

На правах рукописи



КУДРЯВЦЕВА ЕКАТЕРИНА АЛЕКСЕЕВНА
РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕКСТИЛЬНЫХ ПОЛОТЕН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

Специальность: 05.19.02 – Технология и первичная обработка текстильных
материалов и сырья

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина») на кафедре Проектирования и художественного оформления текстильных изделий.

Научный руководитель: **Юхин Сергей Семенович**

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой Проектирования и
художественного оформления текстильных
изделий ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»,
г. Москва

Официальные оппоненты:

Киселев Михаил Владимирович,
доктор технических наук, профессор кафедры
технологии машиностроения Института
автоматизированных систем и технологий
ФГБОУ ВО Костромской государственной
университет (КГУ), г. Кострома

Левакова Наталия Марковна,
кандидат технических наук, генеральный
директор ООО «Текс-Центр», г. Москва.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Ивановский государственный
политехнический университет», г. Иваново.

Защита состоится « 20 » сентября 2022 г. в 12.00 ч. на заседании
диссертационного совета Д 212.144.06, созданного на базе федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)» по адресу: 117997, г. Москва, ул.
Малая Калужская 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Российский
государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн.
Искусство)» и на официальном сайте вуза <https://kosygin-rgu.ru/>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2022 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Кирсанова Елена Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

В условиях жесткой конкуренции необходимо оперативно осуществлять проектирование текстильных полотен в соответствии с разнообразными требованиями к набору их характеристик, меняющихся в зависимости от спроса и тенденций моды. Внедрение в процесс проектирования цифровых методов позволяет в короткие сроки решить задачу получения полотен с заданными свойствами.

Современные экономические условия с тенденцией все большего снижения показателей материалоемкости тканей ставят задачу эффективного проектирования текстильных полотен с заданными гигиеническими свойствами. Являясь частью ресурсосберегающих технологий, цифровые методы проектирования способны давать положительный экономический эффект.

Воздухопроницаемость – важнейший гигиенический показатель ткани, исследованию которого посвящено значительное число работ. Однако ни в одной из них пористая структура ткани не исследуется как самостоятельный материальный объект, а вычисления с помощью предложенных формул дают варьирующиеся значения. Получение точных показателей объема пористой структуры и геометрии пор позволяют подойти к вопросу проектирования и контроля воздухопроницаемости текстильных полотен. Поэтому **актуальность темы** заключается в том, что предлагаемый метод проектирования тканых структур позволяет точно и детально изучить характеристики поры по всем параметрам, доступным материальному объекту, имеющего возможности вариативной настройки его габаритов.

Объект исследования – текстильное полотно и его цифровая модель.

Предмет исследования – метод цифрового моделирования тканых пористых структур.

Цель работы заключается в разработке метода проектирования тканых структур и материализации пористых пространств с помощью цифровых технологий.

В соответствии с поставленной целью в работе решены следующие **задачи**:

- 1) проведен анализ существующих инструментов и подходов проектирования пористых структур;
- 2) на основе использования понятия цифрового двойника текстильной структуры разработан метод формирования объёмных структур текстильного полотна;
- 3) изучены структуры тканей как трехмерные модели с использованием методов компьютерного моделирования.

Методы и технические средства исследования решения задач.

Методы исследования, выбранные для выполнения поставленных цели и задач, основаны на системных и концептуальных общенаучных подходах, структурном программном анализе данных.

В ходе исследований применены основные законы теории ткацких переплетений, основы механической технологии текстильных материалов и теории строения ткани, математической логики, положения оптимизации цифровых структур, а также алгоритмизации. В ходе решения задач исследования использованы методы компьютерного моделирования сплайнов и структурных сеток, прототипирования и визуализации объектов цифрового пространства, аддитивный метод трехмерной печати.

Экспериментальные исследования проведены в лабораторных и производственных условиях с использованием современных средств проектирования объектов цифрового пространства.

В работе использованы следующие программные продукты: Windows Microsof Word и Excel, программный инструмент визуального моделирования с открытым исходным кодом StarUML, прикладные графические программы трехмерного моделирования Autodesk 3D Max и Blender, программное

обеспечение для трехмерного NURBS-моделирования и визуализации цифровых моделей Rhinoceros 3D.

Соответствие паспорту специальности.

Работа выполнялась в рамках Паспорта специальности 05.19.02 – Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья и советуется его следующим пунктам:

5. Методы проектирования технологических процессов и **текстильных материалов.**
7. Методы проектирования волокон, нитей, текстильных материалов и изделий с учетом выбора его рационального строения и оптимального технологического процесса.
13. Моделирование технологических процессов получения текстильных волокон, нитей, полотен и изделий.

Результат работы, составляющий **научную новизну**: разработан метод проектирования пористых структур тканых переплетений с собственной геометрией каркаса и доступом к программному анализу геометрических свойств трехмерных моделей тканей.

Теоретическая значимость работы заключается в получении цифровых эталонных моделей пористых структур тканей различных переплетений с детализацией геометрии формы, а также с собственной геометрией каркаса и доступом к программному анализу свойств.

Практическая значимость работы: разработка эталонной модели для проектирования реальных текстильных полотен из различных видов пряжи и нитей и варьируемыми заправочными данными.

Основные положения, выносимые на защиту:

- 1) разработанный цифровой метод проектирования тканых структур;
- 2) разработанный цифровой метод получения пористых структур тканей и их характеристик.

Апробация и реализация результатов работы.

Основные результаты научной работы докладывались и получили положительную оценку:

- на XII международной научно-практической конференции «Инновационное развитие современной науки» в 2019 г.;
- на международном Косыгинском форуме – 2019 «Современные задачи инженерных наук»;
- на отчетном выступлении по итогам работ в рамках гранта «Идея» ФГБОУ ВО РГУ им. А.Н. Косыгина в 2019 г.;
- на заседаниях кафедры проектирования и художественного оформления текстильных изделий ФГБОУ ВО РГУ им. А.Н. Косыгина в 2017, 2018, 2019, 2020 гг.

Публикации.

По теме диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ, в том числе 3 статьи в журналах ВАК.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав и общих выводов. Работа выполнена на 101 страницах машинописного текста, содержит 49 рисунков, 6 таблиц, список литературы из 99 наименований, 4 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая значимость работы, дана характеристика применявшихся методов исследований, приведены данные об апробации, представлены данные о публикациях по работе.

В первой главе проведен анализ отечественных и зарубежных исследований в области исследования воздухопроницаемости и пористости. Из анализа следует:

- в комплексе свойств материалов, воздухопроницаемость является одним из важнейших гигиенических свойств (П.Е. Калмыков);
- проведенные исследования нацелены на поиск подходов к оперативному и качественному проектированию текстильных полотен с учетом заданных свойств;
- предложенные авторами методы работают с упрощенной геометрией пористых структур и включают сложно определяемые величины для конечных формул (М. Рубнер, Н.С. Еремина, Н.С. Порошин, В.Н. Скворцова, Г.Б. Сайденов);
- предложенные алгоритмы и методы проектирования тканей по заданным свойствам ограничиваются в значительном большинстве случаев по видам переплетения, не имеют универсальной технологии проектирования тканых структур (Е.А. Юхина, Н.М. Левакова);
- для более точного проектирования необходимо знать не только диаметр пор, но и реальные размеры и формы пор различных тканых переплетений (С.В. Малецкая, Г.Л. Слостина, Г.И. Борзунов, А.В. Фирсов);
- программное трехмерное моделирование тканых структур базируется на ручном методе формирования переплетений и не имеет вариативных схем строения моделей (П.Н. Колесников, А.Н. Иванов, А.М. Киселев, Э.А. Хамматова А.В. Чарковский, Д.А. Алексеев, Д.Б. Рыклин, Сяотун Тан, Т. Spahiu, S. Fafenrot, N. Grimmelsmann, E. Piperi, E. Shehi).

Вторая глава посвящена вопросам вовлечения аддитивных технологий в процесс объемного моделирования. Предложено обратиться к прототипированию как к современному и технологичному пути к детальному изучению геометрических свойств тканых структур средствами информационных технологий. Предложен способ устранения отказа применения булевой операции.

Высокая детализация моделей тканых структур, необходимая для получения точных данных о строении пор, подразумевает высокую полигональность объекта, что в свою очередь требует нормализации каркасов спроектированных объектов. Булевы операции, необходимые для материализации

пористых структур, прямо применяются только для «не нагруженных» моделей. В то время, как проектируемые модели тканых структур относятся к нагруженным объектам: на малых участках встречаются изломы, сгибы, плавные изгибы поверхности, перемежающиеся с гладкими сетками или перетекающие в еще более сложную геометрию. С целью устранения ошибок при работе с нагруженными объектами и восстановления нормалей объектов предложена ретопология каркасной сетки, после которой с помощью булевых операций открывается путь к вычленению пористых структур как объектов с собственной геометрией. Ниже приведены участки топологий сетки одного и того же объекта (рисунок 1).

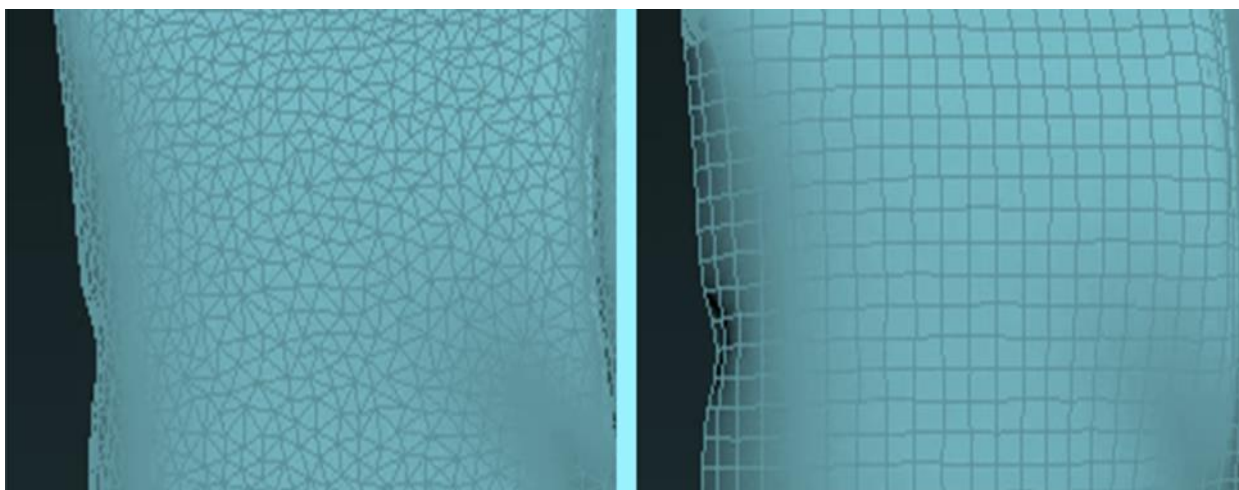


Рисунок 1 – Топология объекта: сложная, «нагруженная» – слева, после ретопологии – справа.

Третья глава посвящена разработке метода проектирования тканых структур с помощью цифровых технологий и программ трехмерного моделирования.

Метод проектирования трехмерной тканой структуры

Предложенный метод проектирования моделей трехмерных тканых структур наглядно представлен с помощью диаграммы деятельности (рисунок 2).

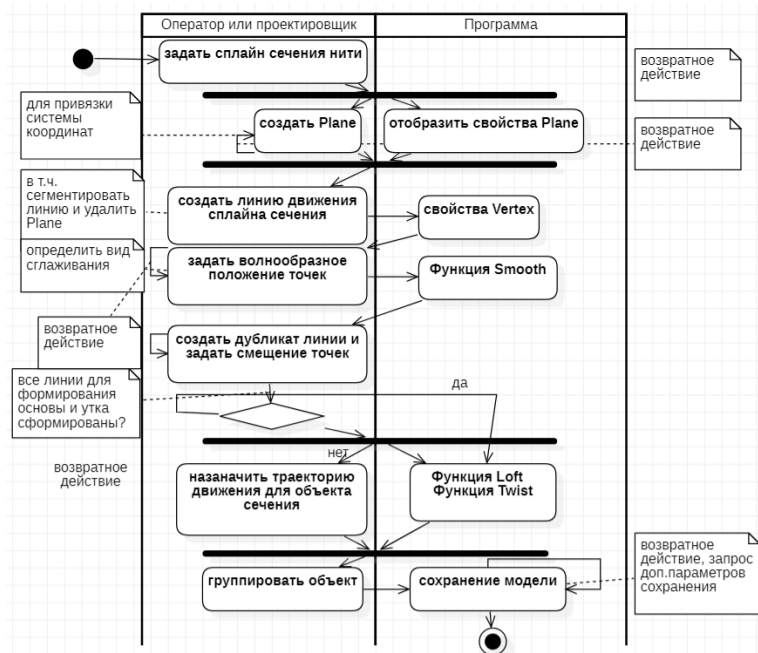


Рисунок 2 – Диаграмма деятельности: визуальная модель метода цифрового проектирования тканых структур

Метод предусматривает следующие условия:

- форма сечения нити принята из трех слитых объектов типа Star (рисунок 3);
- для всех типов ткацких переплетений этапы проектирования универсальны, кроме участка ввода положения точек, отвечающих за уникальную структуру модели.

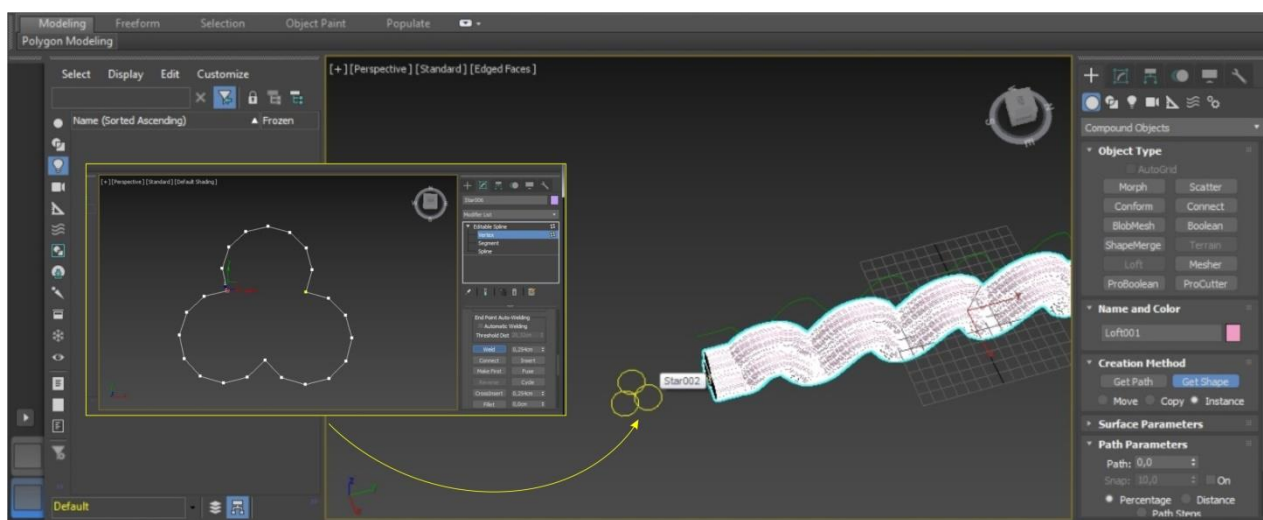


Рисунок 3 – Сложный сплайн (контур сечения нити) и этап проектирования ткацкого переплетения с функцией GetShape модификатора Loft.

Ниже приведен скрин-шот рабочего окна программы в момент совмещения групп нитей основы и нитей утка модели полотняного переплетения (рисунок 4).

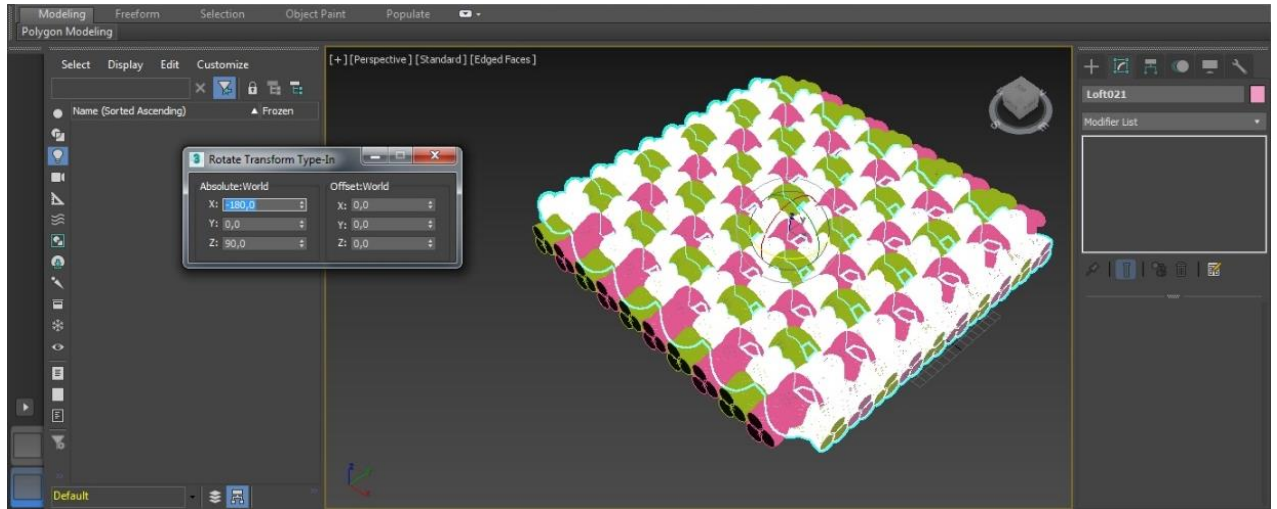
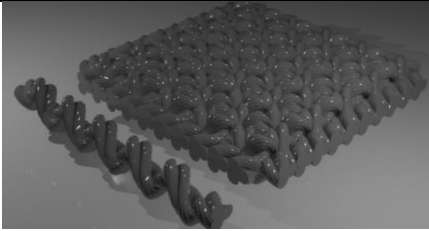
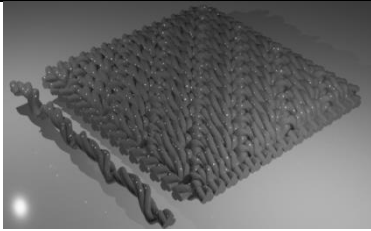
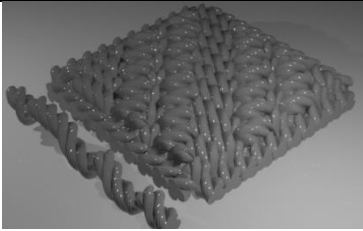


Рисунок 4 – Проектирование ткацкого переплетения, совмещение объектов модели полотняного переплетения.

Получены визуализации моделей полотняного и репсового переплетений, сатина, саржи, атласа (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты некоторых рендеров переплетений

Плотняное переплетение	Саржа	Усиленная саржа
		

Порядок цифровой материализации пор трехмерных моделей тканых структур описан с помощью диаграмма деятельности (рисунок 5).

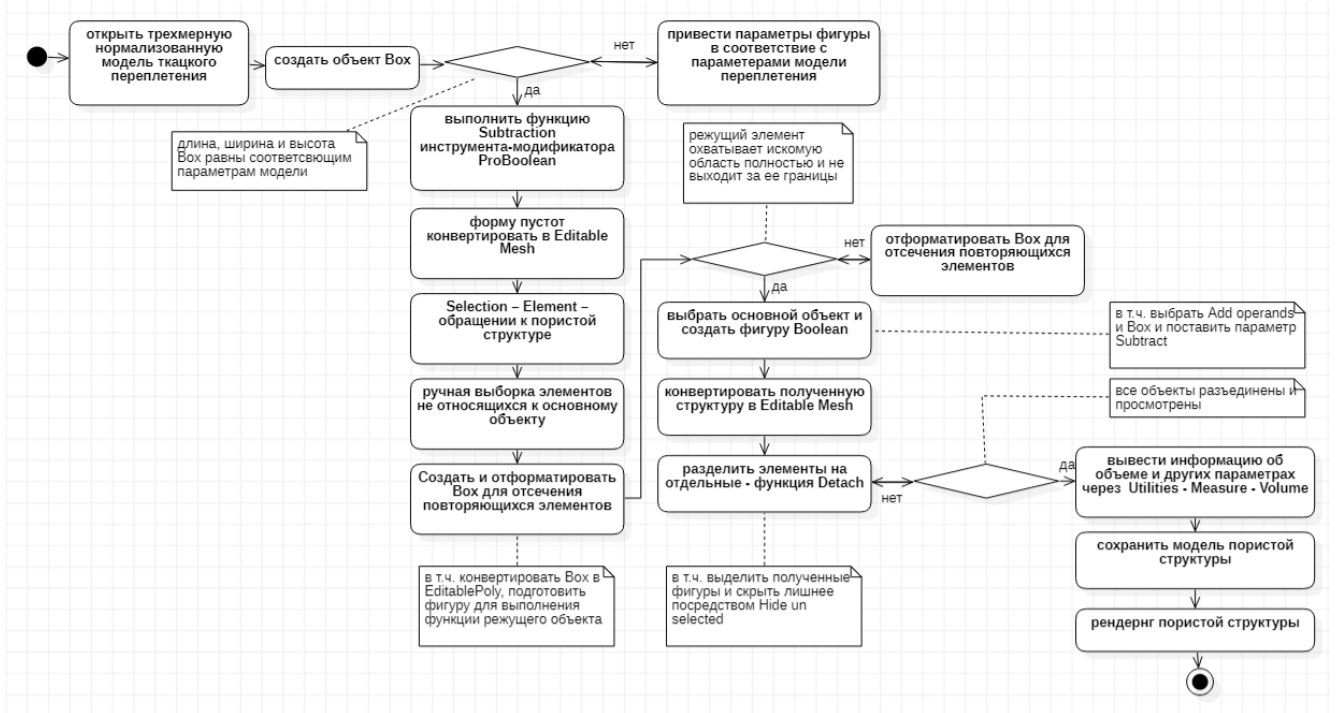


Рисунок 5 – Диаграмма деятельности: визуальная модель цифрового метода материализации пор тканых структур

Материализации пор тканых структур: пористая структура плотняного переплетения (рисунок 6), обращение к параметру Volume (рисунок 7).

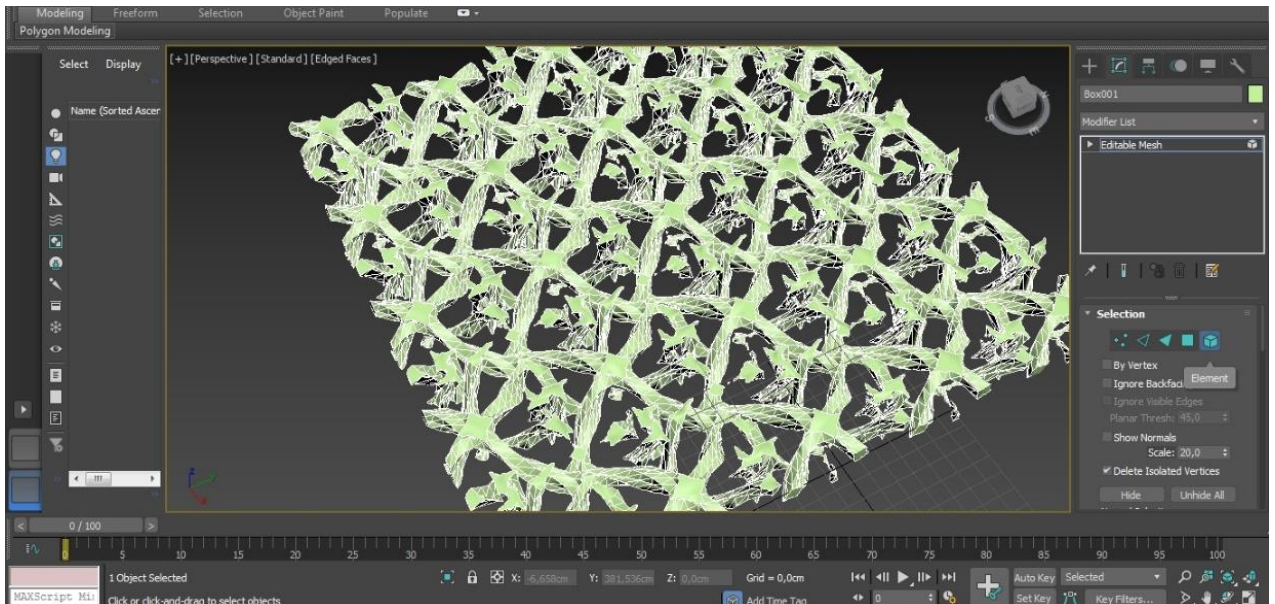


Рисунок 6 – Порядок получения тканой пористой структуры, результат выполнения булевой функции Subtraction и конвертации в Editable Mesh.

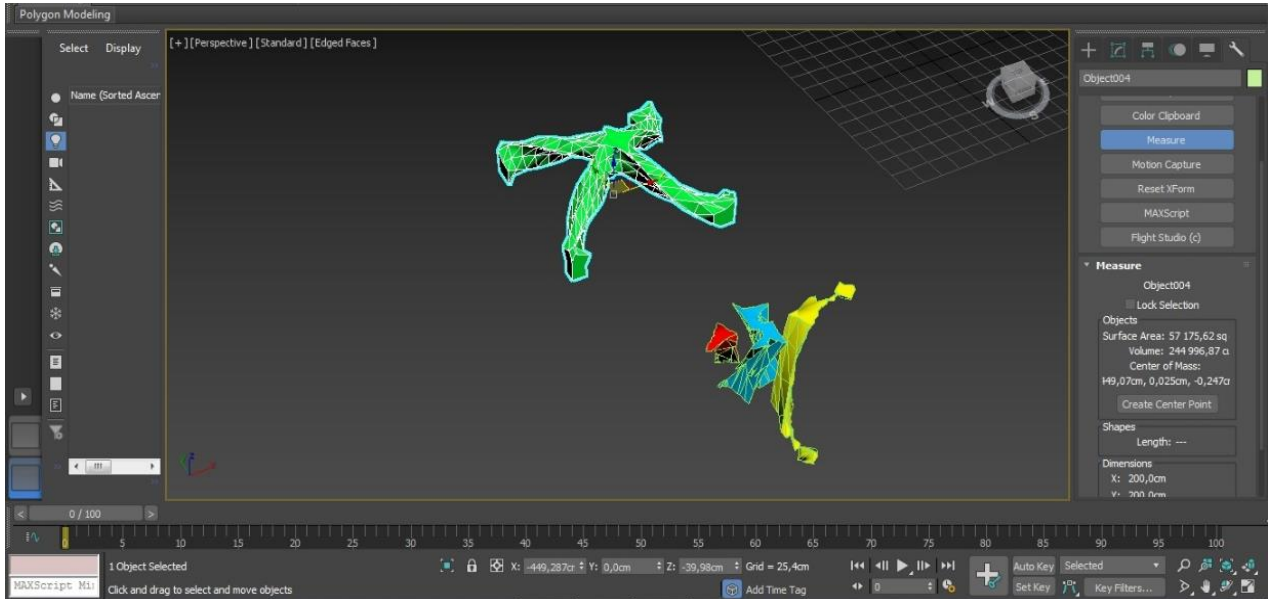
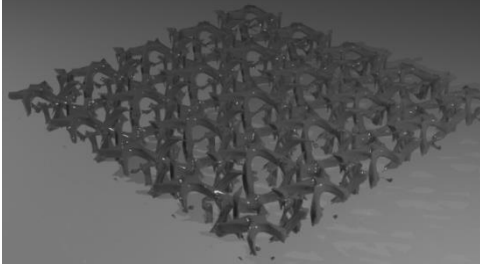
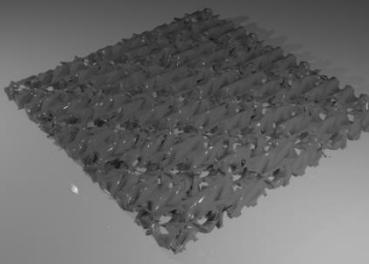
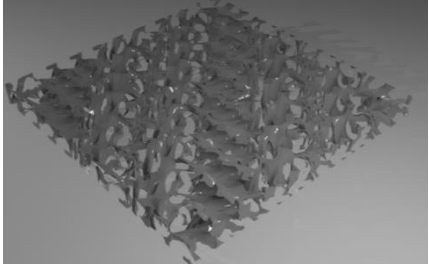


Рисунок 7 – Порядок получения тканой пористой структуры, обращение к Utilitie для исследования объема фигуры.


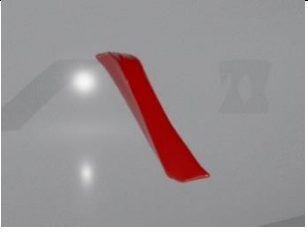
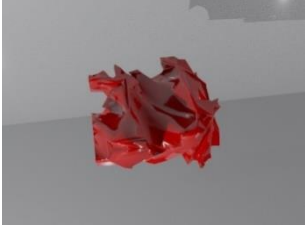

Получены рендеры пористых структур для полотняного и репсового переплетений, сатина, саржи, атласа. Примеры рендеров пористых структур представлены ниже (таблица 2).

Таблица 2 – Примеры рендеров пористых структур тканых переплетений

Плотняное переплетение	Саржа	Усиленная саржа
		

Визуализация объектов выполнена с эффектом гладкой глянцевой контрастной поверхности. Данные об объеме основных отдельных повторяющихся элементов пористых структур представлены в Таблице 3.

Таблица 3 – Объемы частей пористых структур тканых переплетений

Плотняное переплетение. Объемы частей пористой структуры, мм ³			
			
0,080	0,095	0,070	0,910
Саржа. Объемы частей пористой структуры, мм ³			
			Вычленено 3 значительно объёмных элемента
0,025	6,417	4,5825	
Усиленная саржа. Объемы частей пористой структуры, мм ³			
			
0,090	0,026	0,046	3,007

Материализация объектов с помощью аддитивной технологии печати.

Первая 3D-печать выполнена для большего элемента пористой структуры модели плотняного переплетения (рисунок 8 и рисунок 9).

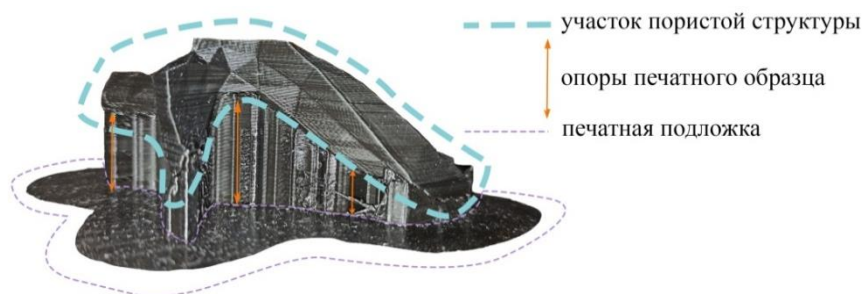


Рисунок 8 – Печатная масштабированная модель элемента с опорами и её части.

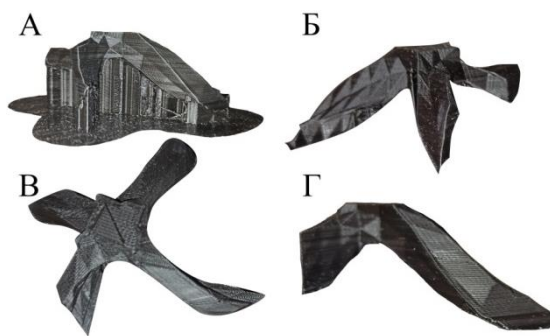


Рисунок 9 – Трехмерная печатная модель части пористой структуры: А – общий вид с планшетом и опорами, Б и Г – виды сбоку без опор, В – вид сверху.

Для сравнения расчетных значений объема пористых структур тканей различных видов переплетений (при равных размерах диаметра нити и др. параметров) использовалось понятие наименьшего общего кратного (НОК). Операция вырезки необходимого числа нитей по основе и утку с визуализацией габаритов «режущего контейнера» выполнена в среде Rhinoceros 3D (рисунок 10).

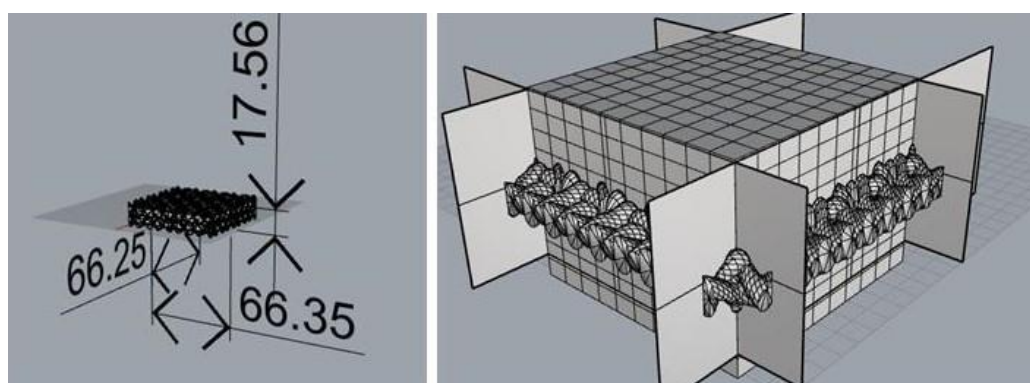


Рисунок 10 – Модель ткани полотняного переплетения в момент построения габаритного контейнера, масштаб модели в программе 10:1

В результате разности объема габаритного контейнера и объема нитяного объекта (данные доступны через вызов свойств объектов) получено значение объема пористой структуры.

Полученные значения объема пор тканых структур различных видов переплетений (таблица 3) не противоречат ранее установленной зависимости: при прочих равных условиях, чем длиннее перекрытие нитей в раппорте

переплетения, тем выше значение воздухопроницаемости, а, следовательно, больше пористость.

Таблица 3 – Объем пор при равном наименьшем общем кратном раппортов

Переплетение	Число нитей в раппорте (по утку и основе), диаметр сечения нити 0,476 мм	Множитель при НОК=8	Вычисленный объем пор в образце, мм ³
Плотняное	2*2	4	40,3
Саржа	4*4	2	55,2
Усиленная саржа	8*8	1	70,5

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработан метод проектирования цифровых трехмерных моделей тканых структур.
2. Получены цифровые трехмерные модели тканей главных и производных видов переплетений (плотняного, атласного, репсового, сатинового переплетений, саржи и усиленной саржи).
3. Найдено решение материализации и организации каркасной сетки пористой структуры, предотвращены возможные ошибки в исследовании цифровых моделей структур из-за погрешностей внешнего представления. Геометрия отдельных элементов и всех пористых структур детализирована и дает более точное и подробное представление о пористости тканых переплетений.
4. Получены пористые структуры тканей с собственной геометрией каркаса и доступом к программному анализу свойств самостоятельных цифровых объектов.
5. Получены реальные формы и значения объема пор в тканях различных видов переплетений.
6. Доказана работоспособность метода при сравнительном анализе пористых структур плотняного переплетения, саржи и усиленной саржи: полученные модели пористых пространств соответствуют реальным представлениям об

объектах. Выполнены визуализации тканых переплетений, пористых структур и их характерных элементов.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, входящих в «Перечень» ВАК при Минобрнауки России:

1. Кудрявцева, Е.А. Цифровая реставрация и компьютерное моделирование узорных тканей средствами информационных технологий [Электронный ресурс] / Е.А. Кудрявцева, С.С. Юхин, О.С. Кононова // Инженерный вестник Дона, №4 (2019) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5839
2. Кудрявцева, Е.А. Инновации технологий 3d-печати в современном искусстве / М.А. Груздева, Е.А. Кудрявцева, Л.А. Букарева, А.Ю. Манцевич // Вестник МГХПА, № 1-2, 2020 . – с. 364-370
3. Кудрявцева, Е.А. 3d-fashion-проект корсета, как элемента современного костюма / Е.А. Кудрявцева, А.Г. Кузьмин, А.Н. Новиков, А.В. Фирсов // Дизайн и технологии № 79 (121), 2020. – с. 112-118.

Статьи в прочих изданиях:

1. Кудрявцева, Е.А. Проектирование жизненного цикла исследовательского процесса в науке на основе трудов профессоров РГУ им. А.Н. Косыгина / Кудрявцева Е.А. // Сборник публикаций научного журнала «Chronos» сборник со статьями (уровень стандарта, академический уровень). – М : Научный журнал «Chronos», 2019. – 29-32 с.
2. Кудрявцева, Е.А. Об итогах реализации проекта цифровой реставрации узорных тканей средствами информационных технологий / Е.А. Кудрявцева, А.Н. Новиков, А.В. Фирсов, С.С. Юхин // Сборник стендовых докладов молодых ученых и студентов: Международный Косыгинский Форум (29-30 октября 2019 г.). – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2019. – 103-104 с.
3. Кудрявцева, Е.А. Интерпретация фрагментов исторического костюма с помощью современных аддитивных технологий / Е.А. Кудрявцева, А.П. Сухова, А.А. Ничуразова, А.Н. Новиков // Всероссийская научно-практическая конференция «ДИСК-2018»: сборник материалов Часть 1. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2018. – с. 75-77.
4. Кудрявцева, Е.А. Реновация исторической накидки эпохи «Модерн» средствами современных аддитивных технологий. / Е.А. Кудрявцева, А.П. Сухова, А.А. Ничуразова // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности: сборник материалов Международной научной студенческой конференции. Часть 3. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2019. – С. 120-122
5. Кудрявцева, Е.А. Инновации современных информационных технологий и графического дизайна в искусстве, образовании и текстильной промышленности / Е.А. Кудрявцева, М.А. Груздева, В.С. Павлов // Инновационное развитие современной науки Сборник XII Международной научно-практической конференции. 2019. С. 50-55.