

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ ЦЕЛЬНОТКАНЫХ 3D ПРЕФОРМ ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ*

DEVELOPMENT OF COMPUTER GEOMETRICAL MODEL OF STRUCTURE OF INTEGRAL 3D PREFORMS FOR COMPOSITE PRODUCTS*

А.М. Киселев

A.M. Kiselev

ООО НПО «Программируемые Композиты», Россия, (г. Кострома)

LLC NPO "Programmable Composites", Russia, Kostroma

E-mail: laibach@mail.ru

Статья посвящена разработке системы проектирования геометрической структуры цельнотканых 3D преформ сложной пространственной конфигурации. Разработана математическая модель определения траекторий центров нитей преформы, изготавливаемой по технологии 3D ткачества. Разработано программное обеспечение проектирования цельнотканых 3D преформ произвольной сложной конфигурации «ПРЕФОРМА». Приведены примеры построения сложных структур 3D тканей.

Ключевые слова: 3D ткачество, преформа, композиционные материалы, программирование, проектирование.

The article is devoted to the development of a system for designing the geometric structure of seamless 3D preforms of a complex spatial configuration. A mathematical model is developed for determining the trajectories of the centers of the preform's yarns manufactured using 3D weaving technology. The software for designing seamless 3D preforms of arbitrary complex configuration "PREFORM" was developed. Examples are given of constructing complex structures of 3D tissues.

Keywords: 3D weaving, preform, composite materials, programming, design.

Сегодня производство композиционных материалов является одним из приоритетных направлений развития техники и технологий. Одним из самых перспективных способов получения композиционных изделий является технология RTM (Resin Transfer Moulding) – метод инъекции связующего в закрытую форму или ее разновидности – LRTM – инъекции связующего при помощи вакуума. Преимуществом данных технологии является получение готовой композитной детали за одну операцию без ее последующей обработки. Для реализации данной технологии существует проблема получения текстильной преформы с формой очень близкой к реальной геометрии изделия. Наиболее перспективной технологией получения преформы является технология 3D ткачества, позволяющая получать высокие значения объемной плотности преформы по сравнению с другими технологиями и не допускать расслоение композита при сдвиговых, знакопеременных и динамических нагрузках.

Технология производства преформы начинается с этапа ее проектирования. При этом самой трудоемкой задачей является выбор вида переплетения внутри преформы или ее структуры для обеспечения прочности будущего композиционного изделия при действии внешних силовых факторов. Совершенно очевидно, что построение системы проектирования 3D преформ необходимо выполнять на уровне одиночной нити и с применением современных компьютерных технологий. Анализ систем проектирования 3D тканых структур [1-5] показал наличие зарубежного программного обеспечения различных производителей – WeaveStudio (EAT), ScotCAD Textiles Ltd. (ScotWeave Design Software), WiseTex : (Germany), Arahne (Словения), TexGen v. 0.75 (U Nottingham), ESI GROUP (Франция), Digimat MF & FE (eXstream), TechText CAD и Weave Engineer (TexEng Software Ltd) и отсутствие специализированного программного обеспечения в данном направлении в РФ.

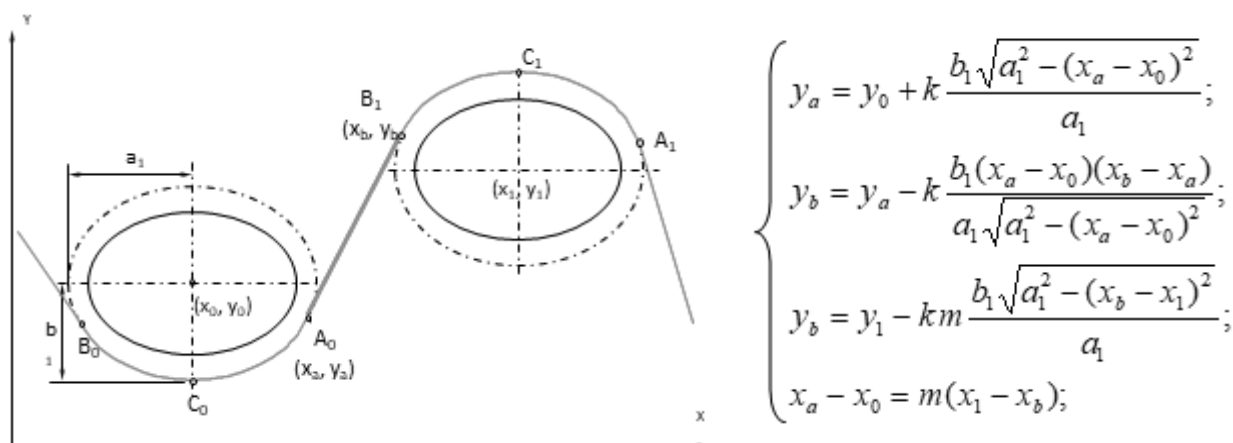
Однако имеющиеся зарубежные системы проектирования структуры 3D тканей ориентированы на построение ее структур только в простейшем объеме параллелепипеда для «представительского объема» (порядка 1-3 см³) с возможностью образования ткани с одной структурой раппорта. Систем автоматизированного проектирования цельнотканых преформ сложной объемной конфигурации на сегодняшний день из открытых источников информации нет. Основы подходов к разработке систем проектирования и прогнозирования физико-механических свойств композиционных материалов на основе 3D текстильных преформ изложены в [6]. В статье приводится результат решения данной задачи – создание отечественного программного обеспечения проектирования цельнотканых 3D преформ сложной пространственной конфигурации.

На сегодняшний день существует огромное количество работ и математических моделей в области однослойной ткани, что позволяет говорить о том, что теория однослойной ткани достаточно широко изучена и периодически совершенствуется многими авторами. Однако единой теории строения 3D тканей пока не существует. Также не существует в настоящее время моделей и программного обеспечения, позволяющего строить геометрическую модель структуры цельнотканой 3D преформы сложной пространственной конфигурации. Одним из основных этапов создания системы проектирования сложной объемной структуры преформы является создание ее геометрической 3D модели на основе технологии 3D ткачества.

Геометрическая модель ткани представлена как сложная система переплетений основных нитей, находящихся в одной плоскости в пределах одного поперечного сечения ткани, меняющих свое расположение от сечения к сечению и связанных друг с другом уточными нитями. Таким образом, задача 3-х мерного моделирования геометрической структуры 3D ткани превращается в квази-трехмерную, то есть моделирование в 2D, меняющееся ступенчато по 3-ей координате на толщину диаметра основной нити. За основу построения траекторий основных нитей в сечении 3D ткани взята модель Пирса [7] для эллиптической формы поперечного сечения уточных нитей.

В качестве допущения в модели принята гипотеза сплошности основных и уточных нитей, поскольку реальные расчеты на уровне микрофиламентов нитей пока невозможны. Разработана математическая модель геометрического положения траекторий основных нитей в поперечном сечении ткани, которая в сочетании с уравнениями траекторий уточных нитей дают возможность строить 3D геометрическую модель структуры преформы на уровне нити.

На рисунке 1 приведен фрагмент математической модели для определения координат траекторий центров основной нити в поперечном сечении 3D ткани.



А – точка схода нити; В – точка набегания нити

Рис. 1 Математическая модель геометрического положения основной нити в поперечном сечении 3D ткани

Для моделирования структуры преформы, а по сути самого ткацкого переплетения, введено модифицированное название вокселя, известного из терминологии томографии, – псевдо-воксель,. В данной работе, псевдо-воксель, это объемный элемент твердотельной модели заданной детали, содержащий в своем объеме один элемент переплетения основной и уточной нитей, как показано на рис. 2.

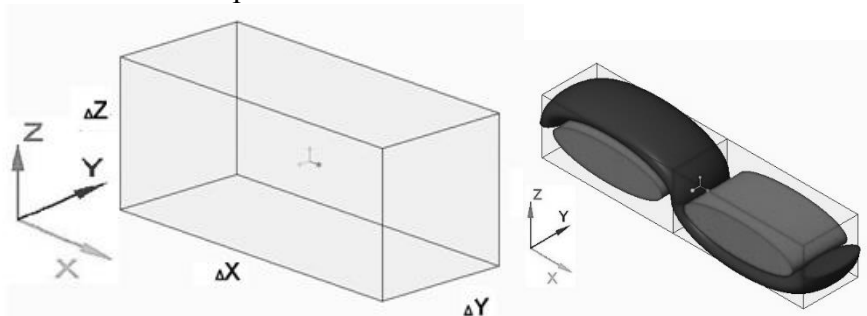


Рис. 2. Графическое изображение дискретного объема псевдо-вокселя и его смыслового значения

Размеры псевдо-вокселя напрямую зависят от размеров поперечного сечения уточной и основной нитей. Заполнение выбранного поперечного сечения основными и уточными нитями происходит по следующим правилам:

1. Исходная геометрическая модель заданной детали представляется в псевдо-воксельном формате с разбивкой по сечениям с толщиной равной диаметру уточной нити.
2. Выбранное сечение детали заполняется проектировщиком с учетом раппорта ткани, выбираемого из базы данных переплетений, для автоматизации решения задачи проектирования.
3. В каждом сечении возможно задание множества различных раппортов при соблюдении условий непрерывности нитей основы.
4. Для ускорения работы проектировщика используют различные инструменты копирования элементов ткацких структур – на уровне раппорта в сечении, самого сечения или совокупности сечений.
5. Применение инструментов копирования или ручного заполнения всех сечений исходной детали образует твердотельную модель преформы, готовой для дальнейших ее расчетов с CAD или CAE системах.

Основная концепции проектирования 3D тканых преформ и элементов ее структуры представлена на рис. 3.

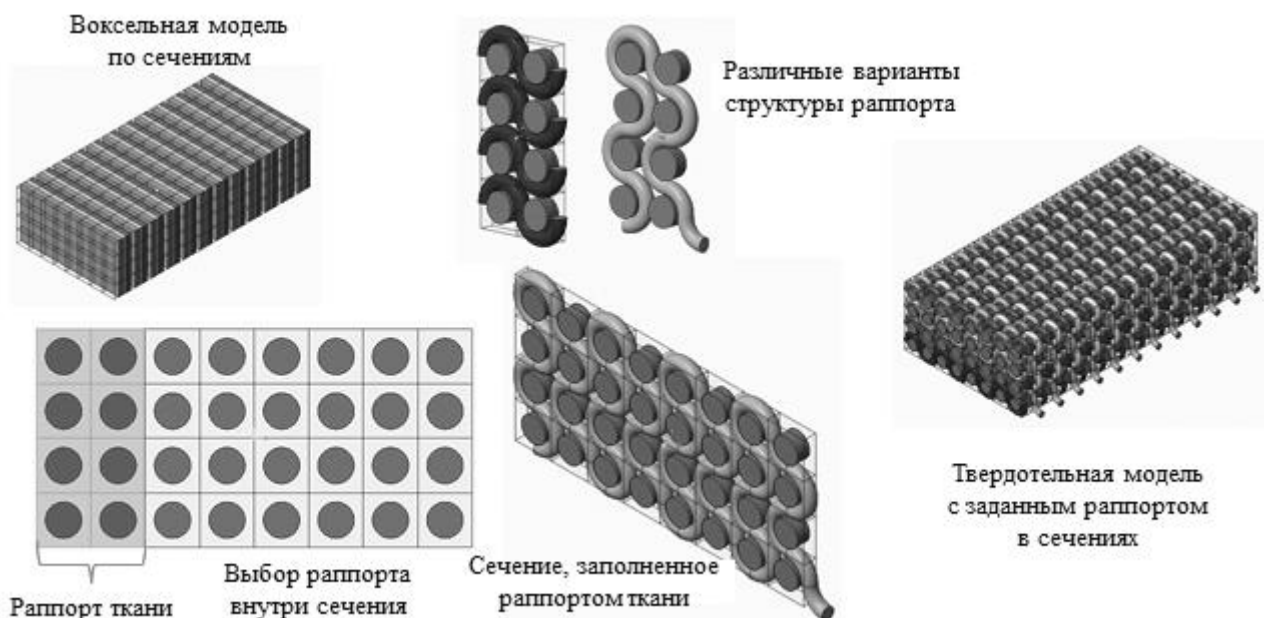


Рис. 3 Реализация концепции проектирования 3D тканых преформ

Программное обеспечение системы проектирования «Преформа» написано на языке C++ для операционной системы семейства Windows. При разработке было создано геометрическое ядро конструктивной блочной геометрии (CSG). Ядро содержит набор классов описания примитивных геометрических объектов: точка, вектор, полигон, плоскость. Также разработаны вспомогательные функции аналитической геометрии, векторной и линейной алгебры, набор операций над примитивными геометрическими объектами и 3D телами: вращение, смещение, масштабирование, создание с помощью вытягивания контура. Ядро выполняет операции над бинарными деревьями, а также операции слияния, копирования, разделения деревьев, обход деревьев левосторонний и в ширину. 3D-модели хранятся в виде полигонов, которые представляют собой индексы ссылок на вершины, воксельная модель хранится в виде растровой матрицы. В модуле разработан минимально необходимый функционал для построения контурных элементов, а также функции, которые позволяют создать контуры простой формы: треугольник, прямоугольник, шестигранник, эллипс, окружность, произвольный. По заданному виду контура создается вытянутая поверхность на указанную длину или по определенной траектории. При построении сложных моделей применяются булевы операции над 3D телами: вычитание, объединение, исключение.

Для отображения 3D модели применяется графический интерфейс OpenGL с возможностью вращения, приближения, удаления и перемещения полученного геометрического примитива. Модель выгружается/загружается в обменном формате STL в геометрическое ядро.

Существенным преимуществом разработанной системы является наличие графического редактора структуры ткани в сечениях. Это принципиальное отличие от существующих систем проектирования, позволяющее проектировщику визуализировать наглядно весь процесс формирования внутренней структуры ткани, а не пользоваться условными системами кодирования или их переводом в графический вид. При этом разработано много авторских эвристических алгоритмов. Другим преимуществом системы является разработка собственного 3D Viewer, встроенного в систему. Таким образом, решается проблема представления разрабатываемого ПО в виде независимой системы проектирования и возможности проектировщику в любой момент осуществлять визуальный контроль спроектированной структуры в режиме on-line. На рис. 4 представлен фрагмент заполнения одного из сечений 3D структуры преформы в разработанном программном обеспечении.

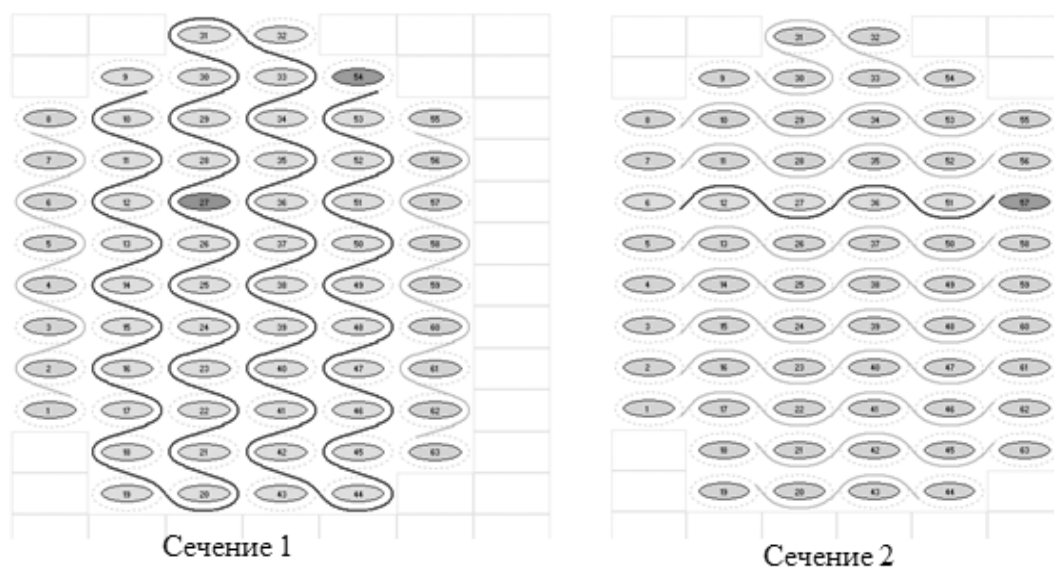


Рис. 4. Представление траекторий нитей, в двух сечениях в сечениях преформы, находящихся в противофазе

Благодаря универсальным возможностям ПО, возможно моделирование любых текстильных структур 3D тканей таких как: многослойная, слоисто-каркасная, ортогональная, оболочечная и др. Применение разработанной системы проектирования позволяет даже моделировать отдельные дефекты структуры 3D ткани на уровне одиночных нитей и таким образом разработать систему разбраковки готовых изделий.

Забегая вперед, разработанная система «ПРЕФОРМА» позволяет решать и реверсивные задачи проектирования – строить геометрическую модель 3D преформы по ее томографическому изображению, что позволяет решать задачи оценки ее качества изготовления. Осуществлять проектирование сложной структуры преформы возможно не только с применением графического редактора системы. Возможно моделирование структуры ткацких переплетений и по традиционно задаваемым схемам переплетения нитей в 3D тканых структурах.

Примеры моделирования различных структур 3D тканей по традиционно заданной структурной схеме переплетения нитей приведены на рис. 5.

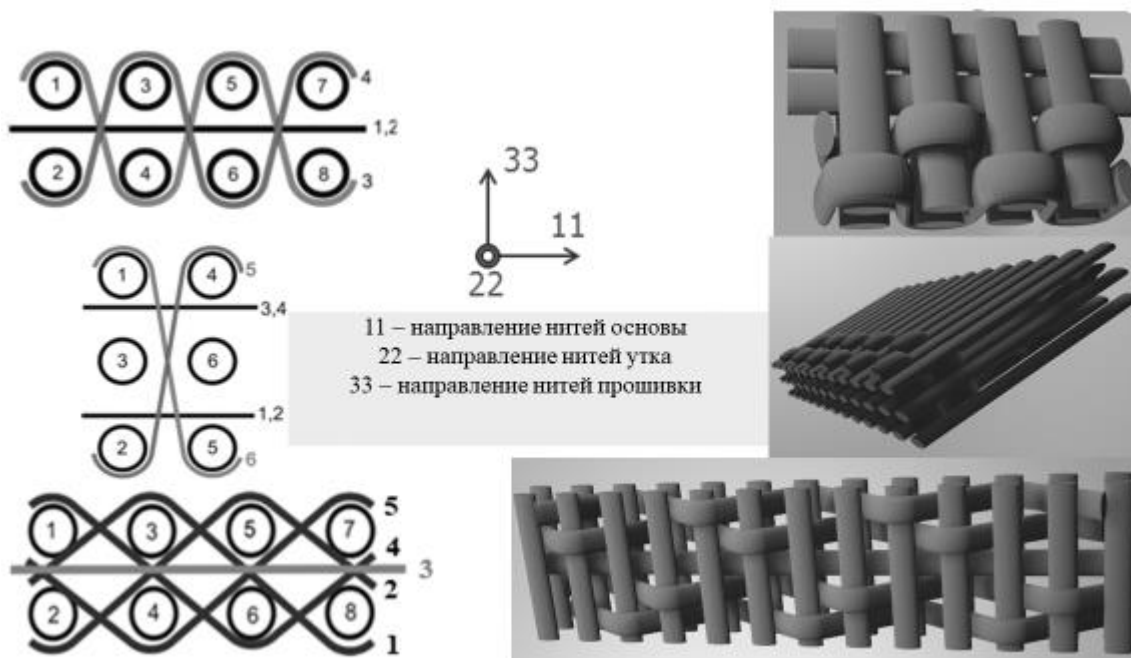


Рис. 5 Примеры моделирования различных структур 3D тканей

Демонстрация возможностей разработанного ПО для получения пространственных объемных преформ, получаемых по технологии 3D ткачества приведена на рис. 6. На нем приведен внешний вид заданной детали сложной пространственной конфигурации в формате поверхностного представления 3D модели *.stl, которая является входным файлом для последующей обработки в системе «ПРЕФОРМА».

Для построения преформы в заданном объеме выбраны нити основы и утка с диаметром поперечного сечения 1 мм. Сечение нитей описывалось эллипсом с соотношением диагоналей 1:4. Вид ткацкого переплетения – полотняное. Габаритный размер заданной детали 420 мм.

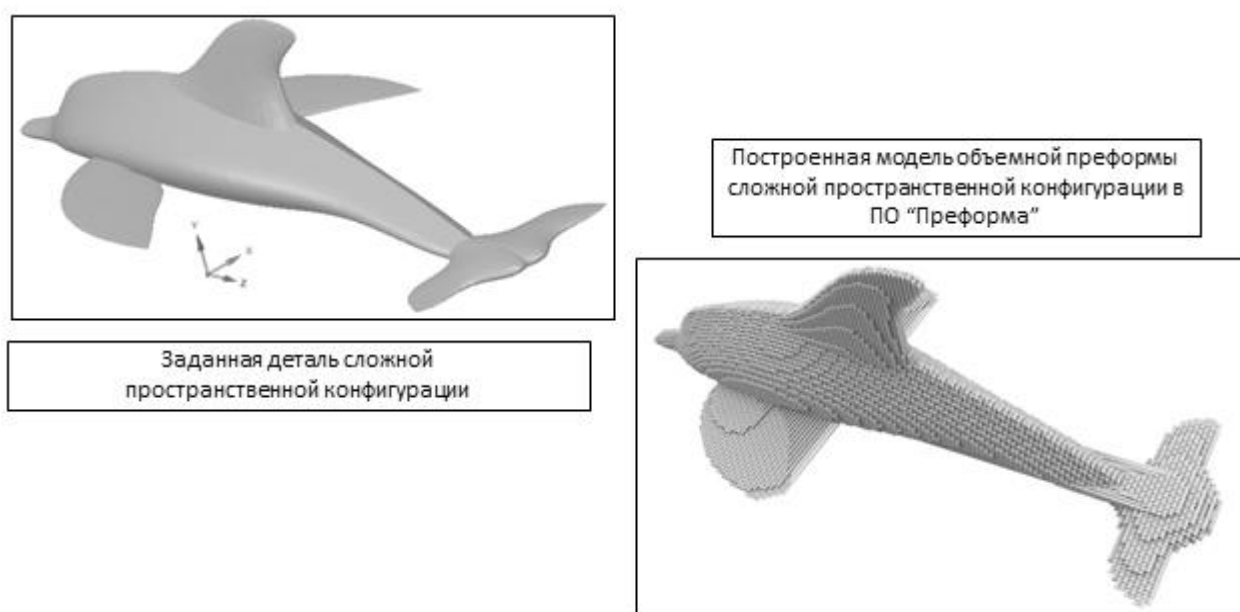


Рис 6. Пример построения цельнотканой 3D преформы сложной пространственной конфигурации по заданному чертежу детали

Преимущество разработанной системы проектирования цельнотканых 3D преформ сложной пространственной конфигурации «ПРЕФОРМА»:

1. Возможность получения 3D модели преформы для детали произвольной формы.
2. Наличие графического редактора 3D структур online упрощает работу пользователя и дает возможность получения любых структур переплетений. Возможно создание собственной базы пользовательских переплетений.
3. Возможность моделирования любых структур 3D тканей: многослойная, слоисто-каркасная, ортогональная, оболочечная и др. Однослойная ткань – частный случай.
4. Возможность получения различных видов переплетений по объему преформы.
5. Проектирование структуры преформы в соответствии с технологией изготовления (возможность формирования САМ модуля одновременно с проектированием САД модели ткани).
6. Автоматизация построения структуры преформы с применением широкого набора инструментов копирования.
7. Независимость ПО от сторонних разработчиков. Наличие встроенного 3D Viewer.

Вывод:

Разработана новая отечественная система проектирования цельнотканых 3D преформ сложной пространственной конфигурации.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.V. Lomov, D.S. Ivanov, G. Perie, I. Verpoest «Modelling 3D fabrics and 3D-reinforced composites: challenges and solution» 1st world conference on 3D fabrics, Manchester 9-11.04.2008
2. CAD/CAM systems for weaving - ScotCad Textiles Limited. Электронный ресурс. – Режим доступа <http://www.scotweave.com>.
3. CAD/CAM systems for weaving EAT. Электронный ресурс. – Режим доступа <http://www.designscopecompany.com>.
4. CAD/CAM systems for weaving –NedGraphics. Электронный ресурс. – Режим доступа <http://www.nedgraphics.com>.
5. CAD /CAM systems for weaving – Arachne. Электронный ресурс. – Режим доступа <http://www.arahne.si>
6. Киселев А.М. Проектирование и прогнозирование физико-механических свойств композиционных материалов на основе 3d текстильных преформ /А.М. Киселев, М.В. Киселев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 1 – С. 325 - 329.
7. Peirce, F.T., The geometry of cloth structure. Journal of the Textile Institute. 1937. P.T45-T97.

**участник Всероссийского конкурса молодёжных исследовательских проектов «ЛЕГПРОМНАУКА»*