

УДК 004. 383.4

## ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ОБЪЕМНОГО, БЕСКОНТАКТНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ С НЕЧЕТКИМИ ЗОНАМИ ОТРАЖЕНИЯ ЛУЧА

П.Н. Костин<sup>1</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведена общая классификация 3D-сканеров, определена специфика каждого метода. Подробно рассмотрен бесконтактный метод лазерного сканирования на примере 3D-сканера RolandL PX-600. Проведено сканирование детали сложной геометрической формы поверхности, обладающей физическими недостатками в виде отверстий и сколов. Перечислены возможности прикладных программ, с помощью которых осуществляется редактирование отсканированной модели. Пошагово описан алгоритм редактирования виртуальной модели. Получена модель, где устранены дефекты, которые содержал прототип.

*Ключевые слова: оптическое сканирование, полигональные поверхности, бесконтактное сканирование, линейная триангуляция.*

## STUDY OF METHODS TO OPTIMIZE DIMENSIONAL, NON-CONTACT SCANNING OF PARTS WITH COMPLEX GEOMETRIC SHAPE AND INDISTINCT ZONES OF RAY REFLECTION

P. Kostin

Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Street, Irkutsk, 664074, Russia.

The article presents the general classification of 3D Scanners and specific character of each method. It discusses in detail non-contact method of laser scanning in the case of 3D scanner RolandL PX-600. The part of complex geometric surface form with physical defects constituting slots and chips has been scanned. The article enumerates the potential of application programs used to edit the scanned model. The author gradually describes algorithm for editing virtual model. The model with eliminated defects that were in the prototype has been obtained.

*Keywords: optical scanning, polygonal surfaces, non-contact scanning, linear triangulation*

В настоящее время в различных сферах человеческой деятельности присутствуют объемные электронные модели. Работают с ними в проектировании и строительстве, в большой и малой промышленности, в развлекательной индустрии и даже в медицине.

Всё более востребованными становятся технологии обратного инжиниринга, позволяющие получать поверхность модели по оцифрованным данным. Для решения подобных задач служат 3D-сканеры, которые снимают множество точек в сканируемом пространстве, определяя их положение, с целью дальнейшего воссоздания формы сканируемого объекта, который принято называть прототипом. А процесс создания виртуальной модели прототипа называют реконструкцией.

3D-сканеры классифицируются по методу снятия точек на контактные и бесконтактные. Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки. Контактные сканеры имеют высокую детализацию, не зависящую от цвета сканируемой модели и световых условий, как при бесконтактном сканировании. Но при контактном сканировании может нарушиться целостность сканируемой модели в результате соприкосновения сканирующего устройства с поверхностью модели. Кроме того, контактное сканирование значительно уступает в скорости сканирования бесконтактному способу и чувствительно к внешним изменениям среды (температуре, колебаниям). Бесконтактное сканирование является более перспективным, хотя и имеет такие недостатки как ограниченное поле зрения и зависимость от цвета поверхности сканируемой детали.

Рассмотрим настольный 3D сканер Roland LPX-600, принцип действия которого основан на бесконтактном оптическом сканировании. Он предназначен для лазерного сканирования объектов.

---

<sup>1</sup>Костин Павел Николаевич, студент гр. АТб-14-2 кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: kostin95@istu.edu

Kostin Pavel, a second-year student of Technology and Equipment of Machine-Building Industries Department, e-mail: kostin95@istu.edu

У сканера Roland LPX-600, как и других бесконтактных сканеров, можно выделить следующие недостатки:

- ограниченная область сканирования;
- невозможность сбора данных поверхностей, имеющих угол в 20 градусов и ниже к направлению лазерного луча;
- низкая детализация модели, прототип которой имеет темную или светоотражающую поверхность.

К основным достоинствам относятся:

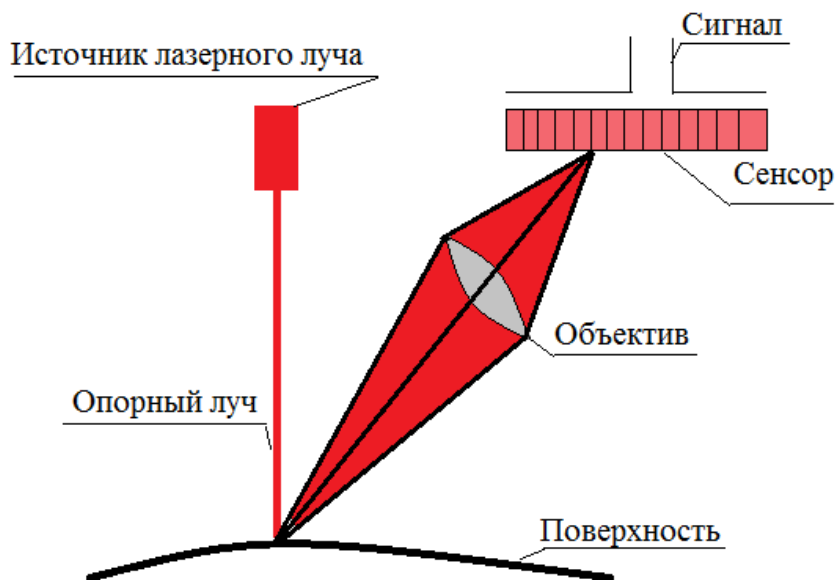
- отсутствие деформаций прототипа при сканировании;
- скорость сканирования выше, по сравнению с контактными технологиями;
- высокое разрешение сканирования.

*Основные характеристики сканера Roland LPX-600:*

размер стола – диаметр 254 мм;  
сканируемое пространство – ширина 254 мм, высота 406.4 мм;  
разрешение сканирования – ширина 0,2 мм, высота 0,2 мм;  
погрешность – 0,05 мм;  
максимальная нагрузка на стол – 5 кг;  
размеры сканера – 630 [ширина] x 506 [глубина] x 761 [высота] мм;  
вес сканера – 63 кг [1, С.1].

Главной характеристикой качества 3D сканирования является разрешение, определяющее уровень детализации и качества формируемой виртуальной модели. У сканера Roland LPX-600 сравнительно высокое разрешение сканирования в классе сканеров с бесконтактной технологией сканирования.

Принцип работы сканера Roland LPX-600 основан на бесконтактном сканировании лазерным лучом. На поверхность, сканируемой модели падает опорный луч, происходит отражение луча от поверхности модели, преломленный объективом луч попадает в сенсор приемник – матрицу, в которой он преобразовывается в электрический сигнал (рис. 1). Эта технология называется линейная триангуляция. По известной скорости распространения луча и времени его возвращения определится координата сканируемой точки в пространстве.



**Рис. 1. Принцип действия линейной лазерной измерительной головки**

Различные сканеры имеют различные ограничения поле зрения (рис. 2). Под полем зрения понимается пространство, входящее в пределы возможного попадания опорного луча. Технология линейной триангуляции не позволяет сканировать модели, поверхность которых имеет резкие ступенчатые переходы. При резких ступенчатых перепадах поверхности, отраженный от неё опорный луч не достигает сенсора. Это происходит из-за перекрытия ступенью поверхности оптической оси сенсора.

Проблема ограниченности поля зрения характерна всем 3D-сканерам, работающим на технологии бесконтактного сканирования. Частичное решение проблемы ограниченности поля зрения решается перепозиционированием сканируемой детали.

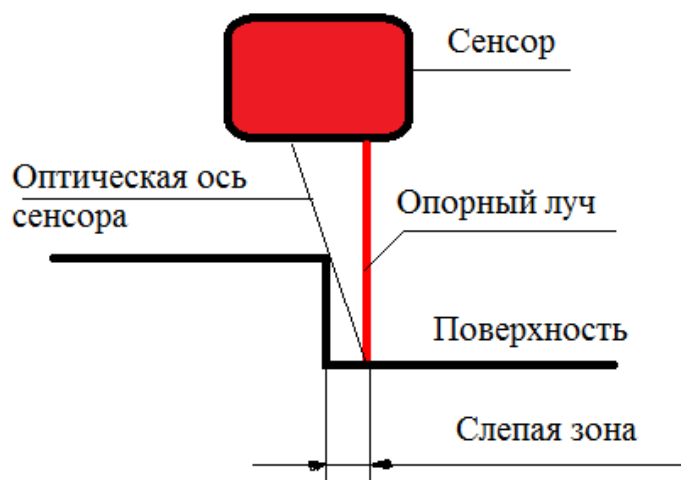


Рис. 2. Поле зрения сканера Roland LPX-600

### Программное обеспечение

В комплект с лабораторным 3D-сканером входит программа Dr.PICZA3, которая позволяет управлять процессом сканирования на этапе подготовки к сканированию, а также в автоматическом режиме сканирования устраняет лишние неровности и заполняет дефектные отверстия для формирования плавности поверхности.

На предварительных этапах выбирается уровень детализации сканирования и тип самого сканирования. Чем выше уровень детализации, тем большее время занимает процесс сканирования, но при этом получается более точная модель.

Лабораторный 3D-сканер Roland имеет два способа сканирования: плоскостной и ротационный.

Ротационный способ оптического сканирования предназначен для быстрого сканирования всего объекта, установленного на вращающемся столе. При использовании этого метода невозможно получение высокой детализации виртуальной модели. Количество точек, отсканированных при использовании этого метода мало, а для получения поверхности расстояние между этими точками заполняется в автоматическом режиме. Данный метод применяется для оптического сканирования моделей, имеющих однородную поверхность.

Плоскостной способ сканирования собирает точки с высокой точностью благодаря синхронному сканированию точек сразу в нескольких плоскостях, максимальное число плоскостей – 6. При использовании этого метода количество собранных точек максимально и располагаются они максимально близко друг к другу. При автоматическом заполнении расстояния между точками, которые нужны для построения поверхности, уменьшается. Следовательно, вероятность ошибочного заполнения этого расстояния снижается, что повышает точность формирования виртуальной модели.

Отсканированные данные имеют расширение .rij, которые могут быть экспортированы в форматы для последующего редактирования в 3D CAD программах.

Существует достаточно много программных пакетов, предназначенных для редактирования оцифрованного изображения. Одним из лучших считается Geomagic Studio. Этот пакет отличается от других простым интерфейсом, удобным как для рядового пользователя, так и для профессионального специалиста.

В Geomagic Studio реализована возможность объединения нескольких облаков точек в одну целую часть. Имеется ряд инструментов для очистки массива данных от ошибочно оцифрованных данных, которые называют шумом. Включены функции по созданию триангулированных поверхностей с заполнением отверстий в них с учетом неровностей поверхности. Полученные триангулированные полигональные поверхности можно экспортировать в любые системы САПР для их дальнейшего применения.

### Процесс сканирования модели

В качестве модели, на которой можно рассмотреть методы оптимизации и восстановления изображения, выбран объект (рис. 3), имеющий три дефектных отверстия, и темное пятно, которое не может быть отсканировано бесконтактным методом. А также поверхность прототипа имеет ступенчатую область, сканирование которой затруднено бесконтактным оптическим методом.

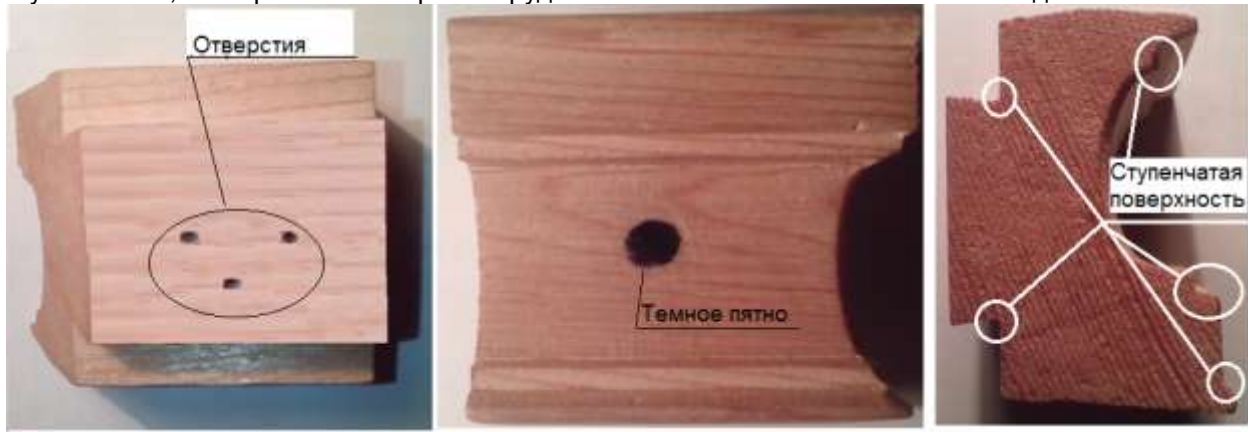
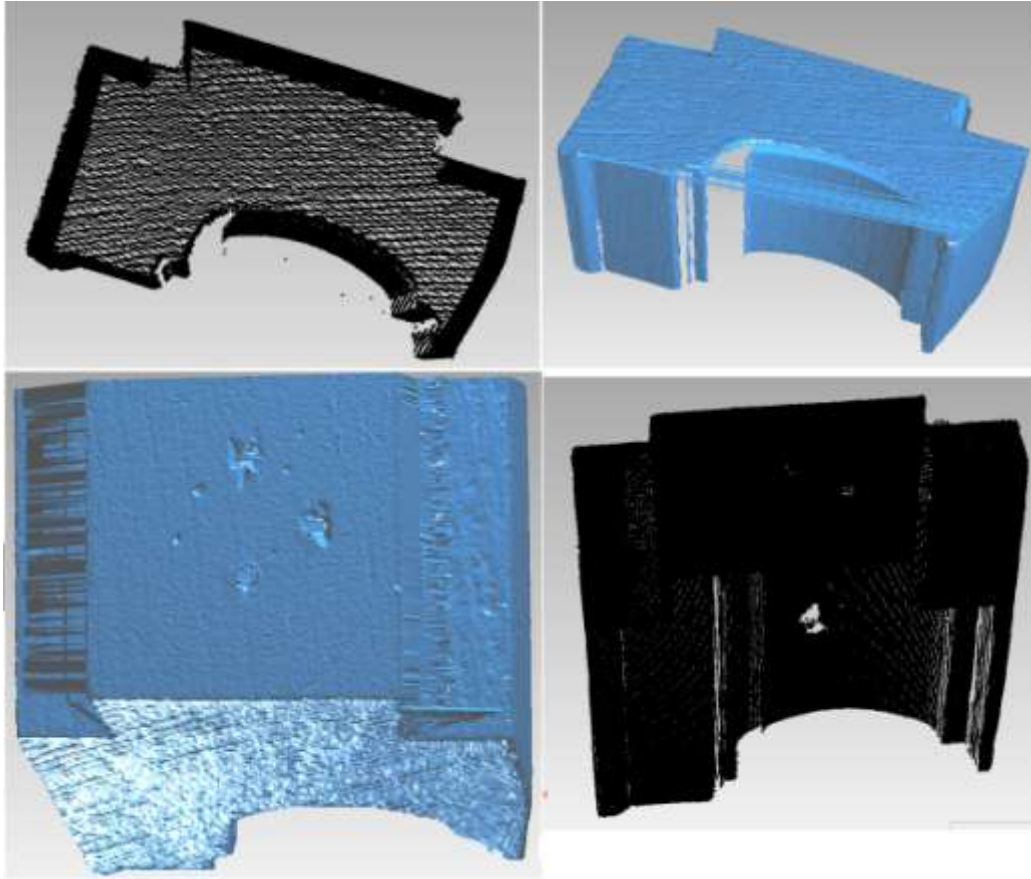


Рис. 3. Сканируемая модель

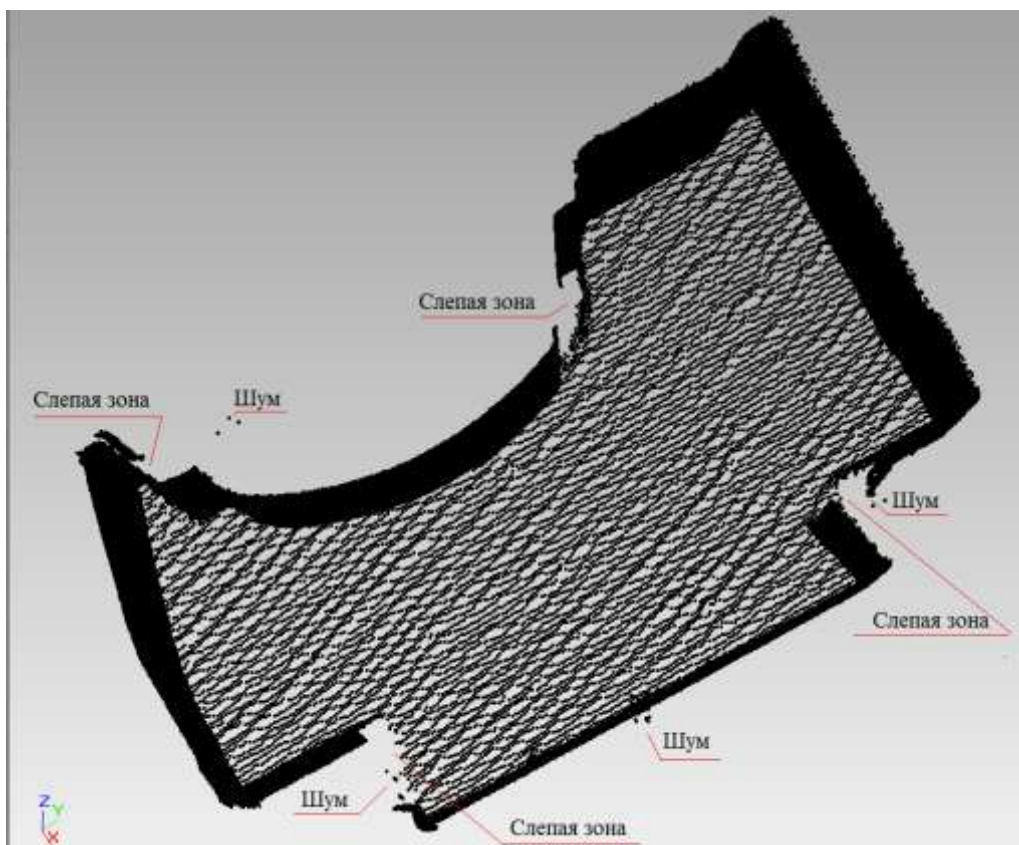
На предварительном этапе в управляющей программе Dr.PICZA3 выбран плоскостной способ сканирования в шести плоскостях. Выбрано наивысшее разрешение сканирования 0,2\*0,2мм.

Выбор наивысшего разрешения и наивысшего числа плоскостей сканирования продиктован сложностью прототипа. У сканируемой модели имеются труднодоступные для сканирования участки поверхности, по этой причине было выбрано максимальное число плоскостей сканирования. Выбор максимального разрешения объясняется сложностью геометрических форм поверхности прототипа. Несмотря на максимально высокие характеристики, установленные на предварительном этапе, качество отсканированной модели низкое (рис. 4).



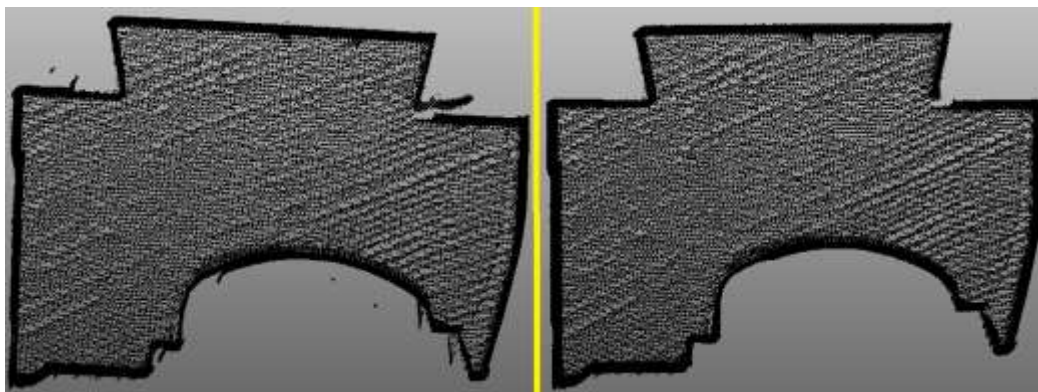
**Рис. 4. Результат сканирования в Dr.PICZA3**

В зонах, где поверхность имеет ступенчатые формы, создающие слепые зоны для лазерного луча, не удалось собрать точки, или удалось собрать недостаточно точек для объединения их в облако. В результате процесса сканирования появились не отсканированные участки. Также в процессе сканирования были получены точки, которых не было в поле зрения лазерных лучей, эти точки называются шумом (рис. 5).



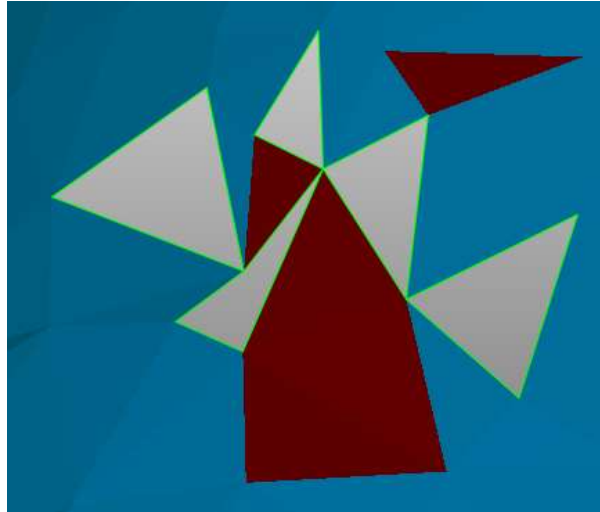
**Рис. 5. Дефекты сканирования**

Для дальнейшего редактирования оцифрованная модель экспортируется в виде облака точек в программу Geomagic Studio. Исходное облако состояло из 283929 точек, после устранения шумов количество точек уменьшилось до 271767 точек (рис. 6).



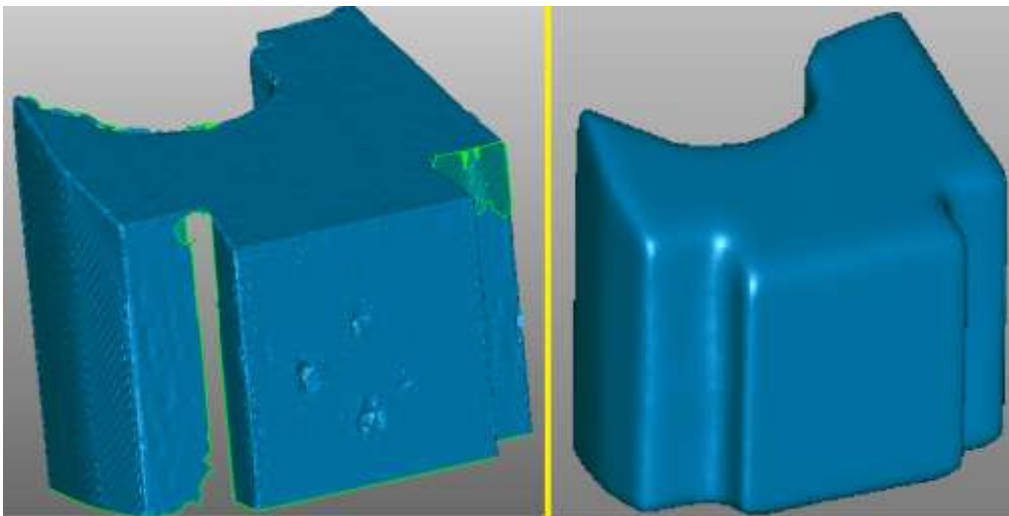
**Рис. 6. Устранение шумов в Geomagic Studio**

Устранение шумов является обязательным этапом редактирования оцифрованной модели. Следующим этапом является создание полигональных плоскостей, в случае если пренебречь шумами, то при преобразовании точек в полигональные плоскости, можно получить модель с очень высокими погрешностями. Полигональные плоскости получаются в результате заполнения расстояний между точками, образующих облако. Полигональные плоскости представляют собой совокупность треугольников, построенных на точках, образующих облако (рис. 7).



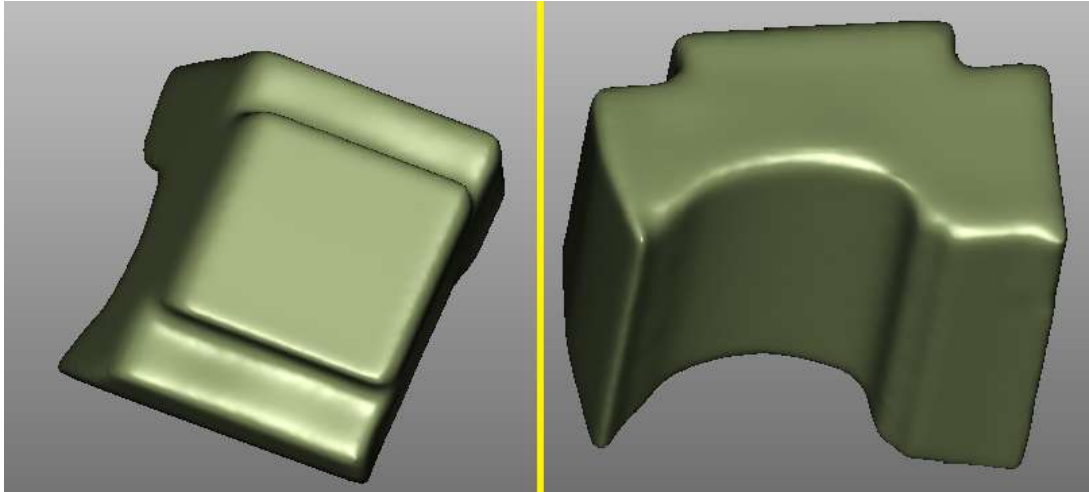
**Рис. 7. Структура полигональной поверхности**

При генерации полигональных плоскостей становятся отчетливо видны различные дефекты отсканированной модели, которые связаны с дефектами прототипа или с недоступными для лазерного луча участками поверхности. После преобразования облака точек в полигональные плоскости, оцифрованная модель редактируется (рис. 8). Для редактирования полигональных плоскостей в программе Geomagic Studio имеется множество инструментов, позволяющих устранять любые возможные дефекты.



**Рис. 8. Редактирование полигонов в Geomagic Studio**

На заключительном этапе редактирования оцифрованной модели в программе Geomagic Studio с помощью специального инструмента «создать параметрическую модель» производится преобразование отредактированных полигональных плоскостей в параметрическую поверхность (рис. 9).



**Рис. 9. Параметрическая модель**

Параметрическая поверхность представляет собой набор сведений об объекте, необходимых для дальнейшего экспортирования оцифрованной модели в любую CAD систему, где производится дальнейшая работа с моделью.

### **Заключение**

Основные трудности процесса бесконтактного сканирования заключаются в ограниченности поля зрения, которое можно расширить перепозиционированием детали. Существенные трудности при сканировании бесконтактным способом вызывают светоотражающие, прозрачные и тёмные поверхности. Пренебречь типом поверхности можно с помощью покрытий вышеперечисленных поверхностей мелом или светлыми сухими красками Холи.

При наличии дефектов у сканируемой детали (сколов, трещин, микронеровностей, выступов), их можно устранить. Для этого необходимо отсканировать детали, и применяя специальное программное обеспечение удалить лишнее или же добавить при помощи специальных инструментов редактирования недостающие части детали.

Учитывая все достоинства и недостатки технологий объемного оптического сканирования, а также располагая инструментами устранения недостатков с помощью специализированного ПО (например, программа Geomagic Studio) можно получать электронные, параметрические модели отсканированных деталей в высоком качестве. Для дальнейшего редактирования параметрической модели существует возможность экспорта отсканированных данных в 3D CAD программы, где электронная модель может быть существенно преобразована в требуемых форматах и размерах.

### **Библиографический список**

1. Roland LPX-60/600/1200, 3D сканеры. Серия DS [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://printer.wmt.ru/pdf/lpx-ds\\_series.pdf](http://printer.wmt.ru/pdf/lpx-ds_series.pdf) (дата обращения: 06.06.2016).
2. Модельщик 2000: системы 3-D сканирования // CADMASTER [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm\\_01\\_modeller\\_2000.html](http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_01_modeller_2000.html) (дата обращения: 03.05.2016).