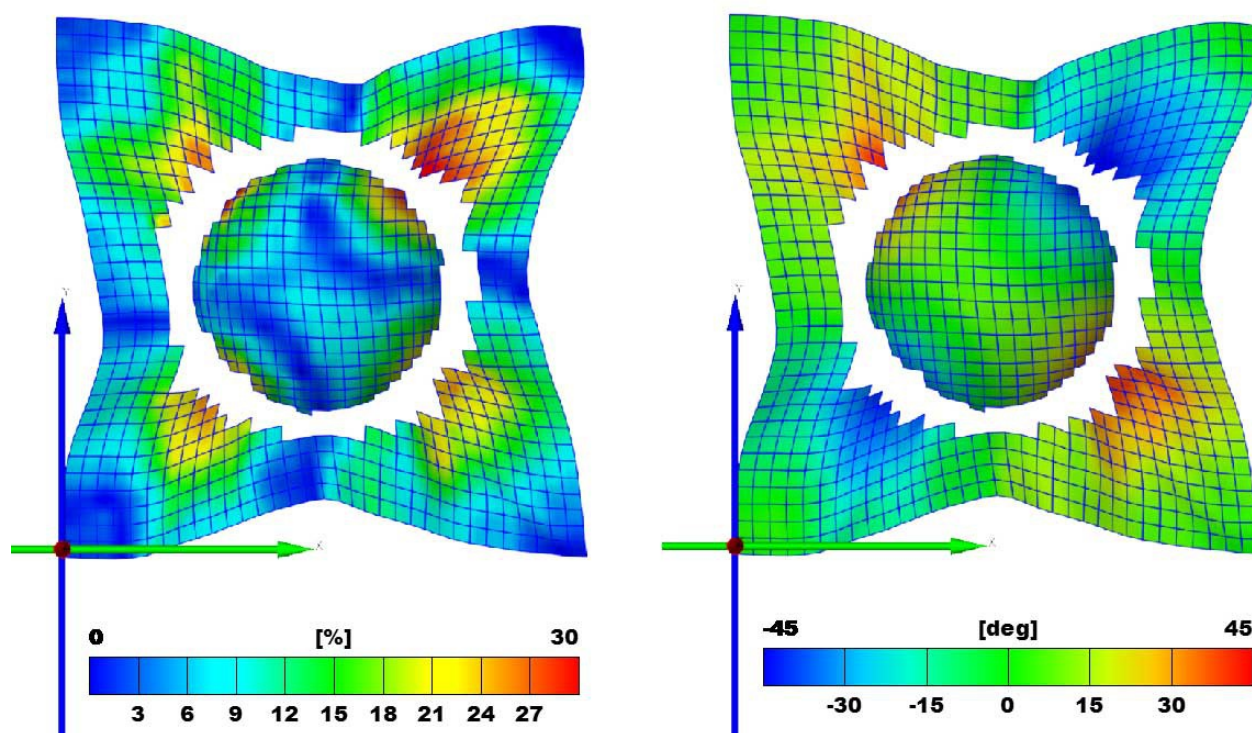


Рисунок В135 - Деформация ячеек и угол сдвига в оболочке без армирования

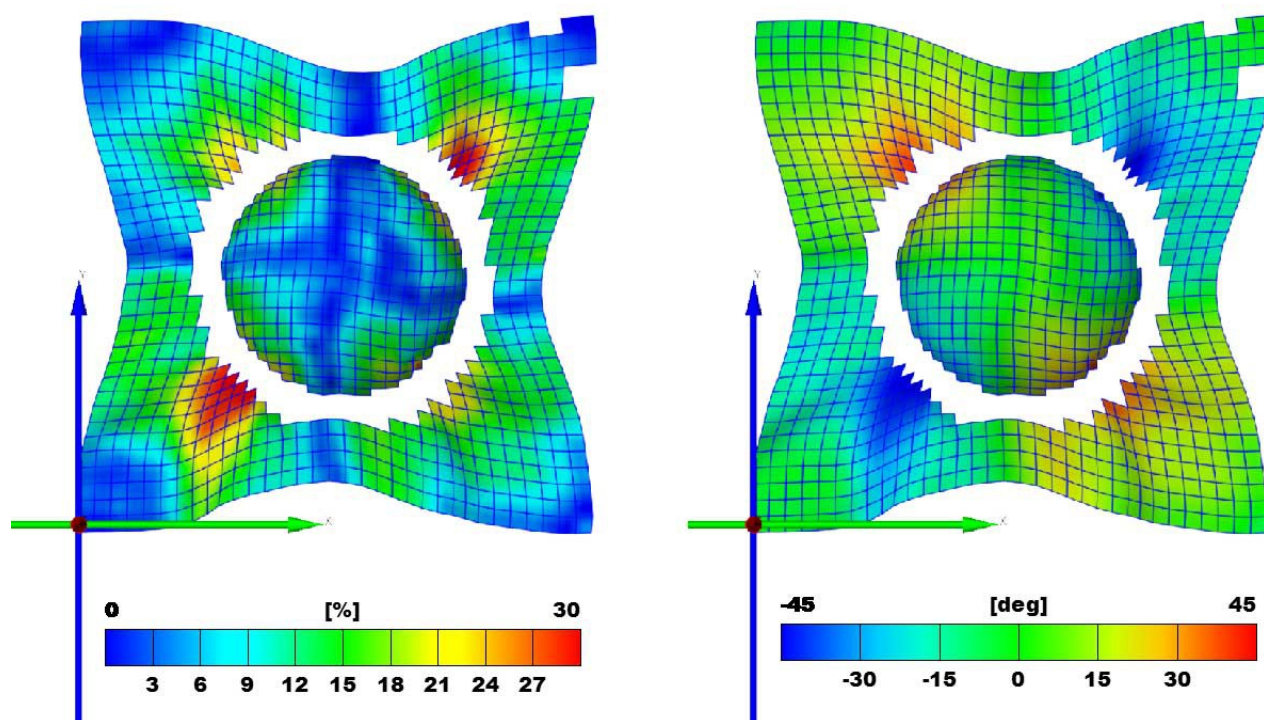


Рисунок В136 - Деформация ячеек и угол сдвига в армированной оболочке.
Расстояние от центра до окружности 30мм.

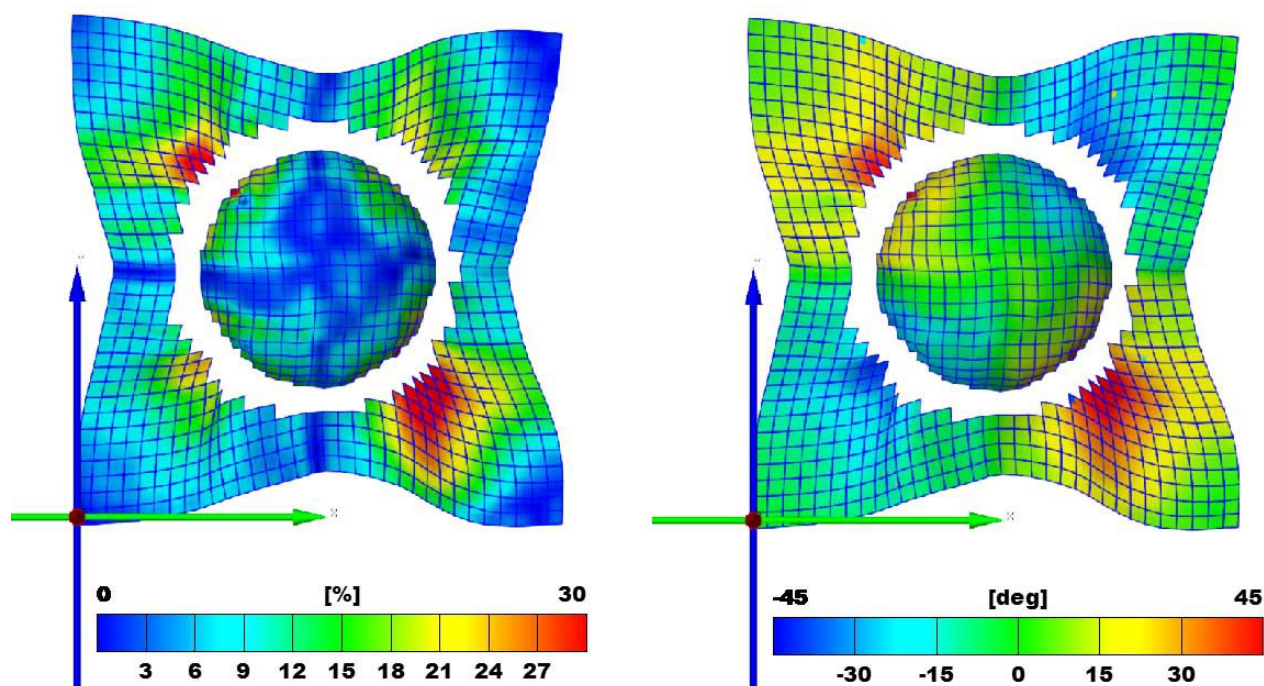


Рисунок В137 - Деформация ячеек и угол сдвига в армированной оболочке.
Расстояние от центра до окружности 40мм

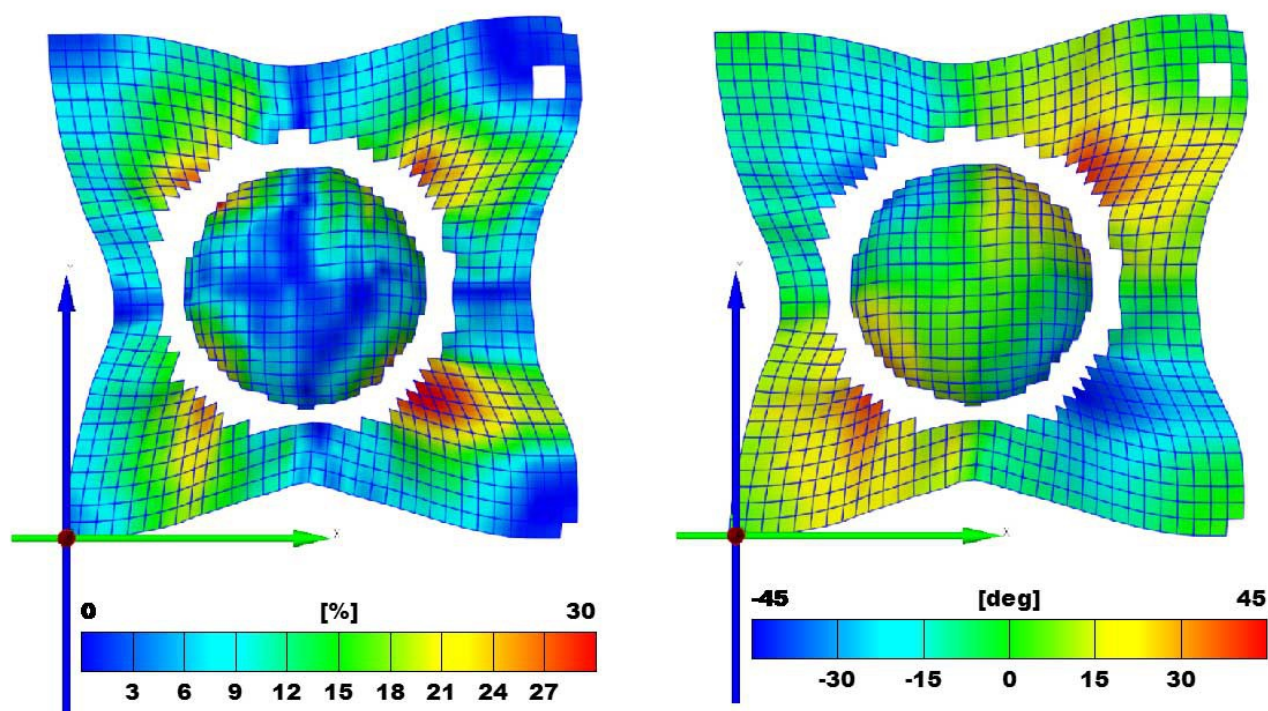


Рисунок В138 - Деформация ячеек и угол сдвига в армированной оболочке.
Расстояние от центра до окружности 50мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Внедрение результатов разработок метода проектирования швейных изделий по
принципу строения природных оболочек



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационного исследования аспиранта кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий ФГБОУ ВПО «МГУДТ» Рудневой Т.В. на тему «Разработка метода проектирования швейных изделий по принципу строения природных оболочек» в ОАО «НИАТ»

Мы, нижеподписавшиеся, представители ОАО «НИАТ» – главный специалист, канд. техн. наук Бактенков А.В., ведущий инженер Калашников А.К. и представители ФГБОУ ВПО «МГУДТ» от кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий – заведующая кафедрой ХМКТШИ, проф., д-р техн. наук Зарецкая Г.П., доц., канд. техн. наук Базаев Е.М., аспирант Руднева Т.В. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Разработка метода проектирования швейных изделий по принципу строения природных оболочек», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в научно-исследовательской деятельности ОАО «НИАТ» при разработке схемы армирования крыла беспилотного летательного аппарата. Изготовлены путем настрачивания углеровинга на ткань-подложку опытные образцы из композиционных материалов со структурами, подобными природным. Результаты испытаний опытных образцов показали повышение прочности до 20% при снижении массы на 10-15%, что является перспективным для внедрения разработки в производство изделий из полимерных композиционных материалов в авиационной промышленности.

Представители ОАО «НИАТ»:

Главный специалист, канд. техн. наук
Ведущий инженер

Бактенков А.В.
Калашников А.К.

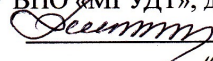
Представители ФГБОУ ВПО «МГУДТ»:

Заведующая кафедрой ХМКТШИ, проф., д-р техн. наук
Доцент кафедры ХМКТШИ, канд. техн. наук
Аспирант кафедры ХМКТШИ

Зарецкая Г.П.
Базаев Е.В.
Руднева Т.В.

Утверждаю

Проректор по учебно-методической работе
ФГБОУ ВПО «МГУДТ», д-р экон.наук, проф.

 С.Г. Дембицкий
«16» октября 2014 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационного исследования аспиранта кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий Рудневой Т.В. на тему
«Разработка метода проектирования швейных изделий по принципу строения природных оболочек» в ФГБОУ ВПО «МГУДТ»

Комиссия в составе: председателя - проректора по учебно-методической работе, профессора, доктора экономических наук Дембицкого С.Г. и членов комиссии - заведующей кафедрой художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий, профессора, доктора технических наук Зарецкой Г.П., доцента кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий, кандидата технических наук Базаева Е.М. составила настоящий акт, подтверждающий, что результаты диссертационного исследования аспиранта кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий Рудневой Т.В. на тему «Разработка метода проектирования швейных изделий по принципу строения природных оболочек» выполненная по специальности «05.19.04 - Технология швейных изделий» были внедрены в учебный процесс при разработке методических указаний к лабораторным работам и преподавании дисциплин «Инновационные технологии текстильной и швейной промышленности», «Инновационные технологии швейных оболочек из текстильных материалов», «Технология швейных изделий», «Конструирование швейных изделий», «Аспектное проектирование промышленных изделий» студентам ФГБОУ ВПО «МГУДТ».

Председатель комиссии:

Проректор по учебно-методической работе, д-р экон.наук, проф.

Дембицкий С.Г.



Члены комиссии:

Заведующая кафедрой ХМКТШИ,
проф., д-р техн.наук



Зарецкая Г.П.

Доц. каф. ХМКТШИ, канд.техн.наук



Базаев Е.М.