

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кирилин А.Н. Дирижабли – Москва: МАИ-Принт, 2013. – 415 с.: ил., портр., табл., цв. ил., портр.; 24 см.; ISBN 978-5-7035-2314-8
2. Фомина Н.Н. Атлас форм корпусов дирижаблей – Москва: изд-во и тип. Центр. аэро-гидродинамич. ин-та им. проф. Н. Е. Жуковского, 1935. - Обл., 70, [2] с., 2 вкл. л. табл.: черт.; 26x18 см. - (Труды Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н.Е. Жуковского/ НКТП СССР. Глав. упр. авиац. пром-сти; Вып. 238).
3. Rajkumar S. Pant A methodology for determination of baseline specifications of a non-rigid airship
4. Rajkumar S. Pant Conceptual Approach for Design, Fabrication and Testing of Indoor Remotely Controlled Airship

УДК 004.925.84

## 3D-СКАНИРОВАНИЕ И РЕИНЖИНИРИНГ ЛОПАСТЕЙ БПЛА

В.Е. СМЕЯН, Г.Н. ДЬЯКОВА

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

Реинжиниринг (реверс-инжиниринг, reverse-engineering) – процесс создания 3D-объекта по уже готовому образцу с использованием технологий 3D-сканирования.

Метод обратного проектирования применим для любой сферы промышленности и широко используется в машиностроительной, аэрокосмической, судостроительной и других областях производства. Он особенно актуален в случае необходимости ремонта вышедших из строя детали или узла сложной формы при отсутствии чертежей от завода-изготовителя.

Принципиальную схему обратного проектирования (рис. 1) с использованием 3D-сканера можно изобразить следующим образом: 3D-сканирование физического объекта, перевод полученного облака точек в полигональную 3D-модель (STL-модель), обработка модели в специальном программном обеспечении для перевода в CAD-модель.

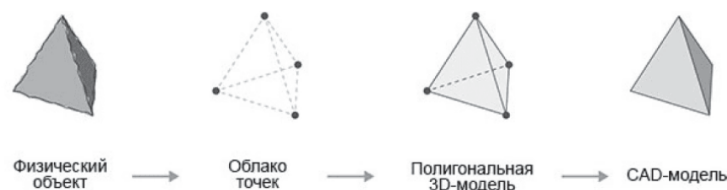


Рис. 1. Процесс обратного проектирования [1]

Целью данной работы являлось восстановление поврежденной в следствие эксплуатации лопасти октокоптера DJI\_Agras\_MG-1P (рис. 2), а также в дальнейшем ее изготовление методом аддитивного синтеза.

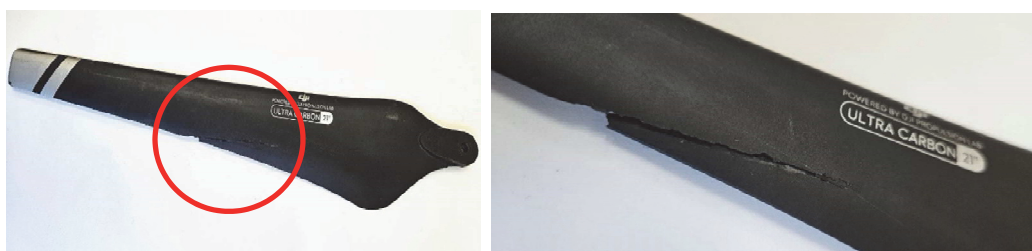


Рис. 2. Повреждения исходной детали

Трехмерное сканирование дает возможность получить сложнопрофильную объемную модель исследуемого объекта. 3D-сканер оцифровывает предмет, что позволяет ускорить процесс получения его математической модели для последующей печати на 3D-принтере [2].

Так как поверхность лопасти не однотонна и имеет блики, то перед сканированием на деталь наносили матирующее средство и метки, по которым в дальнейшем можно произвести сшивку сканов в случае отказа или некорректности работы автоматической сшивки. В качестве матирующего средства использовали специальный самоисчезающий спрей.

Сканирование производилось с помощью оптического 3D-сканера SHINING EinScan Pro 2X с разрешением сканирования 200 микрон и точностью 40 микрон. Процесс осуществляли в автоматическом режиме с использованием поворотного столика. Деталь сканировалась под углом поочередно с разных сторон, количество сканов для данной лопасти составило 26.

Обработка результатов сканирования осуществляется в программном обеспечении (ПО) EXScan Pro\_v4, при этом сканы (облако точек каждой отсканированной стороны), полученные за один процесс сканирования программа совмещает автоматически в группу. Последующие группы сканов, полученные позднее, объединяются вручную (по ранее установленным меткам), после чего, при удовлетворительном результате, можно создать полигональную модель или, в нашем случае, выгрузить данные как группу уже совмещенных сканов.

Для дальнейшей обработки полученных сканов использовали ПО Geomagic Design X. Реверсивный инжиниринг проводился способом создания твердотельной модели по имеющемуся облаку точек, то есть «перерисовкой» математической модели.

В первую очередь в ПО производится их дополнительная обработка группы сканов: глобальное совмещение, создание единой сетки,

восстановление (автозаполнение) некоторых отверстий. Готовая сетка автоматически разбивается на стандартные области, например, плоскость, цилиндр и др. для последующего упрощения выбора элементов модели при ее «перерисовке». Полученные области также можно редактировать, объединяя или наоборот разбивая их между собой.

Геометрия лопасти представляет собой две сложные пересекающиеся поверхности и место крепления в виде цилиндра с отверстием. Дальнейший процесс построения твердотельной модели происходит с использованием стандартных функций САД-программ, но эскизы каждой поверхности строят на основе полученной сетки, избегая область деформированной трещины, и поочередно отсекаются от ранее созданного твердого тела.

На рис. 3 представлена результат реконструкции поврежденного участка лопасти.

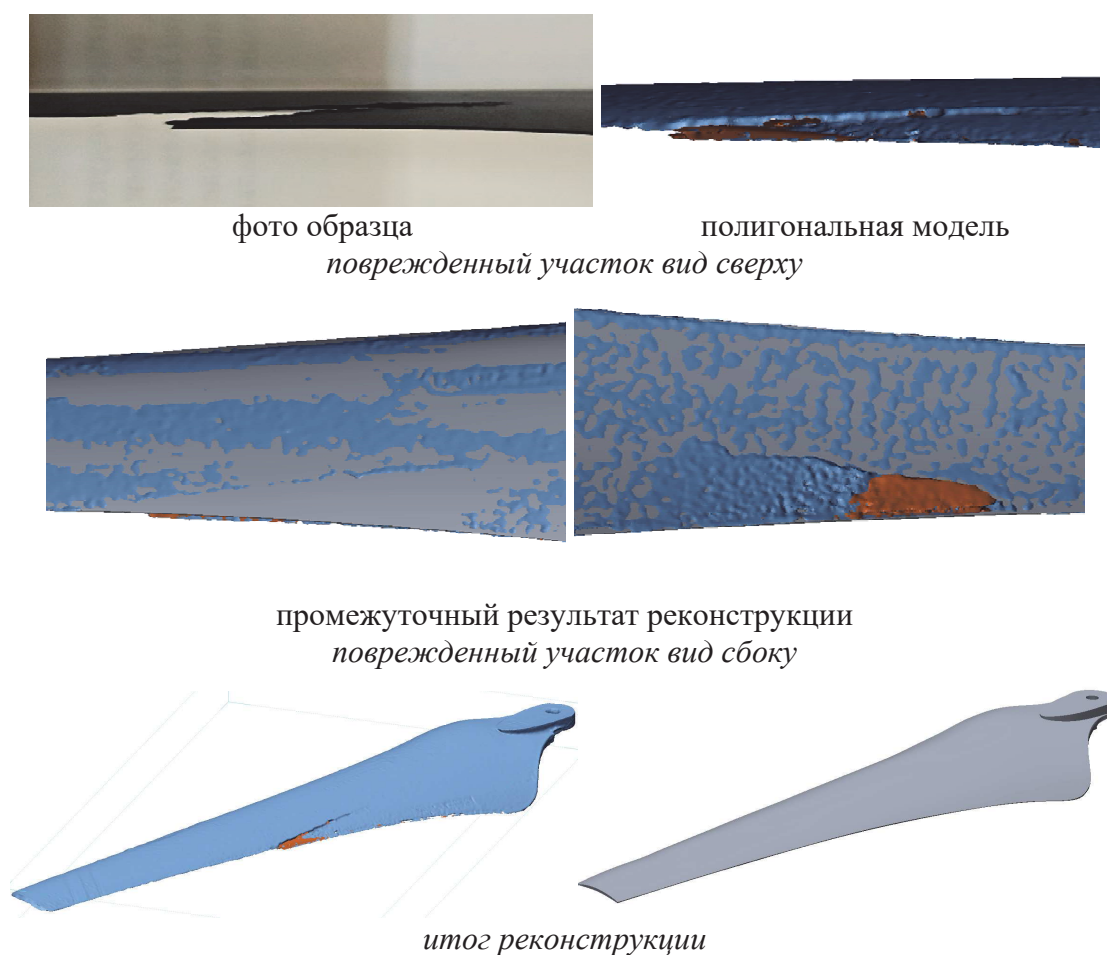


Рис. 3. Реконструкция области трещины

Обязательным этапом обратного проектирования является анализ построения – оценка отклонений построенной модели от эталона

(сетки). Результат анализа выводится на экран в виде цветовой карты изделия (рис.4). Максимальный и минимальный пороги отклонений по умолчанию установлены равными 1 мм. В данном случае допускаемая погрешность модели не более  $\pm 0,1$  мм.

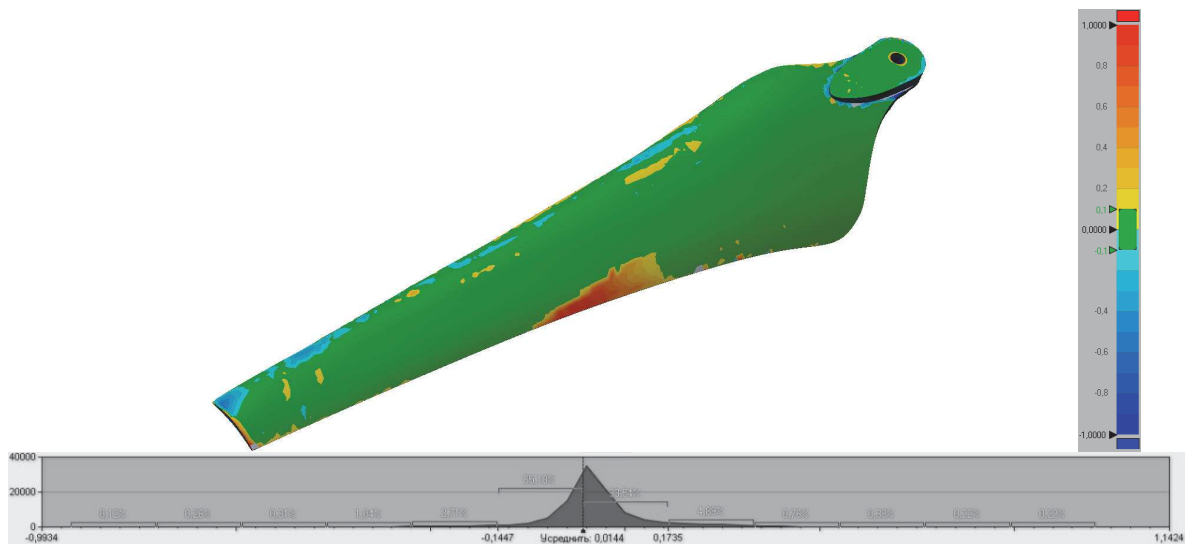


Рис. 4. Цветовая карта изделия

Из цветовой карты видно, что отклонения детали не превышают  $\pm 0,1$  мм, за исключением поднутрений в отверстии, что связано с падающими тенями сканов данной области. Также на цветовой карте объекта выделяется область трещины. Она отображается с отклонением  $\pm 1$  мм, так как имела деформацию в виде изгиба в одну сторону. В результате реверса данный дефект полностью устранен и поверхность имеет ровное строение.

Область отверстия достраивали с учетом размеров образца эталона путем прямых замеров с помощью штангенциркуля.

Таким образом, можно сделать вывод о перспективности использования 3D-сканирования для выполнения реверс-инжиниринга в программах для автоматизированного CAD-моделирования. Формат данных сканирования позволяет импортировать их в любое ПО для дальнейшей доработки. Возможности технологий 3D-сканирования позволяет сэкономить время на проектировании CAD-модели с нуля, поскольку полученные данные обладают высокой точностью и детализацией.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Как 3D-сканеры используют в реверс-инжиниринге / URL: <https://globatek.ru/3d-wiki/revers-engineering> (дата доступа: 02.04.2024).

2. Дьякова Г. Н., Смяян В. Е., Кордикова Е. И. 3D-сканирование и последующее изготовление анатомических моделей методами аддитивных технологий // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2023. № 1 (265). С. 15–20. DOI: 10.52065/2520-2669-2023-265-1-2.

УДК 621.22.018.8: 621.317.79: 681.14

## **СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ПРИВОДОВ ПРОПЕЛЛЕРОВ БПЛА В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ**

**М.Ю. ЩЕГЛОВ, Д.Е. ЛУНГУ**

Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А. Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ)  
Казань, Россия

С целью исследования приемистости и управляемости приводов пропеллеров БПЛА, формирования оптимальных законов управления, а также, решения задач стандартизации и сертификации данных устройств, актуальной является задача определения частоты вращения приводов пропеллеров БПЛА в лабораторных условиях с фиксацией переходных процессов по данному параметру.

Первичный сигнал может быть легко получен, например, от микрофонного датчика, расположенного рядом с вращающимся пропеллером, или с уже встроенного в некоторые электроприводы датчика Холла – с последующим преобразованием в периодические импульсные сигналы и преобразованием их параметров электронно-счётными средствами. Однако основной проблемой решения подобных задач является противоречие между временем, выделенным на измерение, которое не должно быть большим по соображениям фиксации частоты именно в переходных режимах, самой измеряемой частотой и требуемой точностью измерения. Так, например, если требуется циклически проводить измерения частоты вращения пропеллера за 0,1 с (10 отсчётов в секунду), а сама измеряемая частота составляет 200 Гц, то подсчитанные за 0,1 с всего 20 импульсов методом непосредственного счёта дадут погрешность  $\pm 5\%$ , поскольку в зависимости от взаимного расположения измеряемых импульсов относительно начала и конца интервала измерения, реально их может уместиться и 19 и 21.