

**Получение 3D-изделий гибкой из листового материала**

Студентка гр. 10402128 Забирова М.О.  
Научный руководитель – Минько Д.В.  
Белорусский национальный технический университет.  
г. Минск

Имеющие трехмерную структуру оболочки обычно представляют собой изделия с относительно тонким замкнутым или имеющим отверстия корпусом. Трехмерные каркасные конструкции обычно изготавливают из плоских листов путем сварки, склейки или с использованием заклепочных швов. Еще одним способом формирования трехмерных оболочечных структур с более однородными свойствами и низкой стоимостью является намотка или плетение из полимерных волокон или пряжи. Многочисленные разработки в области технологий аддитивного производства за последние десятилетия значительно увеличили привлекательность этой технологии для изготовления сложных трехмерных (3D) объектов с произвольной геометрией. Однако, несмотря на многие преимущества аддитивных технологий, одним из основных ограничений их применения является сложность работы с наклонными плоскими поверхностями. Разработка методов получения пространственных структур из простых дешевых материалов без применения сложных технологических приемов может быть перспективна для использования в изделиях с уникальным набором функциональных возможностей.

В последнее время повышенный интерес вызывает получение 3D-структур из тонких плоских листов (условно – 2D-листов). Преимуществами использования 2D-листов в качестве исходных материалов являются высокопроизводительные и сравнительно дешевые способы их производства, экономичность упаковки, хранения и транспортировки. Способы преобразования 2D в 3D-структуры особенно интересны для разработки микро- или наноразмерных конструкций, поскольку могут быть легко применимы путем масштабирования. Важным параметром, определяющим сложность 3D-структур, является кривизна их поверхности и ее изменение по всей структуре. Чтобы создавать произвольно сложные 3D-структуры из 2D-листов, кривизна изначально плоских листов должна изменяться контролируемым образом. Самые простые изогнутые формы могут быть получены путем гибки или прокатки плоских листов. Однако более сложные формы изделий, характеризуются «двойной кривизной» и имеют сферическую (куполообразную) или гиперболическую (седлообразную) геометрию, которую невозможно реализовать с помощью гибки плоского листа в одном или двух направлениях (это легко понять при попытке обернуть сферу бумагой). При создании сложных поверхностей плоский лист должен подвергаться пластической деформации, сопровождающейся искажениями формы, например, вытяжке.

Существует альтернативная технология [1], которая более совместима с жесткими материалами и тонкими поверхностными элементами. Традиционное японское искусство складывания сложных пространственных фигур из бумаги позволяет путем создания определенных линий сгиба преобразовать в 2D-листы в изделия с 3D-геометрией. Благодаря своей предсказуемости, простоте и масштабируемости метод оригами уже завоевал популярность во многих областях для разработки разворачиваемых структур (солнечные батареи, антенны), роботов-трансформеров, биомедицинских устройств. На рисунке представлены некоторые примеры потенциального применения оригами. Сгибая по заданным линиям, можно преобразовывать плоские листы в приближенные к сложным пространственным геометриям фигуры без необходимости искажений плоских поверхностей. В последнее время появилось направление науки изучающее искусство складывания бумаги с математической точки зрения, открыв область *вычислительного оригами* [2]. Оригами предлагает много интересных математических задач, таких как складывание произвольного многогранника из плоского листа бумаги или вопрос о плоской складываемости, т.е. приводит ли рисунок сгиба к сложенному состоянию, в котором все точки лежат в одной плоскости. Еще один аспект, который имеет широкие перспективы для дальнейшего развития – это складыванию жестких 3D-

конструкций в инженерных сооружениях. Оригами-конструкция складывается жестко, если переход из плоского в сложенное состояние происходит плавно за счет сгибания только в складках, то есть без изгиба или растяжения граней между складками. Другими словами, такую конструкцию можно сложить из жестких панелей, соединенных шарнирами, что перспективно для изготовления солнечных панелей, легких строительных конструкций, медицинских стентов или роботов. По сути, техника оригами позволяет аппроксимировать искривленные по своей природе поверхности посредством развертываемых деформаций множества мелких граней, соединенных линиями сгиба.

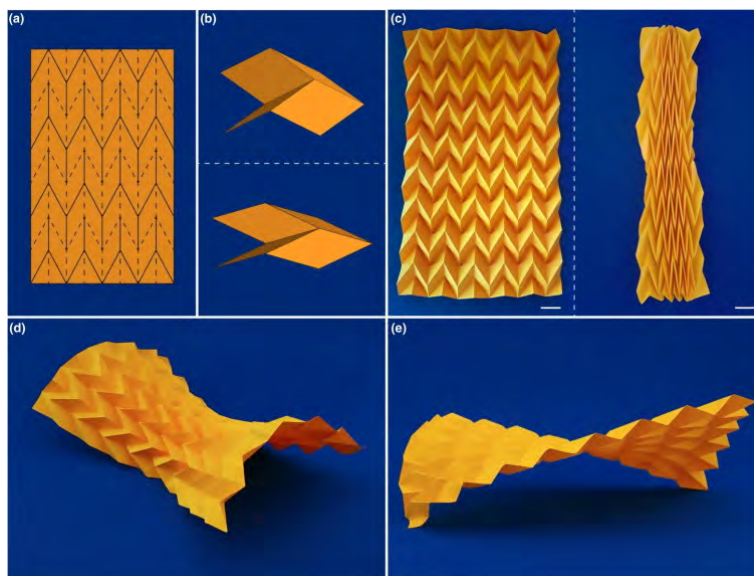


Рисунок – Бумажная модель, показывающая возможность сгибания плоского листа в трехмерную фигуру

3D-структуры, построенные из 2D-структур, по технологии оригами привлекают все больше внимания и имеют потенциальное применение во многих областях. Преобразование плоских листов в трехмерные структуры стало производственной задачей в широком диапазоне размеров. Среди других преимуществ, предлагаемых этим методом, можно назвать использование технологий обработки плоских исходных материалов, которые приводят к уникальной комбинации геометрии и топографии поверхности изделий, возможность получать сложные геометрические формы из жестких плоских листов и применять их практически для любых размеров.

1. Callens, S.J.P. From flat sheets to curved geometries: Origami and kirigami approaches / S.J.P. Callens, A. Zadpoor // *Materials Today*, 2018. – Vol. 21. – Nr. 3. – P. 241-264.
2. Demaine, E. Recent results in computational origami / E. Demaine, M. Demaine // *Proceedings of the 3rd International Meeting of Origami Science, Math, and Education (OSME 2001)*, USA, 2002, – P. 3–16.