

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ 3D-СКАНИРОВАНИЯ НА ДЕТАЛИЗАЦИЮ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ УЗЛОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ИХ ОБРАТНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Герцовский Г.А.¹, Осипов С.К.¹, Рогалев А.Н.¹

¹ФБГОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва, gertsovskyga@mpei.ru

Ключевые слова: реверс-инжиниринг, газотурбинные двигатели, камера сгорания, 3D-сканирование, облако точек, полигональное моделирование, 3D-моделирование.

В настоящий момент для авиапромышленной отрасли России необходимо снизить зависимость от зарубежных материалов и комплектующих с помощью импортозамещения. Это обусловлено тем, что основу парка средне- и дальнемагистральных воздушных судов российских авиакомпаний составляют импортные самолёты [1], для эксплуатации которых требуются запасные части. Одним из способов локализации производства комплектующих деталей на территории РФ является обратное проектирование, за счет которого возможно по имеющемуся прототипу изделия разработать конструкторскую документацию (КД). В связи с этим для ускорения разработки КД для запасных частей предлагается использовать методы обратного проектирования.

Обратное проектирование – процесс разработки конструкторской документации на основе исходных данных, полученных в виде готового образца изделия. Этапы обратного проектирования включают в себя: анализ конструкции и определение основных геометрических параметров и состава материала.

Получение геометрических параметров возможно с использованием бесконтактных и контактных методов взаимодействия с прототипом детали. Контактные методы обычно применяются для деталей простой формы, при которых используются измерительные инструменты и манипуляторы. Для деталей сложного профиля используются бесконтактные методы 3D-сканирования с целью получения их поверхности в виде облака точек.

В настоящей работе приводятся результаты исследования параметров экспозиции и расстояния между точками полигональной сетки на отклонение геометрических параметров получаемой полигональной 3D-модели сканируемой поверхности от фактических размеров прототипа.

В качестве объекта для проведения исследования влияния настроек 3D-сканирования на детализацию внешней геометрии поверхности полигональной модели и геометрические характеристики был выбран корпус камеры сгорания корпус микро-ГТУ Capstone C65. Корпус камеры сгорания по своей форме близок к кольцевым камерам сгорания малоразмерных газотурбинных двигателей [2].

При сканировании внешняя геометрия оцифровывается в виде облака точек, на основе которого в последствии строится полигональная модель. Поверхности полигональной модели используются для создания эскизов при разработке твердотельной 3D-модели. Для сканирования применялся 3D-сканер Shining 3D FreeScan UE Pro, который позволяет получать геометрию внешней части с точностью до 20 мкм. В программном обеспечении сканера FreeScan в качестве настроек задавались: расстояние между точками, тип сканируемой поверхности, настройки экспозиции и режимы источника лазерного излучения.

Наибольшее влияние на процесс сканирования оказывают параметры экспозиции и заданное расстояние между точками. Уменьшение настройки экспозиции уменьшает яркость отображения лазерной сетки, в связи с этим процесс сканирования может прерываться, поскольку сканер не распознает сетку на поверхности объекта. Также менее заметно отклонение сетки, что сказывается на детализации поверхности скана.

Изменение расстояния между точками полигональной сетки менее чем на 0,5 мм позволяет получить большую детализацию сканируемой поверхности, однако при

уменьшении расстояния между точками, требуются более высокие системные требования к вычислительным мощностям при обработке полигональной сетки.

В процессе исследования корпус камеры сгорания микро-ГТУ Capstone C65 был отсканирован четыре раза при различных значениях расстояния между точками и экспозиции. Настройка экспозиции устанавливалась на уровне 25-30% от максимального значения.

Для задания расстояния между точками был выбран диапазон от 0,2 до 1 мм. При проведении исследования расстояние между точками уменьшалось для определения оптимальной детализации внешних частей отверстий и кромок.

На основе проведенного исследования лучший результат был получен при четвертом экспериментальном сканировании настройке экспозиции равной 30% от максимума и заданном расстоянии между точками 0,2 мм (табл. 1). В результате после полного сканирования корпуса микро-ГТУ Capstone C65 полигональная модель имела достаточную детализацию внешней поверхности вблизи отверстий и кромок. В данном случае удалось увеличить скорость и сократить время сканирования в диапазоне от 30 до 37 минут в сравнении со вторым и третьим экспериментом.

Табл. 1. Оценка влияния настроек лазерного 3D-сканирования корпуса камеры сгорания микро-ГТУ Capstone C65

№	Настройка параметра экспозиции, %	Расстояние между точками, мм	Время сканирования и обработки, мин.	Кол-во кадров для построения	Количество точек	Размер stl файла, Кб
1	30	1,0	47	45123	566363	28867
2	25	0,5	95	73406	5873551	256925
3	25	0,3	87	75409	6082865	399400
4	30	0,2	58	74999	7939372	922431

На основе полигональной модели, полученной в четвертом эксперименте, с помощью программы Geomagic Design X была создана твердотельная модель корпуса камеры сгорания микро-ГТУ Capstone C65. Поскольку корпус камеры сгорания был выполнен из нескольких составных деталей, то для каждой из них поэтапно была получена твердотельная геометрия. В процессе создания твердотельных моделей для каждой детали корпуса камеры сгорания были проанализированы их отклонения от поверхности полигональной сетки (рис. 1).

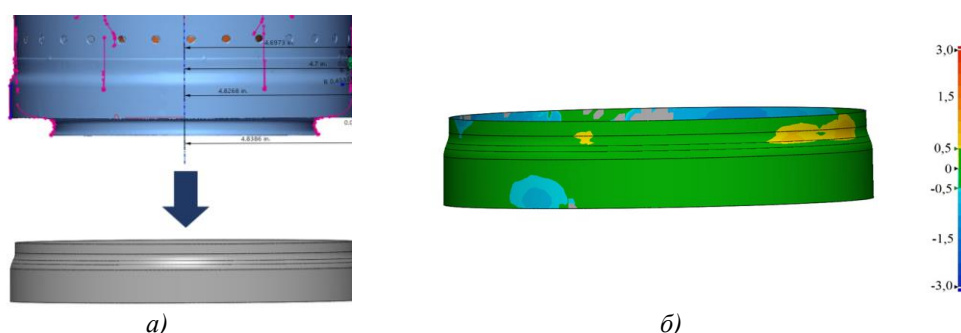


Рис. 1. Получение и проверка твердотельных деталей частей корпуса камеры сгорания микро-ГТУ Capstone C65 в программе Geomagic Design X: а) создание твердотельной геометрии на основе полигональной сетки б) проверка отклонений детали твердого тела от полигональной модели с помощью функции «Отклонение для тела».

Отклонения поверхности анализировались с помощью встроенной функции «отклонения для тела» в программе Geomagic Design X. Для каждой детали при построении модели соблюдалось отклонение в диапазоне ± 1 мм от сканируемой поверхности камеры сгорания.

На основе проведенного исследования были получены рекомендации для настроек сканера при лазерном 3D-сканировании для получения высоко-детализированных

трехмерных моделей деталей оборудования, являющимися объектами обратного проектирования. Также оценено влияние настроек 3D-сканирования на геометрические параметры твердотельной 3D-модели. Установлено, что при увеличении экспозиции более чем на 25% от максимального значения повышается детализация и увеличивается скорость сканирования. Определено, что расстояние между точками полигональной стеки при ограниченных вычислительных мощностях для меньшего размера файла полигональной модели следует выбирать в диапазоне от 1 до 0,3 мм, поскольку при уменьшении расстояния между точками менее чем на 0,3 мм размер файла увеличивается более чем в 2,3 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FSWF-2023-0014 (Соглашение № 075-03-2023-383 от 18 января 2023 г.) в сфере научной деятельности на 2023-2025 гг.

Список литературы

1. Капогузов Е.А. Импортозависимость российской гражданской авиационной промышленности // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2022. №. 58. С. 58-76.
2. Григорьев В.А. и др. Малоразмерные авиационные газотурбинные двигатели. Самара: Издательство Самарского университета, 2021.

Сведения об авторах

Герцовский Георгий Александрович, аспирант кафедры инновационных технологий наукоемких отраслей «НИУ «МЭИ». Область научных интересов: газотурбинные двигатели, обратное проектирование деталей наукоемкого оборудования, производство наукоемкого оборудования.

Осипов Сергей Константинович, к.т.н., доцент кафедры инновационных технологий наукоемких отраслей «НИУ «МЭИ». Область научных интересов: энергетические газотурбинные установки и авиационные двигатели, численное моделирование физических процессов, обратное проектирование.

Андрей Николаевич Рогалев, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой инновационных технологий наукоемких отраслей «НИУ «МЭИ». Область научных интересов: энергетические газотурбинные установки и авиационные двигатели, системы автоматизированного проектирования, обратное проектирование.

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF 3D SCANNING PROCESS SETTINGS ON THE DETALIZATION AND GEOMETRIC PARAMETERS OF SOLID-STATE 3D MODELS OF GAS TURBINE ENGINE ASSEMBLIES DURING THEIR REVERSE ENGINEERING

Gertsovsky G.A.¹, Osipov S.K.¹, Rogalev A.N.¹

¹National Research University "MPEI", Moscow, Russia, gertsovskyga@mpei.ru

Keywords: reverse engineering, gas turbine engines, combustion chamber, 3D-scanning, point cloud, polygonal modeling, 3D-modeling.

Based on the conducted research, recommendations were obtained on configuring optical equipment during 3D laser scanning to obtain highly detailed engine models in the reverse engineering process. The influence of the scanner hardware settings on the geometric parameters of the solid-state 3D model is also evaluated.