

**Отчет по результатам реализации проекта по первому этапу гранта
КИАС РФФИ № 20-38-90047/20 «Аспиранты»**

Тема проекта: Параметрическое проектирование материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой в производстве товаров народного потребления.

Исследование закономерностей формообразования реконфигурируемых трехмерных материалов, а также изменения упругих свойств этих материалов при изменении параметров их пространственной структуры и характера воздействия внешней среды.

Задача повышения эффективности, экономичности и экологичности технологических процессов легкой промышленности, качества и доступности ее продуктов, решается за счет:

1. разработки и внедрения технологии параметрического проектирования, аддитивного производства, материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой.
2. создания базы параметрических моделей материалов с применением алгоритмов:
 - сгибания плоских листовых материалов с разными физико-химическими и механическими свойствами;
 - создания пространственных моделей новых материалов и их 3d-печати филаментами с разными физико-химическими и механическими свойствами.

Научная новизна и уровень значимости:

- Материалы с реконфигурируемой трехмерной структурой - новое направление в науке, возникшее в последние десятилетия, благодаря развитию цифровых технологий и инструментов. Настоящая работа расширяет область фундаментальных исследований закономерностей формообразования реконфигурируемых трехмерных материалов, а также изменения упругих свойств этих материалов при изменении параметров их

пространственной структуры, характера воздействия внешней среды, и методов их производства. Для плоскостных модификаций, вместо шестиугольных призматических ячеек, в качестве базовой топологической схемы принимается кубическая модифицируемая, в которой размеры и плотность ячеек реализуются алгоритмом аттракции к зонам приложения наибольшего давления на них. Для создания цифровых моделей и прототипов экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой с применением 3d-печати в качестве базовой топологии анализируются и применяются генетические алгоритмы.

- В работах: Miura and Tachi, Yasuda and Yang, Yein and Taya, Chong, Charalampidis and Kevrekidis и др. предложены и подробно проанализированы несколько форм жестких складных цилиндров на основе алгоритма складывания листа «зиг-заг». Эти складные пространственные цилиндры дают возможность конструирования ячеистых материалов с жестким механизмом складывания.
- Механические свойства ячеистых материалов на основе алгоритма «Тачи-Миуры» также подробно проанализированы в приведенных выше исследованиях. Исследователями введен термин «угол Миуры», благодаря изменению которого в процессе складывания основы структуры может параметрически изменяться коэффициент Пуассона, что делает эти материалы пригодными для создания объектов, подвергающиеся большой обратимой деформации. Такая возможность параметрического изменения коэффициента Пуассона является мощным инструментом для обеспечения соответствия структур объектов их функциям.
- Физическое конструирование таких ячеистых структур путем простого соединения множества подобных объектов выполнимо в масштабе, но есть и сложности, в частности, характер и свойства листовых материалов, подходящих для этих целей. Представленные выше работы показывают, как из реконфигурации одного листа можно создать, например, сотовую структуру с прямыми стенами, заполняющую пространство между двумя

ограничивающими поверхностями. Однако, формообразование по алгоритму «Тачи-Миуры» ограничено топологией базовой решетки и свойствами исходного листового материала. Кроме того, исследование опирается на работы отечественных исследователей: Костылевой В.В., Разина И.Б., Муртазиной А.Р. и др. Практическая значимость: спектр применимости широк - такие поверхности могут быть использованы в условиях чрезвычайных ситуаций для изготовления СИЗ, медицинских расходных материалов, специальной упаковки, мобильных тентовых конструкций как гражданского, так и специального (военного, медицинского) назначения.

Одной из целей исследования является изучение класса архитектурных материалов, которые поддерживают почти постоянную жесткость на единицу плотности массы. Эта производительность обеспечивается сетью почти изотропных элементарных ячеек с высокой структурной связностью, конструктивные элементы которых предназначены для переноски нагрузок при растяжении или сжатии.

Производство этих материалов возможно от полимеров до металлов и керамики, благодаря использованию аддитивных производств, возможно, в сочетании с наноразмерным покрытием и последующей обработкой.

Цель и задачи проекта:

Цель работы – повышение эффективности, экологичности и экономичности технологических процессов в отечественной легкой промышленности, качества и доступности ее продукции благодаря аддитивным технологиям, базам данных параметрических цифровых моделей, введению новых производственно-технологических циклов с применением аддитивных технологий.

Ожидаемые результаты и их научная значимость

Предполагаемый научный результат – систематизация результатов исследований закономерностей формообразования реконфигурируемых трехмерных материалов, а также изменения упругих свойств этих материалов

при изменении параметров их пространственной структуры и характера воздействия внешней среды.

Предполагаемый практический результат - разработка и внедрение экономической и экологичной технологий за счет создания базы параметрических моделей материалов.

Практическая значимость: спектр применимости широк - такие поверхности могут быть использованы в условиях чрезвычайных ситуаций для изготовления СИЗ, медицинских расходных материалов, специальной упаковки, мобильных тентовых конструкций как гражданского, так и специального (военного, медицинского) назначения.

Назначение и область применения технологии:

- для производственных предприятий разного уровня;

Назначение и область применения продукции:

- для широкого потребителя товаров народного потребления от массовых до индивидуальных;
- для целевой аудитории с проблемами опорно-двигательного аппарата; для людей с особыми физическими потребностями;

Коммерческие характеристики:

- широкий охват целевой аудитории (для всех групп),
- экономичность технологии,
- доступность конечного продукта,
- универсальность базовых принципов технологии,
- масштабируемость проекта.

В результате исследования предполагается получить:

1. Результаты фундаментальных исследований в области закономерностей формообразования реконфигурируемых трехмерных материалов, а также изменения упругих свойств этих материалов при изменении параметров их пространственной структуры и характера воздействия внешней среды, применительно к легкой промышленности.

2. База цифровых моделей экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой.
3. База прототипов экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой;
4. Результаты сравнительного анализа упругих свойств экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой; диапазон применимости и тип таких структур в зависимости от степени предполагаемой деформации.
5. Результаты сравнительного анализа изменений упругих свойств реконфигурируемых структур при модификации:
 - листовых материалов,
 - экструзионных материалов для 3d-принтеров;
 - возможных сочетаний этих видов материалов.

Результаты 1 года

Представлены результаты симуляции упругих свойств материалов в среде Rhinoceros+Grasshopper и плагине Kangaroo в заданном диапазоне значений. В результате созданы 48 моделей, удовлетворяющих математическим и физическим условиям. (Выбраны способы построения с учетом зависимости углов граней и длин ребер – 2D-условия. Диапазон коэффициента Пуассона для изотропного материала составляет от -1,0 до +0,5).

Так как модели классических структур оригами довольно хорошо разработаны, задача была усложнена и введены модели на основе структур оригами, состоящие из регулярных или нерегулярных узоров базового паттерна. Предпочтение в выборе базового паттерна отдается алгоритмам с градиентом или аттракторами вследствие того, что на второй год предстоит их адаптация под области с разным давлением с целью изготовления образцов в материале.

План на 1 год выполнен в полном объеме.

Количество научных работ Аспиранта, подготовленных при реализации проекта и принятых к печати за первый этап реализации проекта 3:

1. Костылева В.В., Коновалова О.Б., «Масштабные прототипы в легкой и обувной промышленности: возможности и перспективы», ІСТАІ 2021
2. Коновалова О.Б., Юмашев Е.М., «3d-ПЕЧАТЬ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ОБУВИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАТУРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН», ІСТАІ 2021 ІСТАІ 2021
3. КОНОВАЛОВА О.Б., МИНЕЦ В.В., БОКОВА Е.С., КОСТЫЛЕВА В.В., БЕЛИЦКАЯ О.А., «ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ОБУВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ», «Известия вузов. Технология текстильной промышленности», Иваново 2021

Название научного мероприятия, в котором Аспирант принял участие с докладом - конференция ІСТАІ 2021 – заочно, 2 доклада:

- «Масштабные прототипы в легкой и обувной промышленности: возможности и перспективы»
- «3d-ПЕЧАТЬ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ОБУВИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАТУРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН»;