

polyacrylic acid: synthesis, characterization, and applications in fertilizer engineering <https://bmcchem.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13065-024-01244-w>.

2. Superabsorbent Polymer Hydrogels for Sustainable Agriculture: A Review. Yusuff Oladosu, Mohd Y. Rafii, Fatai Arolu, Samuel Chibuike, Monsuru Adekunle <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070605>. Institute of Tropical Agriculture and Food Security, Universiti Putra Malaysia (UPM), Serdang 43400, Malaysia. 5 July 2022.

3. Исроилов О. И., Мухиддинов Б. Ф., Джалилов А. Т., Ширинов Ш. Д., Исроилова Г. А. ИК-спектроскопические и термогравиметрические исследования гидрогелей, синтезированных на основе карбоксиметилцеллюлозы. *Universum: технические науки: электрон. научн.* 2024. DOI-10.32743/UniTech.2024.128.11.1876.

УДК 004.925.84

В. Е. Смеян, магистрант,
Е. И. Кордикова, канд. техн. наук, доц.,
Г. Н. Дьякова, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-СКАНИРОВАНИЯ И РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ЛОПАСТЕЙ БПЛА

В настоящее время беспилотная авиация, помимо военной отрасли, используется более чем в 20 сферах деятельности, например, охрана окружающей среды, сельское хозяйство, транспорт, мониторинг и т. д. [1]. Увеличение областей применения вызывает рост спроса на БПЛА, в особенности на модели с уменьшенными массогабаритными параметрами.

Основными конструктивными элементами беспилотника являются защитный корпус, рама, блок управления, моторы, аккумулятор и пропеллеры. Несущие винты и лопасти сконструированы таким образом, чтобы быть одновременно и прочными, и упругими, чтобы не причинять вреда людям, и не наносить ущерба окружающим предметам. Вследствие чего они очень восприимчивы к деформации формы в процессе эксплуатации и поломкам [2]. Учитывая, что такая деталь должна находиться в идеальном состоянии, ее необходимо периодически ремонтировать или заменять, что для импортных моделей довольно затруднительно, а иногда невозможно, как в материальном, так и в физическом планах. Для решения данных проблем используют различные подходы, в том числе реинжиниринг.

Реверс-инжиниринг (обратное проектирование, обратный инжи-

ниринг) – процесс, при котором деталь или совокупность деталей как устройство подвергается измерениям параметров для создания совокупности данных, позволяющих производить такие объекты, либо использовать эти данные для разработки и создания новых, измененных и усовершенствованных по сравнению с оригиналом деталей и устройств [3].

Пример использования данного подхода рассмотрим на поврежденной в процессе эксплуатации лопасти (рисунок 1).



Рисунок 1 – Поврежденная лопасть

Условно процесс реинжиниринга можно подразделить на три основных этапа: создание 3D-модели объекта, ее обработка в специальной программе, контроль геометрии. Последний этап осуществляется для предотвращения возможных неточностей.

Первый этап можно произвести методом непосредственных замеров и моделированием в CAD-программе. Для деталей, имеющих сопрягаемые поверхности или сложную геометрию, требуется более точный способ. Процесс создания математической модели ускоряется при использовании трехмерного сканирования, благодаря которому можно быстро и точно оцифровать объект даже сложной геометрии.

Лопасть имеет трапецевидную форму и аэродинамическую кривую в разных сечениях профили с разной относительной толщиной. За счет этих особенностей геометрии ее цифровую копию лучше создавать с помощью технологии 3D-сканирования.

Поскольку деталь черного цвета и ранее находилась в эксплуатации, то перед сканированием ее нужно очистить от загрязнений и покрыть матирующим спреем, что частично упростит и ускорит процесс получения сканов, а поверхность получаемой 3D-модели станет более гладкой с четкими гранями.

Для работы использовали 3D-сканер SHINING EinScan Pro 2X, который классифицируется как бесконтактный оптический прибор, основанный на технологии структурированного света. Оборудование устанавливалось на штатив, а лопасть фиксировали ребром на поворотном столе (рисунок 2). Такое расположение позволит захватить максимальную площадь поверхности за один круг сканирования, что способствует улучшению качества объединения групп сканов между

Формат для экспорта конечной 3D-модели выбирается в зависимости от дальнейших целей, но чаще всего используется *.stl или *.obj. На втором этапе, в случае применения 3D-сканирования, необходимо осуществить поверхностное или твердотельное моделирование по данным полученной сетки. Для обратного проектирования использовалось ПО Geomagic Design X. После сканирования модель импортируется в виде облака точек, далее уже в Geomagic повторно проводится глобальное совмещение сканов, разбиение объекта на элементарные области (плоскость, отверстие и т. д.), после чего путем «перерисовки» создается твердотельная модель (CAD-модель). Основную сложность вызывает место поломки лопасти, которое нужно «обходить» для получения цельного объекта. На рисунке 3 показаны процесс и результат реверс-инжиниринга.

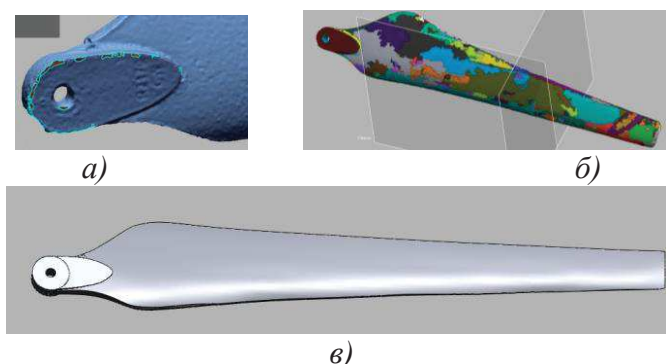


Рисунок 3 – Процесс моделирования по сетке

Последним этапом построенная САД-модель проходит контроль геометрии путем ее сопоставления и сравнения с исходной сеткой, полученной при сканировании (эталоном). Допустимый диапазон отклонения в пределах нормы составляет ± 1 мм. По результатам проверки геометрии составляется цветовое поле, которое наглядно демонстрирует точность проведенного реверс-инжиниринга (рисунок 4).

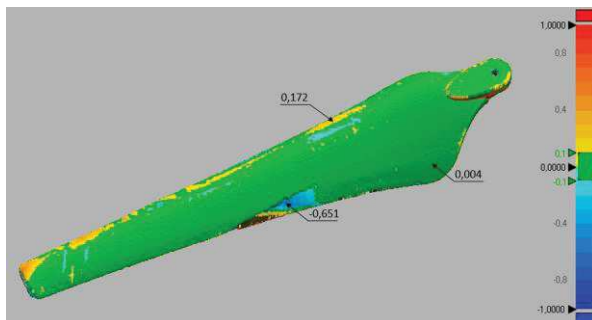


Рисунок 4 – Контроль геометрии

Максимальные отклонения 3D-модели от сетки составляют $\pm 0,18$ мм, если не учитывать область трещины. Такой результат говорит о высоком качестве выполненной работы и подтверждает, что применение 3D-сканирования и методов реверс-инжиниринга даже для таких тонкостенных изогнутых деталей как лопасти является возможным. Полученную 3D-модель можно использовать для изготовления копии лопасти с помощью уже известных технологий, например, литьем под давлением, вакуумным формованием или аддитивным синтезом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Путилина П. М., Куцевич К. Е., Исаев А. Ю. Полимерные композиционные материалы на основе углеродных и стеклянных волокон для изготовления деталей беспилотных летательных аппаратов и перспективы их развития // Научно-технический журнал «Труды ВИАМ». 2023. №8 (126). С. 85–99.
2. Топ 10 причин падения квадрокоптеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.djimsk.ru/guides/2018/05/25/drone-crash/> – Дата доступа: 17.01.2025.
3. Обзор: что такое реверс-инжиниринг с применением 3D-технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/chtotakoe-revers-inzhiniring.html#:~:text=Реверс-инжиниринг%2C%20обратное%20проектирование%2C%20обратный%20инжиниринг%2C,с%20оригиналом%20деталей%20и%20устройс> – Дата доступа: 17.01.2025.