

*А. М. Коломлин**

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ЛОПАСТНОГО ВИНТА

Построение САД-модели по физическому образцу является одной из ключевых задач современного цифрового машиностроения [1]. При теоретическом описании метода реверс-инжиниринга часто совершаются ошибки, связанные с недооценкой сложности обработки исходных данных. В частности, использование неочищенного облака точек без удаления шумов и выбросов приводит к появлению артефактов на поверхности модели [2]. Особенно критично это для лопастных винтов, где геометрия входных и выходных кромок напрямую влияет на аэродинамические характеристики.

При проведении эксперимента по реверс-инжинирингу двухлопастного винта из полимерного материала использовалось 3D-сканирование с получением облака точек. Исходный образец представлен на рис. 1.



Рис. 1. Исходный образец лопастного винта из полимерного материала

Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. О. Глебова.

В ходе выполнения работы по реверс-инжинирингу двухлопастного винта из полимерного материала одной из задач являлось получение качественного трехмерного скана для последующего построения САД-модели. На первом этапе исходный образец был аккуратно закреплен в пластиковые мини-тиски, что обеспечило его неподвижность и исключило вибрации в процессе сканирования. Само сканирование выполнялось с использованием лазерного ручного 3D-сканера. Благодаря тому, что деталь была надежно зафиксирована, удалось провести захват всей ее геометрии за одну итерацию – сканер «прошел» по поверхности винта со всех сторон без остановки, что позволило получить единое облако точек без необходимости последующего сшивания и выравнивания отдельных кадров. Такой подход значительно упростил дальнейшую обработку данных и минимизировал вероятность появления артефактов на стыках фрагментов. Облако точек, полученное при сканировании (60 000 точек), показано на рис. 2.

Перед построением полигональной сетки необходимо выполнять очистку скана от шумов в специализированном ПО (например, Geomagic). Для лопастных геометрий наиболее эффективным оказалось полиповерхностное моделирование, при котором лопасть строится как набор поверхностей: спинка, корыто, входная и выходная кромки. Такой подход позволяет сохранить аэродинамически значимые зоны с минимальными искажениями.

На основе полигональной сетки построена твердотельная модель.



Рис. 2 Облако точек, полученное при 3D-сканировании винта

В ходе проведенных экспериментов установлено, что в зоне среднего сечения лопасти отклонение построенной модели от исходного скана не превышает 0,08 мм, что является приемлемым для большинства практических задач. Контроль точности выполнялся по цветовой карте отклонений, встроенной в ПО Geomagic [3].

Для построения твердотельной модели лопасти использовался метод полиповерхностей в среде Geomagic. Данный метод позволяет последовательно создать спинку и корыто лопасти, затем сшить их с образованием единого тела. Особое внимание уделялось зоне сопряжения лопасти со ступицей, так как в этой области традиционно возникают наибольшие погрешности при автоматической обработке. Результат построения модели представлен на рис. 3.

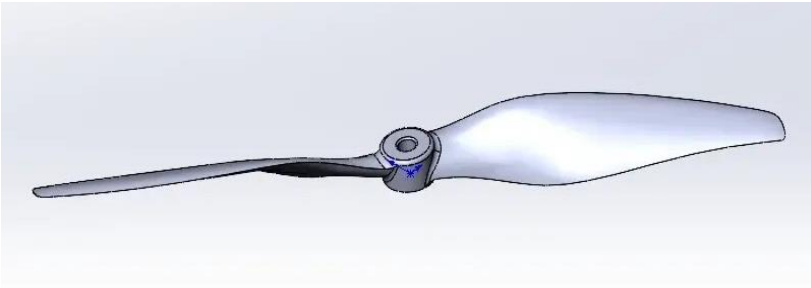


Рис. 3. Твердотельная модель винта, построенная в Geomagic

После завершения построения модели необходимо проверить ее пригодность для последующего изготовления. Полученная CAD-модель может быть использована для фрезерования на станке с ЧПУ или для создания пресс-формы под литье. Важно отметить, что из-за сложной криволинейной геометрии лопастей применение традиционных субтрактивных методов (фрезерование) требует использования 5-осевого оборудования. Альтернативой является аддитивное производство или литье по выжигаемым моделям [4].

При выборе метода изготовления следует учитывать несколько факторов. Во-первых, точность построенной модели (отклонение до 0,08 мм в среднем сечении) позволяет использовать ее для большинства технологических процессов без дополнительной доработки. Во-вторых, материал исходного образца – полимер – накладывает ограничения на выбор технологии: при литье под давлением необходимо учитывать усадку материала, что требует введения поправочных коэффициентов

в геометрию модели. В-третьих, для серийного производства экономически целесообразным является именно литье под давлением, в то время как для единичного или мелкосерийного – аддитивные технологии или фрезерование.

Стоит отметить, что на данный момент целью данных экспериментов служит выявление метода получения точного взаимоотношения между исходным физическим образцом и построенной САД-моделью, а не определение абсолютных значений технологических параметров. Кроме того, погрешность сканирования и последующего моделирования сопоставима с допусками на изготовление аналогичных деталей традиционными методами, что подтверждает практическую применимость предложенного подхода.

Список литературы

1. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов и др. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 266 с.

2. Ляпков, А. А. Полимерные аддитивные технологии : учебное пособие для вузов / А. А. Ляпков, А. А. Троян // Лань : электронно-библиотечная система. – 2-е изд., стер. — СПб. : Лань, 2024. – 120 с. – URL : <https://e.lanbook.com/book/402005> (дата обращения: 07.05.2026).

3. Чертов, А. Н. Современные оптические методы бесконтактных геометрических измерений и восстановления 3D-формы поверхности объектов: обзор / А. Н. Чертов, Д. Д. Хохлов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2024. – Т. 24, № 6. – С. 923 – 935.

4. Жуков А.В., Никифоров А.А., Яковишин А.С. Пластмассы для аддитивных технологий (обзор) // Вестник СГТУ. — 2021. — № 4 (91). — С. 57–70.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*