

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ  
ВИРТУАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
С ЦЕЛЬЮ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПРОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА**

Чжуан С.<sup>1</sup>, Май С.<sup>1</sup>, Евдокимов Д.В.<sup>1,2</sup>, Алексенцев А.А.<sup>1,2</sup>, Сахаров М.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский университет, г. Самара, zhuang\_sz252@outlook.com

<sup>2</sup>АО «Авиаагрегат», г. Самара

*Ключевые слова:* композитный материал, виртуальная геометрия, CAD, Python, Catia, прочностной анализ.

Актуальность исследований композитных материалов обусловлена в первую очередь их широким применением в промышленности, особенно в аэрокосмической отрасли. Основными полезными особенностями композитов является сочетание высокой прочности при малой массе, превосходная коррозионная стойкость, высокая способность к сопротивлению усталостному нагружению. Однако, существуют и типичные недостатки, к которым относится плохая обрабатываемость механическими способами, в своём большинстве плохая сопротивляемость ударному нагружению, высокая неоднородность механических свойств по композитному материалу, низкие показатели прочностных характеристик межслойного компонента.

Таким образом, на производстве существует потребность в разработке методик, которые позволят учитывать особенности композитных материалов при прочностных расчётах, а также позволят упростить процессы их изготовления и механической постобработки.

При разработке методик оценки напряжённо-деформированного состояния композитов, базирующихся на использовании программных комплексов конечно-элементного анализа, существует проблема, заключающаяся в сложности виртуального моделирования композитного материала. В данной работе демонстрируется разработанный алгоритм создания виртуальных армирующих волокон и матрицы композита.

Обычно, для расчётных моделей, в том числе и аналитических, принято представление армирующей текстильной преформы по двум видам. Первый вид заключается в рассмотрении каждого пучка волокон армирующего элемента, как состоящего из отдельно взятых волокон, в свою очередь, которые в своём поперечном сечении имеют идеальную окружность [1]. В случае, если требуется разработать модель композитного материала, состоящую из очень большого числа волокон, применяется упрощение, заключающееся в том, что в виде волокна принимается сразу группа реальных волокон. Второй вид представления текстильного армирующего элемента ограничивается рассмотрением только самих пучков волокон армирующего элемента [2].

Достоинством первого подхода является то, что рассматривается каждое волокно или группа волокон в отдельности, что несомненно повышает точность расчёта, выполняемого при помощи подобной модели. Недостатком же тут будет выступать трудоёмкость разработки расчётной модели, где армирующий материал композита состоит из отдельных волокон. Во втором случае представление армирующего элемента в виде пучков упрощает разработку модели, но снижает точность результатов вычислений, выполняемых при помощи такой модели.

В данной работе представлен отличный от упомянутых подход к построению виртуальной модели композитных материалов, имеющих тканную армирующую основу. Задача, стоявшая при разработке подхода к моделированию сводилась к разработке алгоритма построения виртуальной модели композитного материала с текстильной армирующей преформой, которая бы сочетала достоинства двух подходов, то есть, чтобы была возможность строить каждый пучок текстильной преформы в виде отдельных волокон, к тому же, которые приобретали бы деформации в поперечном сечении ввиду их взаимного сдавливания при формировании армирующей ткани.

Алгоритм по разработке виртуальной геометрической модели композита, имеющего тканную армирующую преформу и предлагаемый к использованию в данной работе, базируется на составленном программном коде на языке Python. Написанный программный код эмулирует работу реального ткацкого станка. Построение армирующей ткани по разработанному алгоритму начинается с определения координат центральных точек каждого волокна в пространстве, затем по данным точкам строится кривая, соответствующая расположению каждого волокна в ткани, с учётом деформирования волокон, возникающего вследствие их сплетения. Форма поперечного сечения отдельных узлов определяется программой в соответствии с материалами исследований, опубликованных в диссертационной работе Чена Ли [2].

С примером созданного композитного бруска, армированного тканной преформой и выполненного при помощи представленного алгоритма в среде программы Catia, можно ознакомиться на рис. 1.

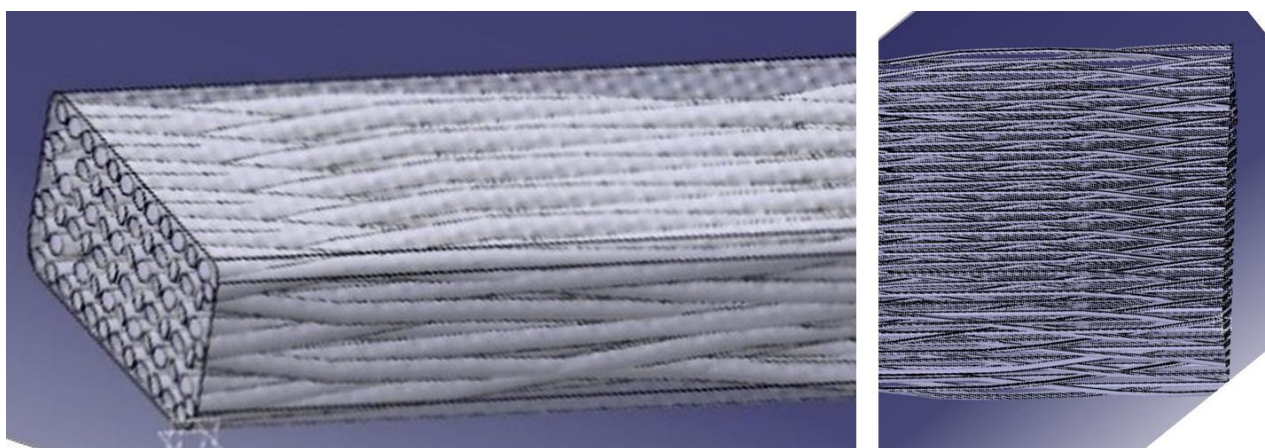


Рисунок 1 – Вид виртуальной геометрической модели композитного материала, армированного тканной преформой и выполненной в среде программы Catia при помощи написанного программного кода

Таким образом, был разработан алгоритм, позволяющий достаточно быстро создавать детали из композитного материала, армированного тканевой преформой. Высокая точность и скорость разработки виртуальных моделей во многом объясняется использованием специально написанного программного кода, который можно встраивать в любую САД программу. Код эмулирует работу реального ткацкого станка и расхождение основных геометрических параметров тканевой преформы реального композита и преформы, создаваемой виртуально внутри САД программ при помощи кода не превышает 5% [3].

### Список литературы

1. Qian Y., Yang Z., Lu Z. Research progress on numerical simulation of mechanical properties of textile composites / *Aeronautical Manufacturing Technology*. 2022. V. 65. № 16. PP. 135-151.
2. Chen Li. Analysis of the fine structure of three-dimensional woven composites and their elastic properties. Tianjin University of Technology, 1998.
3. URL: <https://www.toraycma.com/wp-content/uploads/T300-Technical-Data-Sheet-1.pdf.pdf>.

### Сведения об авторах

Чжуан Сичжэнь, студент группы 2310. Область научных интересов: исследование прочностных характеристик композитных материалов.

Май Сяожуй, студент группы 2310. Область научных интересов: исследование напряжённо-деформированного состояния высоконагруженных деталей.

Евдокимов Дмитрий Викторович, к.т.н., доцент кафедры технологий производства двигателей, доцент кафедры сопротивлений материалов, ведущий инженер АО «Авиаагрегат». Область научных интересов: процессы механической обработки, исследование функциональных параметров резания.

Алексенцев Артём Алексеевич, студент группы 2410, инженер АО «Авиаагрегат». Область научных интересов: исследование влияния различных факторов на прочностные характеристики изделий.

Сахаров Максим Владимирович, аспирант кафедры сопротивления материалов, специалист по инструменту АО «Авиаагрегат». Область научных интересов: исследование влияния различных факторов на прочностные характеристики изделий.

**DEVELOPMENT OF A CONSTRUCTION ALGORITHM  
OF A VIRTUAL GEOMETRY OF COMPOSITE MATERIALS  
FOR THE PURPOSE OF THEIR FURTHER STRENGTH ANALYSIS**

Zhuang X.<sup>1</sup>, Mai X.<sup>1</sup>, Evdokimov D.V.<sup>1,2</sup>, Aleksencev A.A.<sup>1,2</sup>, Saharov M.V.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Samara University, Samara, Russia, artem2000samara@gmail.com

<sup>2</sup>JSC Aviaагрегат, Samara

*Keywords: composite material, virtual geometry, CAD, Python, Catia, strength analysis.*

This paper demonstrates the developed algorithm for designing parts made of composite material. The advantage of the technique is the ability to quickly and accurately create virtual geometric models of parts made of composite materials. The technique is based on the developed program code written in Python. The difference between the geometric parameters of the elements of the virtual composite material and the real one does not exceed 5%. Composite parts developed using the presented methodology can be used in strength calculations using CAE programs.