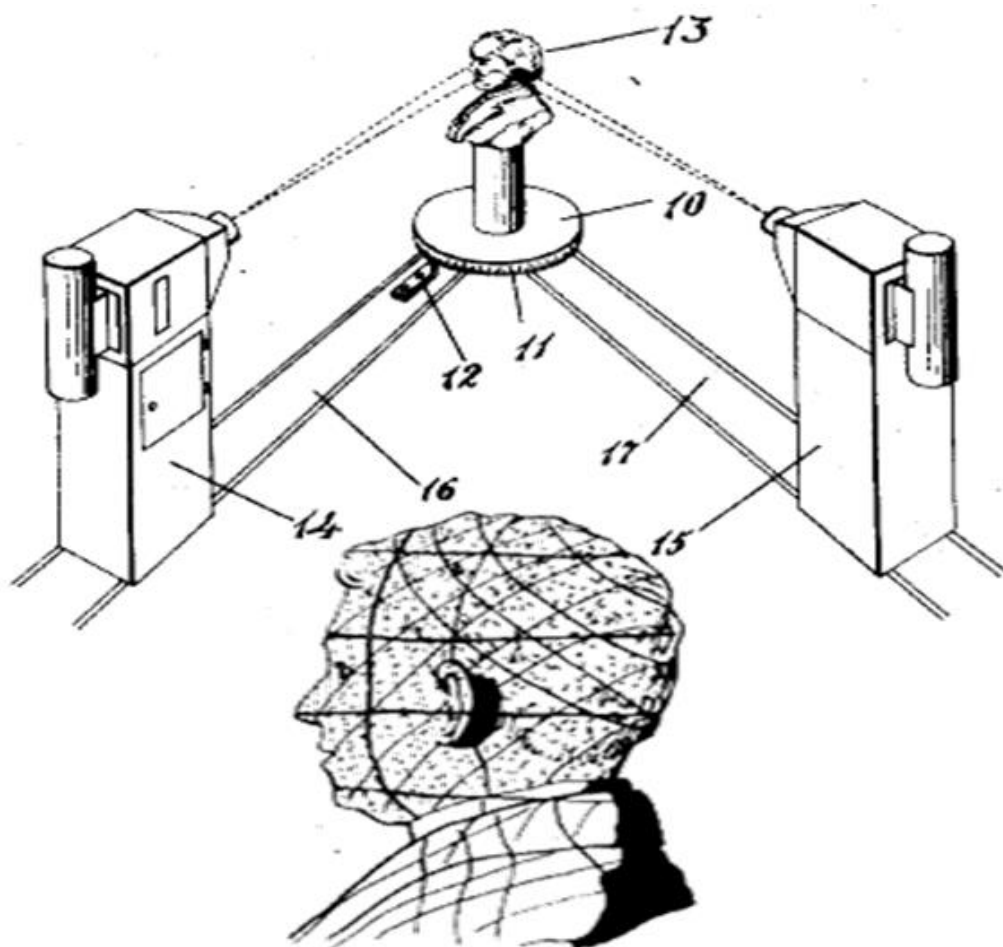


Геометрическое моделирование в аддитивном производстве

А. А. ГРИБОВСКИЙ



Санкт-Петербург • 2015

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

А. А. Грибовский

**ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В
АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Учебное пособие

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Санкт-Петербург
2015**

Грибовский А. А. Геометрическое моделирование в аддитивном производстве. Учебное пособие – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 49 с.

В учебном пособии рассмотрены современные средства работы с трехмерными моделями, применяемые для решения задач быстрого производства, вопросы реверс-инжиниринга изделий на основе регулярной геометрии или свободной формы, а также проблемы контроля изделий и визуализации новых разработок.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 200100 «Приборостроение».

Рекомендовано к печати Учёным советом факультета компьютерных технологий и управления, протокол № 10 от 08.12.15.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2015

© Грибовский А. А. 2015

Оформление ссылок на Интернет-ресурсы

Для упрощения работы со ссылками на Интернет-ресурсы в данном учебном пособии используется следующее оформление:

- Все ссылки сокращены с помощью сервиса *goo.gl*.
- Часть ссылок снабжено QR-кодом.

QR-код – это двумерный штрих-код, который может быть распознан с помощью специализированного программного обеспечения, установленного на мобильный телефон или Интернет-планшет читателя. QR-код будет особенно полезен в процессе работы с бумажной версией учебного пособия.



ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ БЫСТРОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ.....	6
1.1 ПРИМЕНЕНИЕ GEOMAGIC CONTROL ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ	6
1.2 ПОСТРОЕНИЕ САД-МОДЕЛЕЙ ИЗДЕЛИЙ СВОБОДНОЙ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ	16
1.3 КОМПЛЕКСНЫЙ РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ ИЗДЕЛИЙ.....	22
1.4 САД-ПРОЕКТИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ GEOMAGIC DESIGN С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ	28
1.5 ПОСТРОЕНИЕ ФОТОРЕАЛИСТИЧНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ KEYSHOT.....	32
ГЛАВА 2 ПОЛУЧЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	35
2.1 ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ МАССОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	35
2.1.1 <i>Доступные средства для САД-моделирования</i>	<i>36</i>
2.1.2 <i>Доступное полигональное моделирование</i>	<i>38</i>
2.2 БАЗЫ ДАННЫХ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ	40
2.2.1 <i>Рабочее пространство обмена трехмерными моделями в web-сервисе GrabCAD.....</i>	<i>41</i>
2.2.2 <i>Массовое хранение и визуализация трехмерных моделей в web-сервисе Thingiverse</i>	<i>42</i>
2.2.3 <i>Реализация PLM подхода в web-сервисе TeamPlatform</i>	<i>43</i>
ЛИТЕРАТУРА	46

ВВЕДЕНИЕ

Трехмерное моделирование, бесспорно, является основной современной производств. Особенно сильно это проявляется, когда рассматриваются аддитивные технологии, так как трехмерная печать в принципе невозможна без качественной трехмерной модели. При этом у аддитивных технологий имеются определенные нюансы применения трехмерных моделей, что выделяет их среди других, более традиционных технологий производства.

С точки зрения трехмерного моделирования аддитивные технологии больше всего связаны с другими технологиями быстрого производства, особенно с технологией трехмерного сканирования, которая является ключевой технологией получения моделей изделий высокой сложности.

В основе применения технологии трехмерного моделирования лежит решение таких задач, важных для любого производства, как проектирование модели объекта с высокой точностью и контроль качества изделия. При этом уникальность технологии трехмерного сканирования позволяет применять новые принципы как для моделирования, так и для контроля. Для качественного использования моделей, которые получают с помощью трехмерного сканирования, как в аддитивном производстве, так и в любом другом, необходимо знать и понимать как работает соответствующее программное обеспечение. В данном учебном пособии рассматриваются системы, которые применяются для контроля и проведения реверс-инжиниринга изделий.

Важной особенностью аддитивных технологий является их простота для рядового пользователя, что делает такой способ производства идеальным для массового распространения. При этом возникают специфические задачи, связанные с низким уровнем подготовки массовых пользователей. Ключевая задача – обеспечение простыми средствами получения или проектирования трехмерных моделей для последующего производства с использованием трехмерных принтеров.

Данное методическое пособие раскрывает возможности современных программных средств, предназначенных для контроля или реверс-инжиниринга на основе данных трехмерного сканирования, а также описывает основные подходы и специализированный инструментарий для получения трехмерных моделей, которые могут стать основой для производства изделий на аддитивном оборудовании.

ГЛАВА 1

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ БЫСТРОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Аддитивные технологии, являющиеся важной частью быстрого производства изделий, тесно связаны с другими представителями этого направления. Ключевой технологией быстрого производства изделий, часто применяемой для получения полигональных моделей, является трехмерное сканирование [1].

Одним из основных разработчиков программного обеспечения для промышленного использования результатов трехмерного сканирования является компания Geomagic, которая создает целый спектр специализированных систем для создания цифровых моделей реальных объектов уже более 15 лет. С 2013 года является частью компании 3DSystems – одного из лидеров индустрии аддитивного производства [2].

1.1 Применение Geomagic Control для контроля изделий

Значительное повышение качества трехмерного сканирования и точности получаемых данных позволяет применять технологию для проведения контроля изделий даже в областях, которые требуют прецизионного измерения, включая приборостроение или, например, изготовление турбинных лопаток. Наиболее известным и признанным программным обеспечением для объемного контроля изделий на основе данных трехмерного сканирования является система Geomagic Control, которая длительное время существовала под названием Geomagic Qualify.

Geomagic Control – это комплексное решение для 3D-измерений, обеспечивающее высокую степень автоматизации контроля. Geomagic Control может использовать данные контактного обмера и бесконтактного сканирования для выполнения широкого диапазона различных видов измерений [3]. Платформа автоматизации Geomagic Control позволяет оптимизировать практически любой процесс за счет сокращения потребности во вмешательстве человека в процессы измерений и записи результатов, сокращения времени измерений, а также значительного улучшения показателей повторяемости и воспроизводимости. Основные функции системы включают:

- Поддержка всех широко используемых в отрасли аппаратных устройств и широкая поддержка форматов файлов.
- Встроенные средства импорта данных 3D САПР, в том числе данных PMI, таких как GD&T и ссылочная геометрия.
- Надежные функциональные возможности GD&T, задание нормативных размеров и создание ссылочной геометрии.
- Инструменты для контактных измерений и измерений геометрических элементов, позволяющие быстро создавать ссылочную геометрию с помощью мыши или измерительного прибора.
- Мощная платформа автоматизации, а также функция написания сценариев, включающая ряд функциональных возможностей проверки.
- Несколько специализированных инструментов выравнивания для создания систем координат, включая интеллектуальный инструмент автоматического выравнивания.
- Гибко настраиваемые инструменты создания отчетов, включающие в себя встроенные модели 3D PDF.
- Расширенные возможности анализа аэродинамического профиля.
- Контроль без номинала CAD.
- Полная руссификация.

Процесс контроля содержит 3 основных этапа (рисунок 1.1):

- Передача в систему трехмерного скана (через файл или напрямую с устройства).
- Сравнение трехмерного скана с эталонной моделью по набору критериев или измерение скана с использованием специализированного инструментария.
- Формирование отчета с описанием результатов анализа.



Рисунок 1.1. Процесс контроля изделий в системе Geomagic Control.

Geomagic Control состоит из программных модулей, направленных на решение следующих взаимосвязанных задач:

- Модуль визуальной оценки модели.
- Модуль работы с поверхностями.
- Модуль получения объемных снимков объектов.
- Модуль выравнивания.
- Модуль работы с примитивами.
- Модуль анализа.
- Модуль формирования отчетов.
- Модуль анализа аэродинамических поверхностей.
- Модуль автоматизации.

Модуль визуальной оценки включает набор инструментов для всестороннего осмотра модели, а также инструменты для наложения текстуры на объект, что позволяет выявить особенности геометрии за счет более наглядного отображения искривлений (рисунок 1.2).

Модуль работы с поверхностями позволяет редактировать CAD-поверхность, полигональную поверхность или облако точек в зависимости от того какой объект активен в дереве. Редактирование CAD-поверхности сводится к оптимизации ее использования в системе. Инструментарий редактирования полигональной модели включает исчерпывающий набор средств для анализа, исправления и оптимизации поверхности. Для исправления модели пользователь может произвести выравнивания поверхности, сшивания разорванных частей или интеллектуального упрощения полигональной сетки. Если в систему загружено облако точек, то активируется набор средств для его оптимизации и преобразования в качественную полигональную модель.

Для большого количества сканеров или КИМ¹ доступен инструментарий прямой передачи трехмерных сканов в систему через модуль получения объемных снимков. При использовании этого модуля пользователь получает доступ ко всем базовым настройкам синхронизации с устройством и выравнивания системы координат, что позволяет передавать данные в реальном времени и в интерактивном режиме выполнять их анализ, редактирование или сравнение с эталоном.

¹ КИМ: Координатно-измерительная машина.

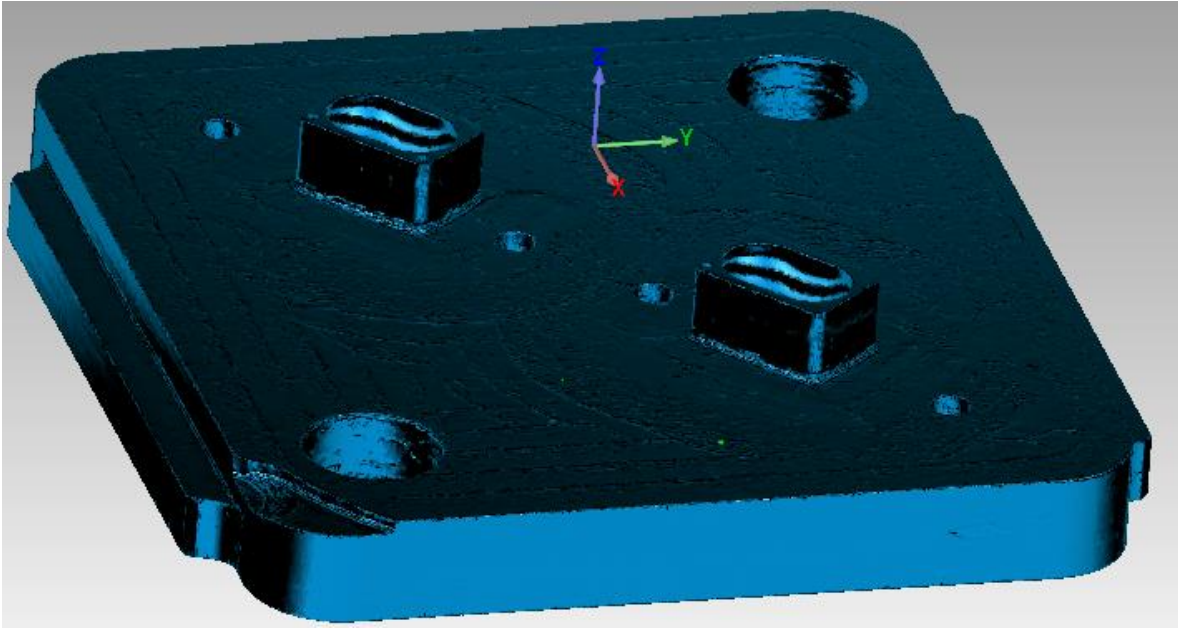


Рисунок 1.2. Модель с наложенной текстурой для анализа кривизны поверхности

Модуль выравнивания предоставляет набор различных групп инструментов для совмещения моделей, что позволяет сформировать единую систему координат трехмерного скана и эталонной модели и эффективно выстроить процесс контроля. В основном используются 3 способа выравнивания:

- Выравнивание по точкам.
- Выравнивание по примитивам.
- Выравнивание по оптимальному совмещению.

Выравнивание по точкам, применяемое в основном для моделей с преимущественно нерегулярной геометрией, основывается на указании набора пар точек тестовый объект-эталон.

Выравнивание по оптимальному совмещению учитывает набор из большого количества параметров и выстраивает процесс постепенного перемещения тестовой модели до максимального точного совпадения с эталонной. Полностью автоматизированный способ, точность совмещения в котором напрямую зависит от качества отсканированного объекта, набора используемых настроек и времени исполнения.

Для большинства изделий, которые не полностью состоят из нерегулярной геометрии, используется выравнивание на основе примитивов, обеспечивающее максимальное качество сопряжения моделей.

Построение примитивов выполняется в отдельном модуле, где пользователь указывает поверхности модели и тип примитива, который им соответствует. На основе этих данных система генерирует наборы примитивов, которые становятся основой для выравнивания и последующего анализа.

Модуль анализа является ключевым набором инструментов для всестороннего исследования качества изделия. Основным способом анализа является сравнение тестовой модели с эталонной. Такое сравнение выполняется как в объеме (рисунок 1.3А), так и по характерным сечениям (рисунок 1.3Б).

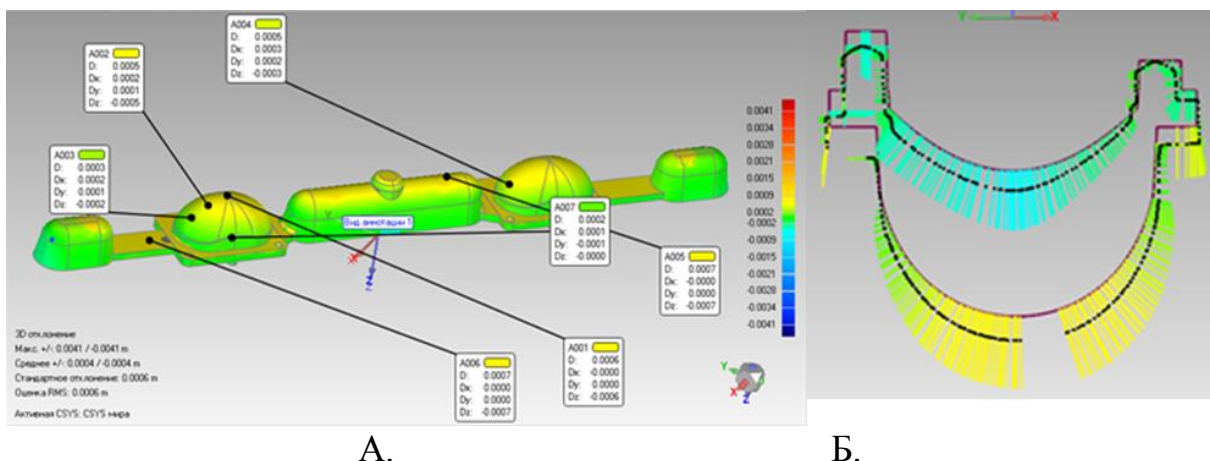


Рисунок 1.3. Гистограмма сравнения тестовой модели с эталоном в трехмерном (А) и двумерном (Б) виде

Второй важной составляющей процесса контроля является анализ поверхностей, включая плоскостность, профиль поверхности, цилиндричность [4] и другие стандартные типы отклонений (рисунок 1.4).

Для определения размеров элементов модели используется инструментарий 2D и 3D измерений (рисунок 1.5).

Модуль формирования отчетов предназначен для аккумуляции результатов измерения и контроля, которые были получены с использованием других модулей Geomagic Control. В системе имеется набор предварительно подготовленных шаблонов, которые позволяют собрать всестороннюю информацию о контролируемом изделии и представить в наглядном виде (рисунок 1.6 А) с подробным указателем для быстрого перехода к нужной информации. Результаты сравнения моделей дополняются информацией в виде соответствующих таблиц и диаграмм (рисунок 1.6 Б)

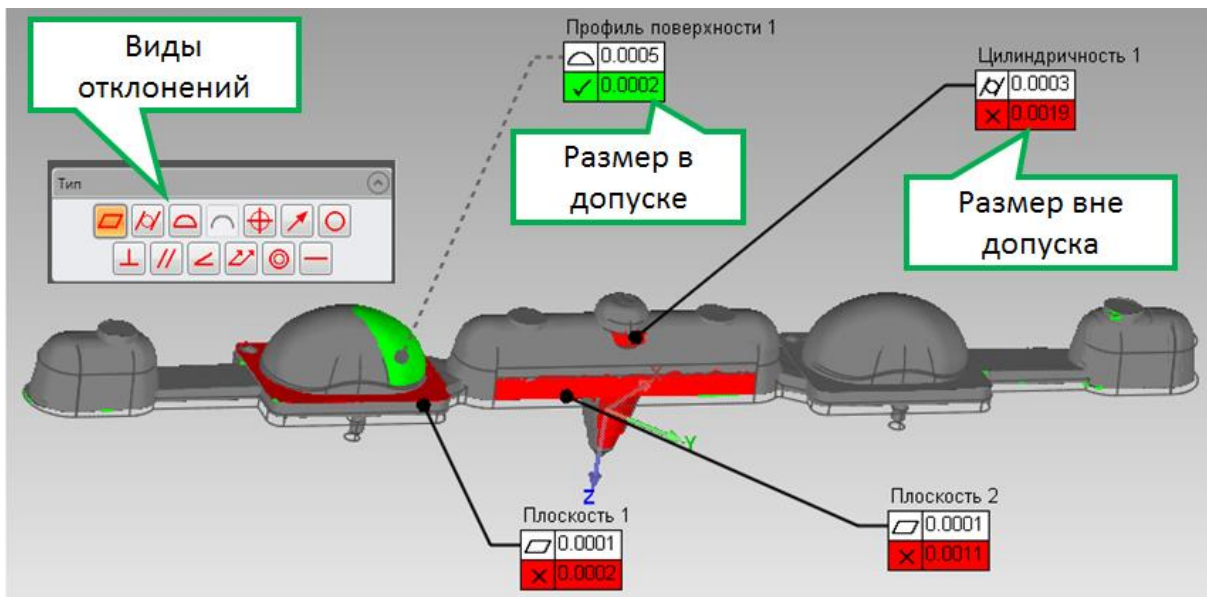
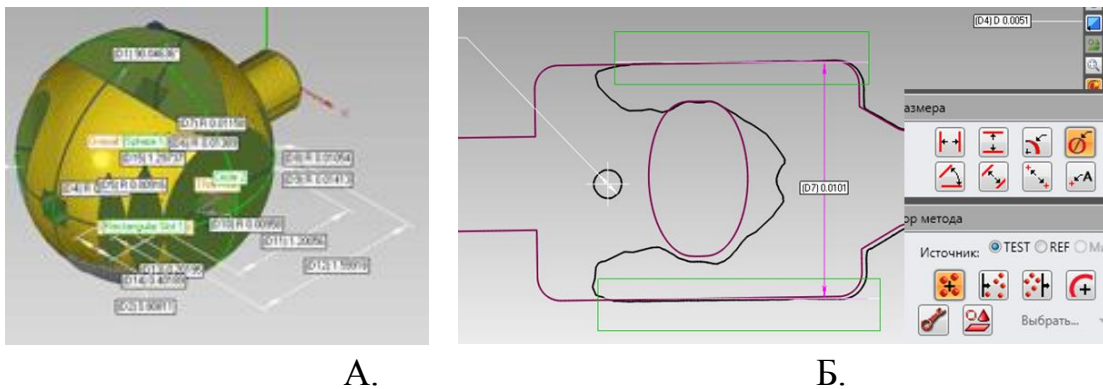


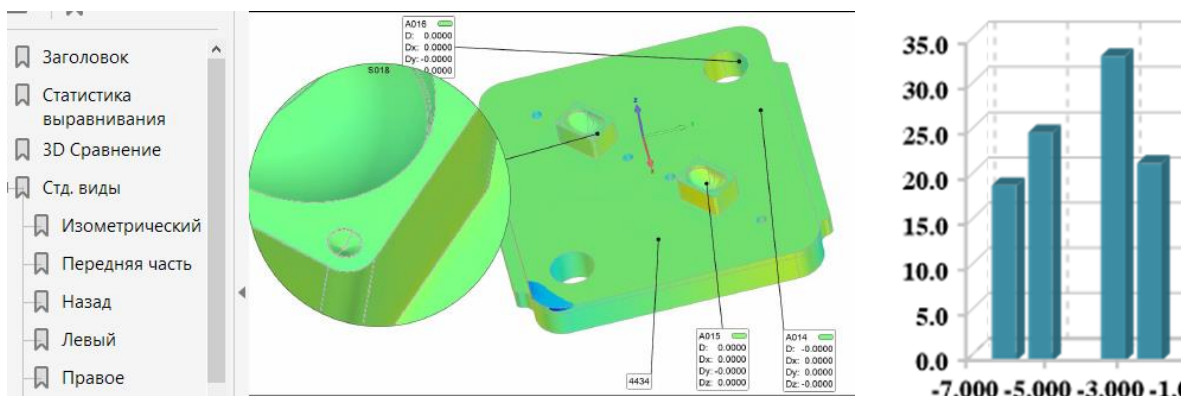
Рисунок 1.4. Анализ отклонений на трехмерной модели



А.

Б.

Рисунок 1.5. Измерение размеров на 3D (А) и 2D (Б) виде



А.

Б.

Рисунок 1.6. Представление результатов анализа (А) и статистических данных (Б) в отчете

Для пользователей, которым необходимы специфические данные в отчете или особый вид его представления, доступен специализированный инструмент XF Designer, позволяющий гибко настроить формируемый отчет (рисунок 1.7).

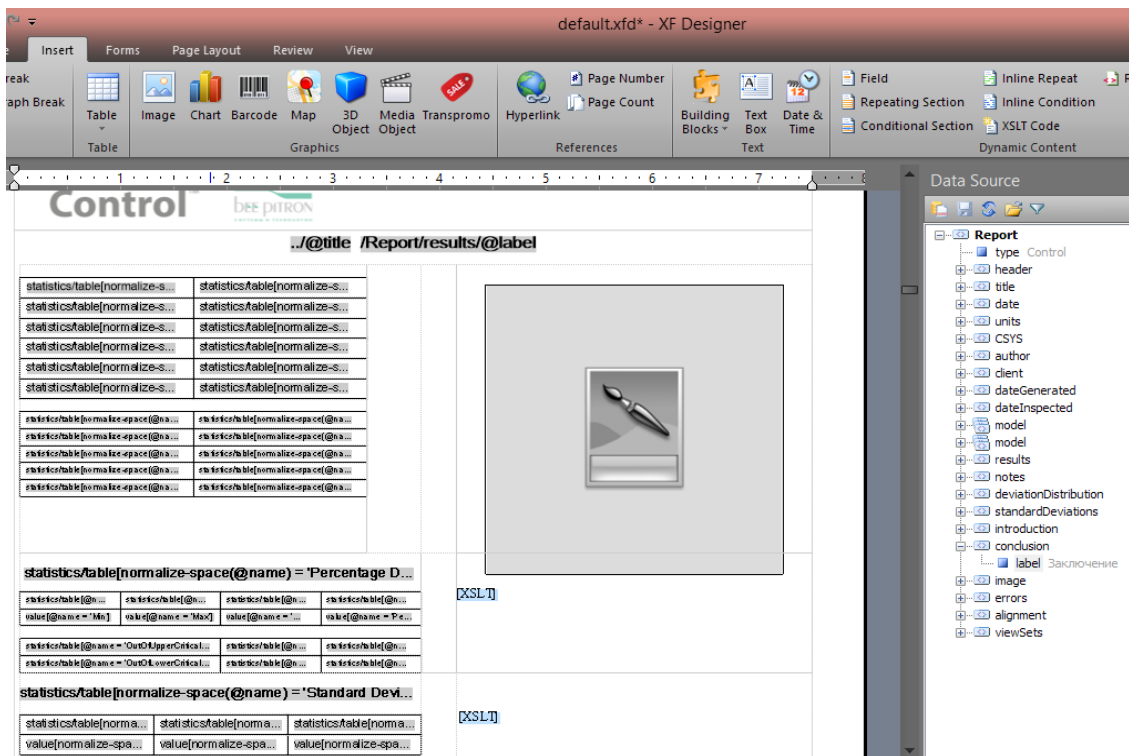


Рисунок 1.7. Настройка типов, отображаемых данных, с использованием конструктора отчетов

Модуль анализа аэродинамических поверхностей содержит набор специализированных инструментов, которые позволяют автоматически проверять множество параметров, характерных именно для таких моделей (рисунок 1.8). Например, автоматически анализируются такие специализированные параметры, характерные для аэродинамических поверхностей, как "горловая точка" и "основной шаг".

Модуль автоматизации обладает широким набором средств для существенного упрощения процесса контроля. Можно разбить виды инструментов на следующие группы:

- Автоматизация выполнения стандартных процедур системы.
- Выстраивание процесса выполнения контроля.
- Автоматизация контроля при подключении внешних устройств.
- Пакетная обработка.

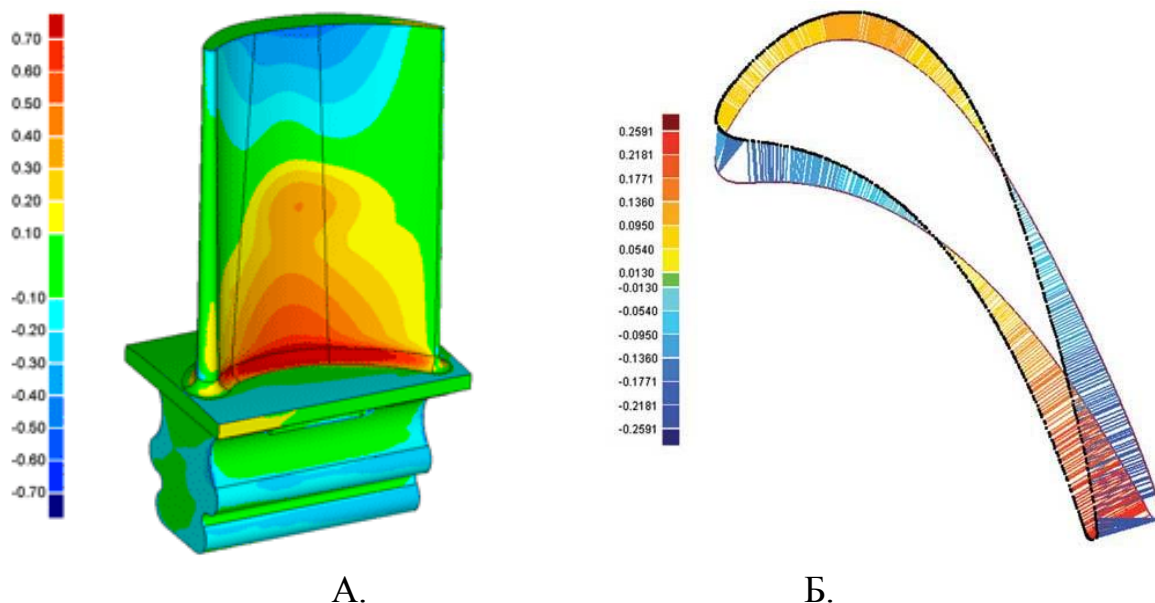


Рисунок 1.8. Гистограмма отклонений для полной модели лопатки (А) и для одного из сечений лопатки (Б)

Повышение автоматизации при выполнении стандартных процедур системы осуществляется за счет использования специализированных макросов, которые представляют собой упрощенный скриптовый язык программирования. Пользователю достаточно произвести запись действия, которое нужно автоматизировать с использованием макроса, и дальше отредактировать его для автоматизированного повторения. В результате формируется сценарий выполнения, который не требует участия пользователя.

Функция выстраивания процесса выполнения контроля позволяет сформировать бизнес-процесс для упрощения контроля, что особенно актуально для пользователей, которые только начинают работать с Geomagic Control. Более опытный пользователь может вызвать специализированный инструментарий (рисунок 1.9) в котором выстраивается последовательность контроля и измерения с указанием особенностей каждого этапа [5]. После запуска процесса система автоматически выполняет все действия кроме тех, которые отмечены как интерактивные. Для последних система предоставляет пользователю требуемый инструментарий, с использованием которого выполняется требуемая операция, и процесс продолжается автоматически до конца или до появления нового интерактивного узла. В качестве одного из узлов может быть указан макрос, что еще больше увеличивает степень автоматизации.

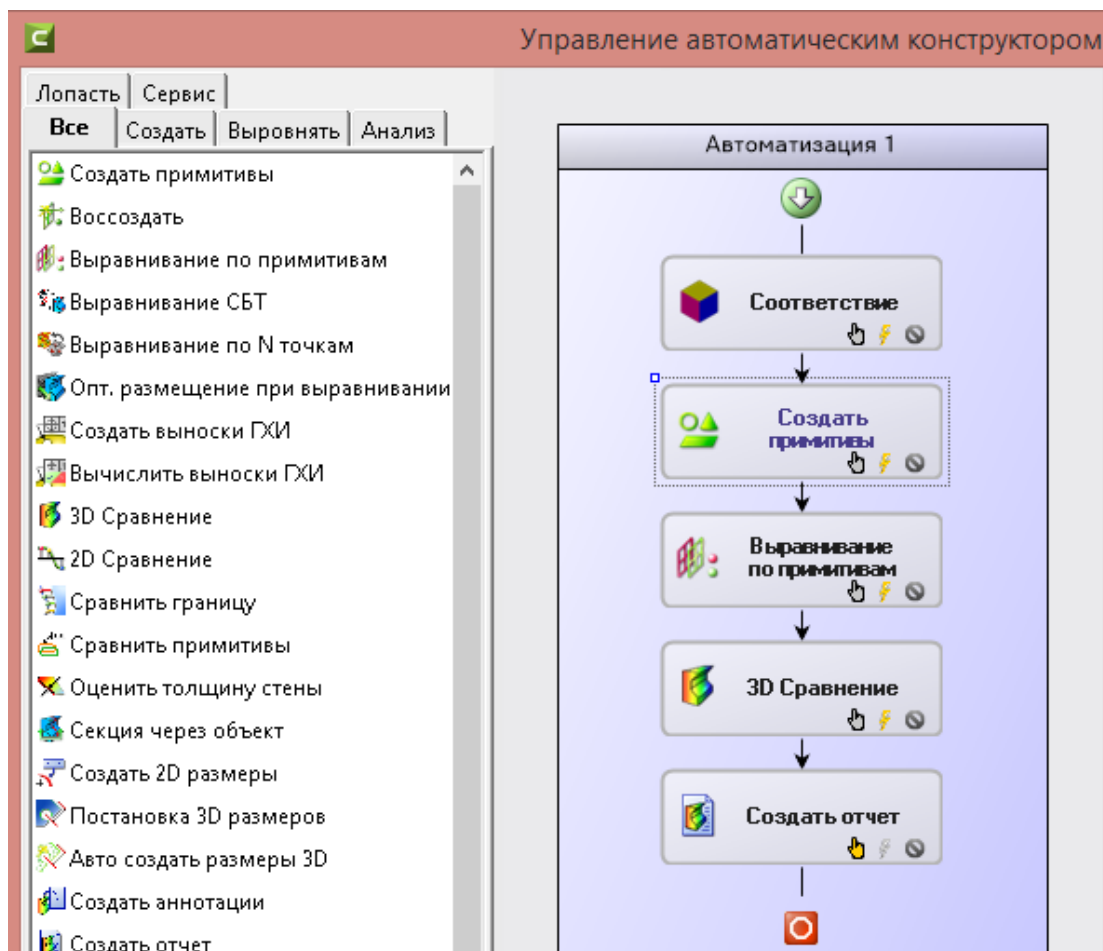


Рисунок 1.9. Настройка автоматизированных процессов в Geomagic Control

При использовании внешних устройств, которые поддерживают процесс трехмерного сканирования без участия пользователя, возможно построение цепочки автоматизированной отбраковки изделий. При использовании такого подхода данные с трехмерного сканера в реальном времени поступают в Geomagic Control, где анализируются на предмет наличия брака и как только он появляется, процесс сканирования останавливается и формируется соответствующий отчет о причинах отбраковки. В результате нет необходимости проводить полный контроль, что значительно экономит время. При этом если брак не обнаружен, то сканирование продолжается пока не будут проанализированы все параметры, на основе которых формируется стандартный отчет по изделию.

Пакетная обработка является уникальным инструментарием Geomagic Control и предназначена для контроля большого количества изделий по единому сценарию. Для использования этого инструментария предварительно создается сценарий автоматического контроля изделия с использованием эталон-

ной модели, а далее запускается пакетная обработка, в которой указывается каталог с набором пар тестовая модель-эталон. Система автоматически загружает контролируемую пару и выполняет анализ на основе сценария, после чего загружается новая пара и процесс повторяется. В результате без участия пользователя может быть проконтролирована, например, партия изделий.

Кроме отмеченных модулей пользователь всегда может обратиться к инструментарию выбора, применяемому для выделения поверхностей на модели различными способами, который доступен в виде вспомогательной панели.

За счет взаимодействия Geomagic Control с различными трехмерными сканерами становится возможным наладить цепочку автоматизированного контроля. Одним из самых простых способов обеспечения такой цепочки является совместное использование Geomagic Control с трехмерным сканером Geomagic Capture.

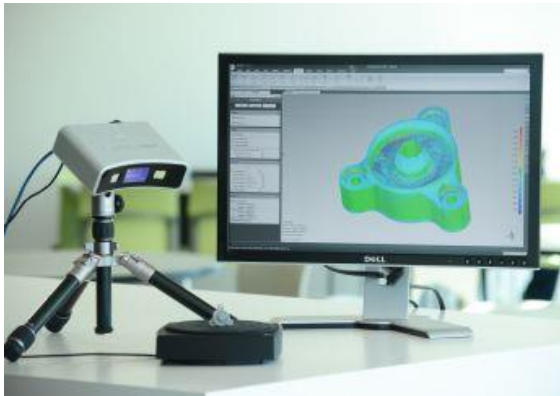
Трехмерный сканер Geomagic Capture – это интерферометрический стационарный сканер со светодиодной подсветкой. Сканер (рисунок 1.10) имеет достаточно высокую точность (60-120мкм), быстрый процесс сканирования (время одиночного сканирования порядка 0.3 с.) и большую глубину резкости (область четкой фокусировки порядка 180 мм), что компенсирует небольшое рабочее поле (190x175 мм).



Рисунок 1.10. Внешний вид трехмерного сканера Geomagic Capture

Сканирование производится за счет проецирования на исследуемый объект интерференционных картин разных периодов, по искажениям которых можно проанализировать геометрические параметры исследуемого объекта.

Система во время съемки статична, поэтому для анализа исследуемый объект необходимо сдвигать относительно сканера (рисунок 1.11А). Полученные с разных ракурсов (рисунок 1.11Б) массивы отсканированных точек склеиваются за счет перекрывающихся областей с идентичной геометрией.



А.



Б.

Рисунок 1.11. Использование поворотного стола для сканирования (А) и объединение нескольких сканеров в массив для ускорения сканирования (Б)

1.2 Построение CAD-моделей изделий свободной формы на основе результатов трехмерного сканирования

Для промышленности в целом и приборостроения в особенности важной задачей является реверс-инжиниринг объектов на основе данных трехмерного сканирования. Особенно эта задача актуальна на отечественных предприятиях, так как переход на использование трехмерных моделей хотя и идет достаточно активно, но начал происходить сравнительно недавно. В результате накопилось большое количество изделий и СТО, которые не имеют трехмерных моделей, а их воссоздание на основе чертежной информации, если такая имеется, является сложной задачей.

Множество окружающих нас объектов имеют сложную форму, которую часто невозможно описать с использованием регулярной геометрии типа плоскостей, цилиндров или сфер. Традиционно для реверс-инжиниринга таких изделий применяется подход на основе набора равноудаленных сечений, но все

большее распространение получает метод построения на основе поэтапного заполнения поверхности на базе ее участков кривизны [6]. Главной системой, которая использует такой принцип, является Geomagic Wrap. Среди основных функций этой системы стоит выделить:

- получение данных от широкого спектра устройств бесконтактного 3D-сканирования и контактного измерения;
- редактирование облаков точек и быстрое создание точных полигональных моделей на основе результатов 3D-сканирования;
- мощные средства перестроения сетки для быстрого создания точных полигональных моделей без шумов на основе некачественных результатов сканирования;
- средства работы с полигональными элементами для заполнения отверстий, сглаживания, лечения, тонкой коррекции и создания замкнутых моделей;
- развитые средства работы с поверхностями, обеспечивающие полный контроль над их качеством и формой, в том числе при создании NURBS-поверхностей заплаток;
- функция скриптинга предоставляет возможность более надежной автоматизации повторяющихся действий и создания пользовательских функций;
- средства точного создания NURBS-поверхностей на основе полигональной модели в автоматическом или ручном режиме;
- вывод в формат 3D PDF, в котором можно просматривать полностью внедренные трехмерные рабочие модели;
- поддержка экспорта во множество форматов, включая IGES, X_T, SAT, PRC, STEP, VDA, NEU, 3ds, dxf, iv, ply, stl, wrl, obj.

Geomagic Wrap – это программное обеспечение для трехмерного сканирования, полигонального моделирования и реверс-инжиниринга изделий свободной формы. Система состоит из программных модулей, направленных на решение следующих взаимосвязанных задач:

- Модуль визуальной оценки модели.
- Модуль получения объемных снимков объектов.
- Модуль работы с облаком точек.
- Модуль работы с полигональной сеткой.
- Модуль работы с примитивами.
- Модуль выравнивания.

- Модуль анализа.
- Модуль работы с кривыми.
- Модуль построения точных поверхностей.
- Модуль CAD.

С точки зрения организации работы с системой можно выделить 2 основных бизнес-процесса:

- Трехмерное сканирование и построение качественной полигональной модели для передачи во внешние приложения (рисунок 1.12).
- Трехмерное сканирование, построение полигональной модели и построение твердотельной CAD-модели (рисунок 1.13).



Рисунок 1.12. Процесс построения полигональной модели на основе данных трехмерного сканирования



Рисунок 1.13. Процесс построения CAD-модели на основе полигональной поверхности свободной формы

В соответствии с решаемыми задачами в системе выделяется несколько блоков инструментов:

- Блок просмотра на базе модуля визуальной оценки модели.
- Блок сканирования на базе модуля получения объемных снимков объектов.
- Блок полигонизации, состоящий из модулей работы с полигональной сеткой и с облаком точек.
- Блок моделирования, состоящий из модулей работы с кривыми, а также модуля CAD и модуля построения точных поверхностей.
- Блок анализа, состоящий из модуля работы с примитивами, а также модуля выравнивания и анализа.

За счет интеграции с большим количеством измерительных устройств облако точек может быть получено с объекта с использованием Geomagic Wrap через модуль получения объемных снимков.

В модуле работы с полигональной сеткой загруженная модель может быть тщательно проанализирована и, при необходимости, исправлена и оптимизирована. Для этого используется широкий набор инструментов, сгруппированный по следующим типам:

- инструменты исправления геометрии;
- инструменты сглаживания;
- инструменты заполнения пустот;
- инструменты объединения;
- инструменты смещения;
- инструменты заострения;
- инструменты коррекции границ.

Например, инструменты сглаживания позволяют получить более равномерную поверхность не нарушая ее геометрии (рисунок 1.14), инструменты оптимизации формируют простую, но достаточно детализированную модель (рисунок 1.15), а инструмент "Доктор поверхности" из инструментария исправлений геометрии устраняет основные ошибки в структуре полигональной сетки (рисунок 1.16).

Если модель получена со сканера или загружена в виде облака точек, то в модуле работы с облаком точек она может быть отфильтрована, исправлена объединена с другими облаками и полигонизирована.

Модуль визуальной оценки позволяет упростить анализ внешнего вида изделия за счет использования соответствующего набора инструментов.



Рисунок 1.14. Сглаживание шумов на полигональной модели



Рисунок 1.15. Оптимизация моделей на основе сочетания двух видов сеток

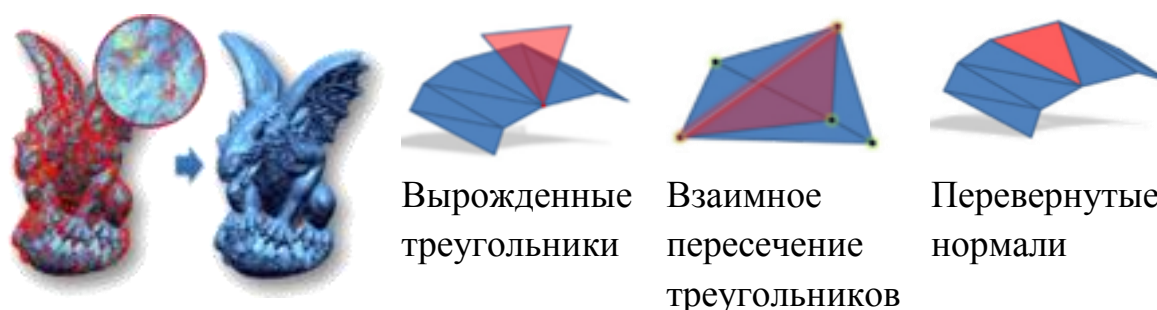
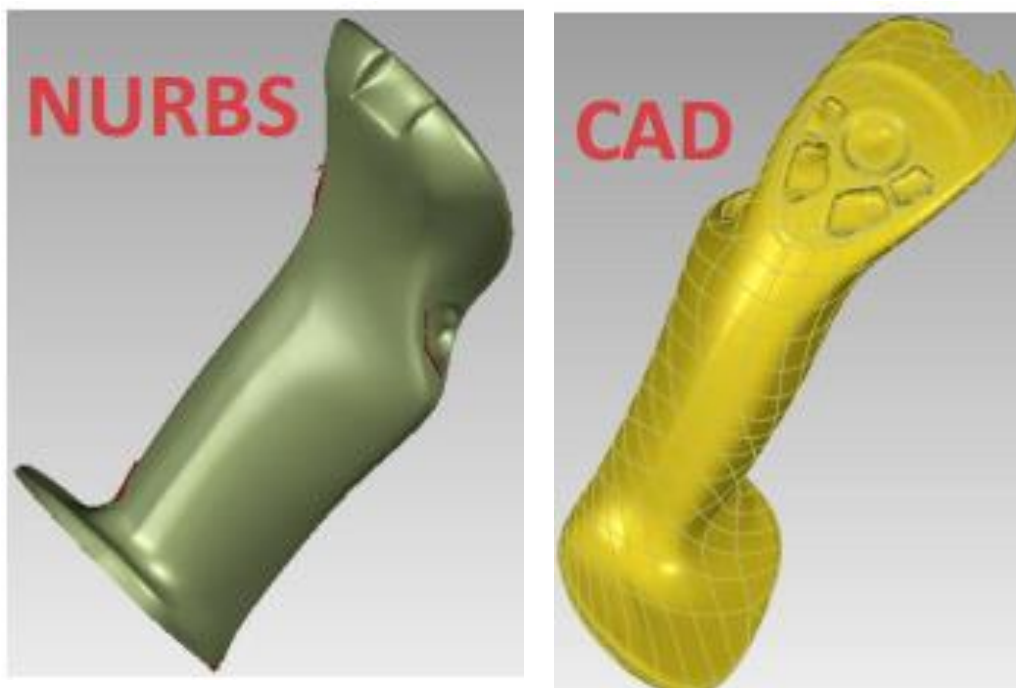


Рисунок 1.16. Исправление модели и типичные виды ошибок геометрии

Блок моделирования позволяет последовательно подготовить базовые кривые на основе анализа кривизны изделия и, постепенно разбивая их на меньшие участки, построить NURBS-поверхность (рисунок 1.17А), которая с использованием модуля CAD может быть преобразована в твердый объект и передана в CAD-систему (рисунок 1.17Б).



А.

Б.

Рисунок 1.17. Результат построения NURBS-поверхности (А) и CAD-модели (Б) в Geomagic Wrap

В Geomagic Wrap возможно производить анализ результатов построения. Для этого используется 2 подхода:

- сравнение построенной NURBS или CAD-модели с исходной полигональной сеткой;
- сравнение одного из результатов работы системы с другой импортированной моделью (например, с другим трехмерным сканом или с CAD-моделью).

В первом случае модели по умолчанию находятся в одной системе координат и их сравнение может быть произведено напрямую. Во втором случае необходимо произвести выравнивание, которое выполняется аналогично выравниванию в Geomagic Control. Для этого либо используется модуль построения примитивов для последующего выравнивания на основе пар примитивов, либо выполняется автоматическое выравнивание по наилучшему совпадению. Анализ в системе ограничивается построением объемной цветовой гистограммы отклонений (рисунок 1.18), но этого вполне достаточно для базовой оценки качества применения того или иного инструмента.

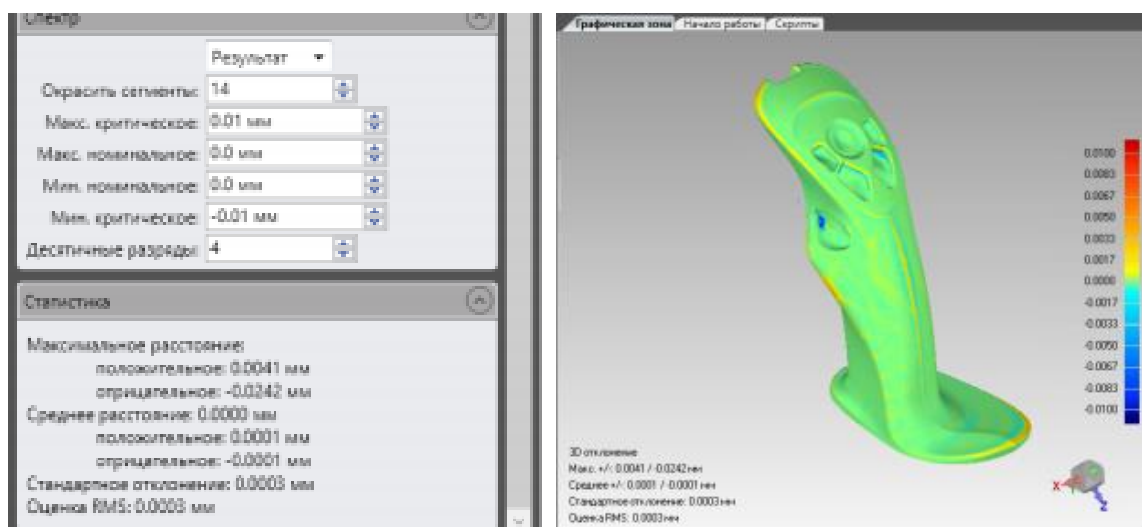


Рисунок 1.18. Гистограмма отклонений, построенной в Geomagic Wrap поверхности от исходной модели

1.3 Комплексный реверс-инжиниринг изделий

Характерной особенностью объектов приборостроения является использование преимущественно регулярной геометрии, которая может быть описана с помощью примитивов [7]. Реверс-инжиниринг таких объектов требует кропотливого анализа элементов и их взаимного расположения для обеспечения высокоточного построения модели. Среди средств для реверс-инжиниринга, которые базируются на последовательном измерении объектов для воссоздания модели и тех, которые напрямую работают с полигональной поверхностью и предназначены для построения моделей свободной формы, выделяется система Geomagic Design X. Данная система напрямую взаимодействует с полигональной моделью, но все построения выполняются в свойственном для CAD-систем виде с последовательным формированием дерева построения. Geomagic Design X – это многофункциональная система для обработки данных трехмерного сканирования и проведения детализированного реверс-инжиниринга различной степени сложности.

Основные особенности системы:

- Бесшовная интеграция с распространенными CAD-системами, в числе которых SolidWorks®, Siemens NX®, Autodesk Inventor® и PTC Creo®. При помощи уникальной технологии LiveTransfer Design X передает в них завершенные трехмерные модели с деревом построения, отображающим историю формирования модели. Таким образом, можно быстро

создавать твердотельные и поверхностные модели на основе результатов 3D-сканирования, передавать их в используемую CAD-систему и продолжать работать с ними так же, как и с любыми другими моделями.

- Уникальность моделирования. Благодаря комбинации средств твердотельного моделирования, продвинутого поверхностного моделирования, редактирования сеток и работы с облаками точек Geomagic Design X может выполнять такие задачи, которые не под силу другим системам.
- Высокая детализация сложных объектов. Система может обрабатывать миллиарды сканированных точек и обладает полным набором средств для корректировки исходных данных, позволяя пропускать этап чистки сеточной модели и сразу приступать к созданию конструкторской модели.
- Простота обучения. Построение моделей в Design X выполняется аналогично как в CAD-системах, что обеспечивает простоту перехода на использование системы всем, кто знаком с моделированием на основе дерева построения. Дополнительно процесс моделирования упрощается за счет использования средства автоматического распознавания конструктивных элементов на основе результатов сканирования.

Процесс работы с системой Geomagic Design X состоит из следующих этапов:

- Трехмерное сканирование или загрузка данных (загрузка облака точек или полигональной модели).
- Полигонизация облака точек или оптимизация полигональной модели.
- Анализ кривизны и формирование набора соответствующих областей.
- Построение эскизов на основе областей различной кривизны.
- Формирование тела из набора связанных поверхностей, построенных на основе эскизов.
- Экспорт в CAD на основе прямой интеграции или с использованием форматов-интерфейсов.

Geomagic Design X состоит из программных модулей, направленных на решение следующих взаимосвязанных задач:

- Взаимодействие с трехмерными сканерами и импорт результатов сканирования.
- Триангуляция и модификация полигональной сетки.
- Определение областей кривизны различных типов и манипуляции с ними.

- Эскизное моделирование на базе полигональных поверхностей.
- NURBS-моделирование на основе сечений полигональной модели.
- Твёрдотельное моделирование на базе эскизов и NURBS-поверхностей.

Взаимодействие с трехмерными сканерами осуществляется через модуль "Direct Scanner Control" (прямое управления сканером). При его вызове осуществляется подключение к определенному типу сканера и все данные передаются напрямую в Design X. Система обладает широким набором средств по работе с такими данными, включая автоматическое выравнивание отдельных сканов и их объединение в одну модель.

Если сканирование выполнялось другими средствами, то система позволяет загрузить облако точек и произвести его триангуляцию с использованием соответствующего модуля. При этом производится фильтрация данных для снижения шумов на модели. Полигональная модель дорабатывается с использованием обширного набора инструментов, который позволяет осуществлять оптимизацию модели, регуляризацию, исправление или комплексное "лечение" геометрии (рисунок 1.19). Дополнительный набор инструментов позволяет выполнять некоторые задачи псевдо-твёрдотельного типа на основе полигональной поверхности. Например, по модели может быть сформирована оболочка определенной толщины.

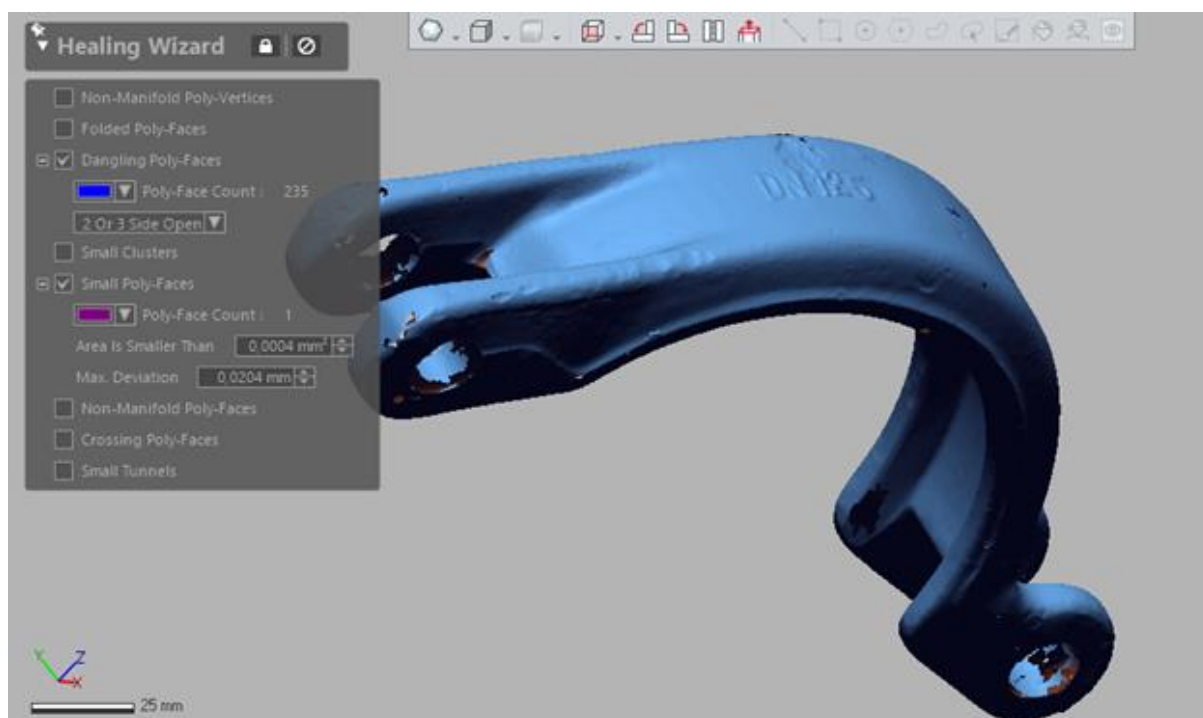


Рисунок 1.19. Анализ и исправление геометрии в модуле "Healing Wizard" системы Geomagic Design X

Важной особенностью использования средств реверс-инжиниринга от Geomagic является разбиение модели на области кривизны. В Geomagic Design X средства разбиения не только формируют области, но и присваивают каждой из областей идентификатор, определяющий какому типу поверхности она соответствует (рисунок 1.20).

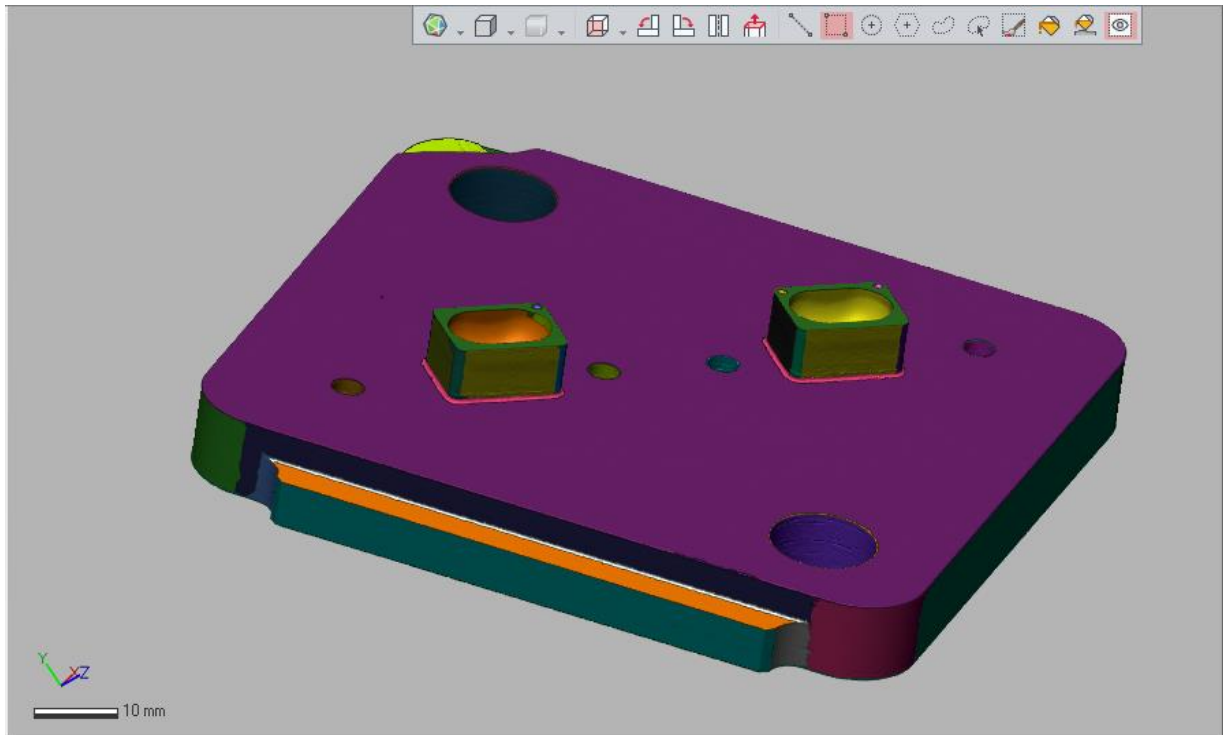
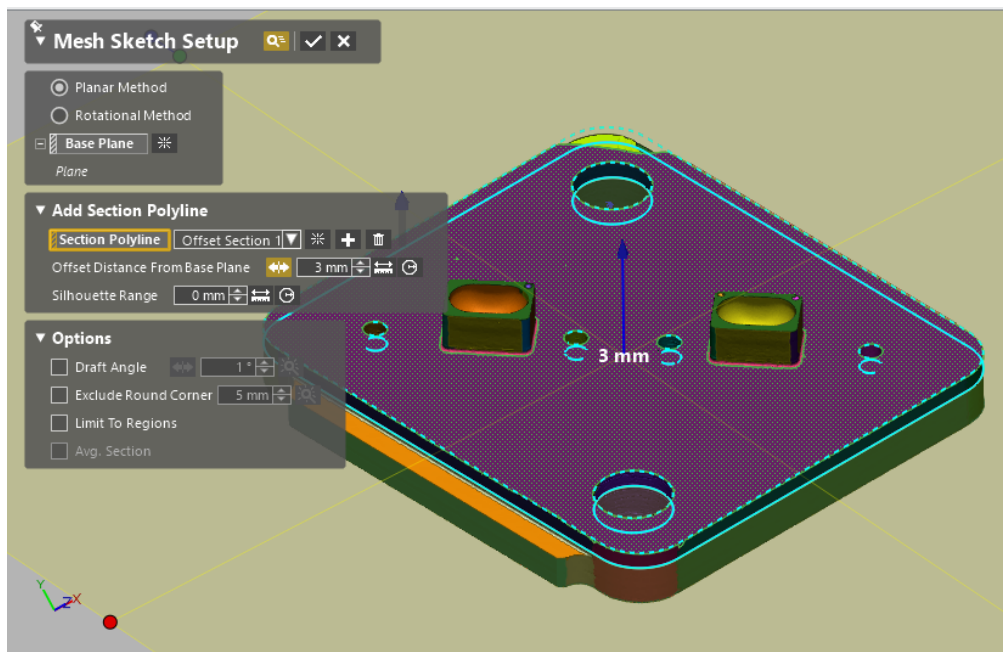


Рисунок 1.20. Полигональная модель с делением на зоны кривизны различных типов

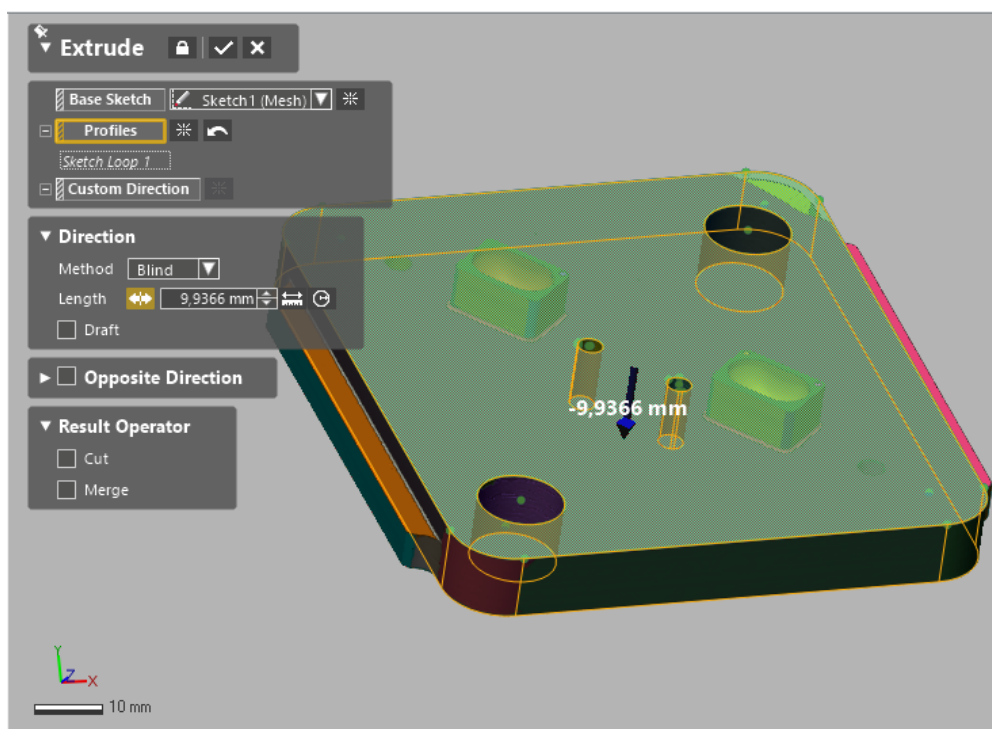
Таким образом, производится предварительное разбиение модели на группы примитивов, что существенно упрощает последующий процесс моделирования. Если область сложно распознать из-за её особенностей, то пользователь может вручную указать новую область. Аналогично возможно объединить две или более области в одну.

Определенные области становятся основой для эскизов. В зависимости от типа области выделяется эскиз для выдавливания, эскиз для вращения и эскиз сложной поверхности. Далее пользователь производит соответствующие построения для каждого типа. Для объектов выдавливания эскиз формируется на основе поперечного сечения модели в одном из направлений, соответствующем выбранному примитиву. Сечение в автоматическом режиме или с использованием инструментов черчения преобразуется в эскиз (рисунок 1.21А), который

используется для выдавливания. При этом в качестве привязок может использоваться геометрия объекта для формирования точного элемента (рисунок 1.21Б).



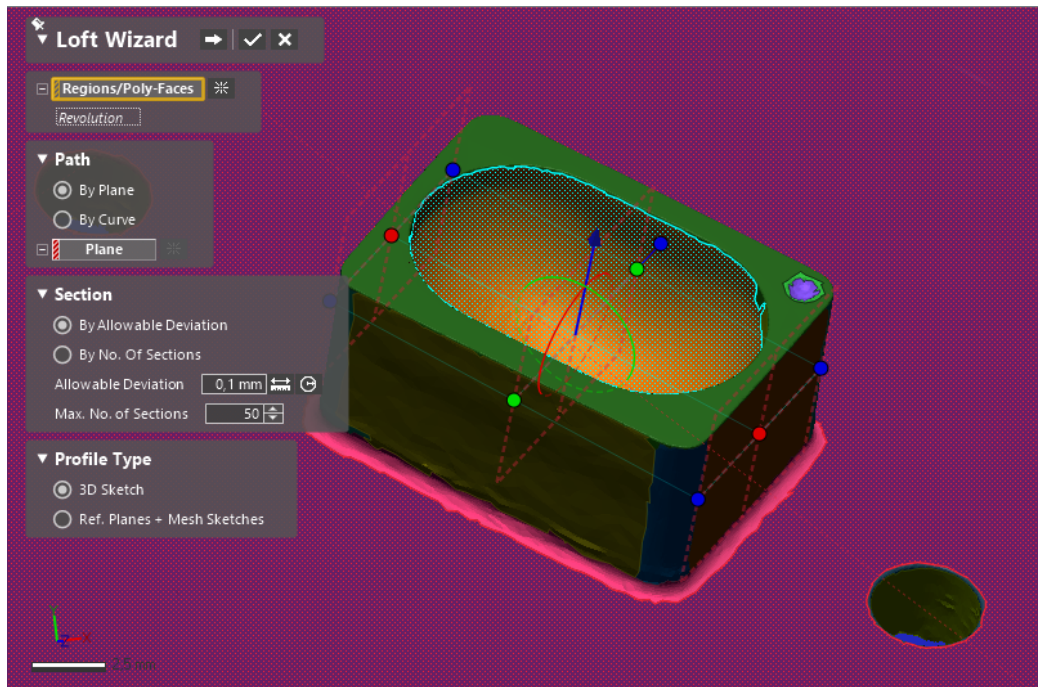
А.



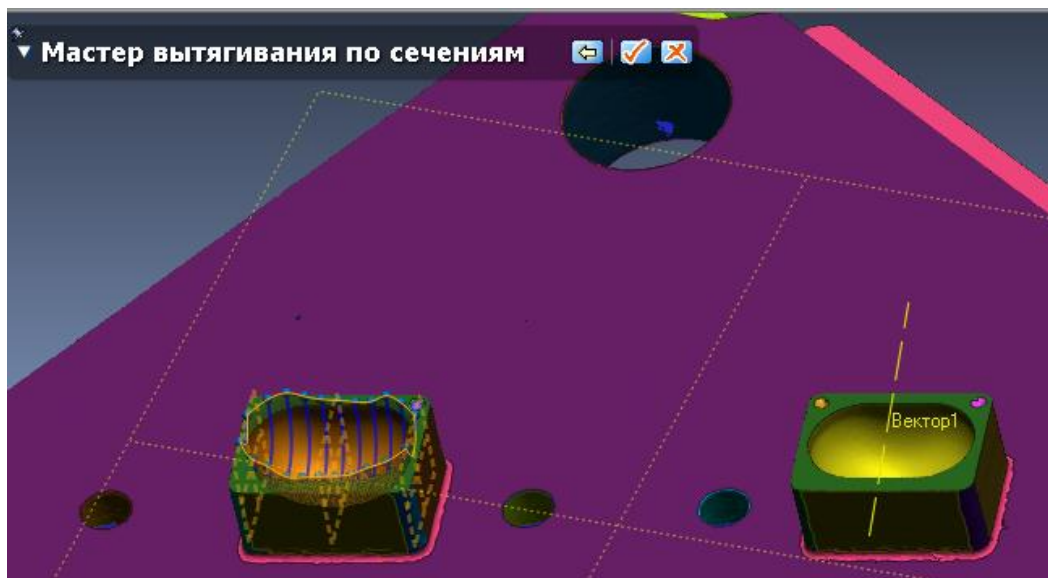
Б.

Рисунок 1.21. Построение эскиза на основе сечения модели (а) и последующее выдавливание объекта (б)

Для сложных объектов, которые описываются криволинейными поверхностями, используется инструментарий построения по сечениям. При использовании этого инструментария пользователь должен указать поверхность, которую необходимо воспроизвести, и границы области сечений (рисунок 1.22А). В результате формируется эскиз, содержащий набор кривых, на основе которого автоматически строится NURBS-поверхность (рисунок 1.22Б). В дальнейшем она используется для отсечения части твердотельного объекта.



А.



Б.

Рисунок 1.22. Построение набора кривых по геометрии сложной формы (А) и последующее воссоздание поверхности (Б)

Все шаги построения сохраняются в дерево построения, которое может быть автоматически передано и воспроизведено в распространенных CAD-системах, таких как SolidWorks или AutoCAD.

1.4 CAD-проектирование в системе Geomagic Design с использованием данных трехмерного сканирования

Далеко не все объекты, для которых производится реверс-инжиниринг, модифицируются и становятся основой будущего изделия. В некоторых случаях такие объекты используются только как прототип, который либо косвенно связан с будущим изделием, либо используется только частично. Например, по скану руки необходимо сделать изделие, которое было бы эргономичным, но его полного соответствия геометрии руки не требуется. Для таких задач достаточно использовать простые средства реверс-инжиниринга, которые создают менее подробную и менее точную модель, чем средства, рассмотренные ранее, но вполне подходящую для определенной доли задач. Одним из таких средств является CAD-система Geomagic Design, которая включает модуль реверс-инжиниринга изделий с регулярной и нерегулярной геометрией.

Основа Geomagic Design – это набор основных модулей, решающих классические задачи CAD-моделирования (рисунок 1.23). Однако в ее составе имеется специализированный инструментарий, имеющий важное значение для решения задач быстрого производства. Основа системы – это средства прямого CAD-моделирования объектов. Несмотря на множество особенностей, основной процесс моделирования аналогичен множеству других CAD. При этом реализуется простой подход к моделированию, что делает систему отличным решением для начинающих пользователей CAD-систем или быстрого моделирования объектов невысокой сложности. Однако для задач быстрого производства основной интерес представляет модуль работы с полигональной геометрией. Для такого рода задач в системе имеется два специализированных инструментария:

- Инструментарий работы с результатами трехмерного сканирования.
- Инструментарий подготовки модели к изготовлению на аддитивном оборудовании.



А.

Б.

В.

Г.

Д.

Рисунок 1.23. Меню Geomagic Design и основные модули, включая трехмерное моделирование (А), листовое проектирование (Б), создание сборок (В), формирование спецификаций (Г) и создание чертежей (Д)

Функционал первого инструментария предназначен либо для получения данных напрямую с трехмерного сканера, либо для загрузки полигональной модели полученной иным способом. Загруженная модель автоматически перенаправляется в автоматизированное средство реверс-инжиниринга, которое предлагает пользователю только выбрать тип объекта (рисунок 1.24), а дальше формирует САД-модель самостоятельно.

Применяемые в системе средства реверс-инжиниринга значительно уступают по возможностям системам Geomagic Wrap и Geomagic Design X, но с основной задачей реверс-инжиниринга справляются. После импорта получается САД-модель, которая хотя и является очень упрощенной, но может стать основой для последующего моделирования. Таким образом, реализуется концепция проектирования на основе прототипа. При этом нет необходимости производить трудоемкий обмер отсканированного изделия для его использования в САД. Такой функционал отлично подходит для тех задач, когда прототип требует небольшой доработки с использованием САД-инструментария, либо проектируется новый компонент сборки, который непосредственно стыкуется с прототипом и требует точного соответствия (рисунок 1.25).

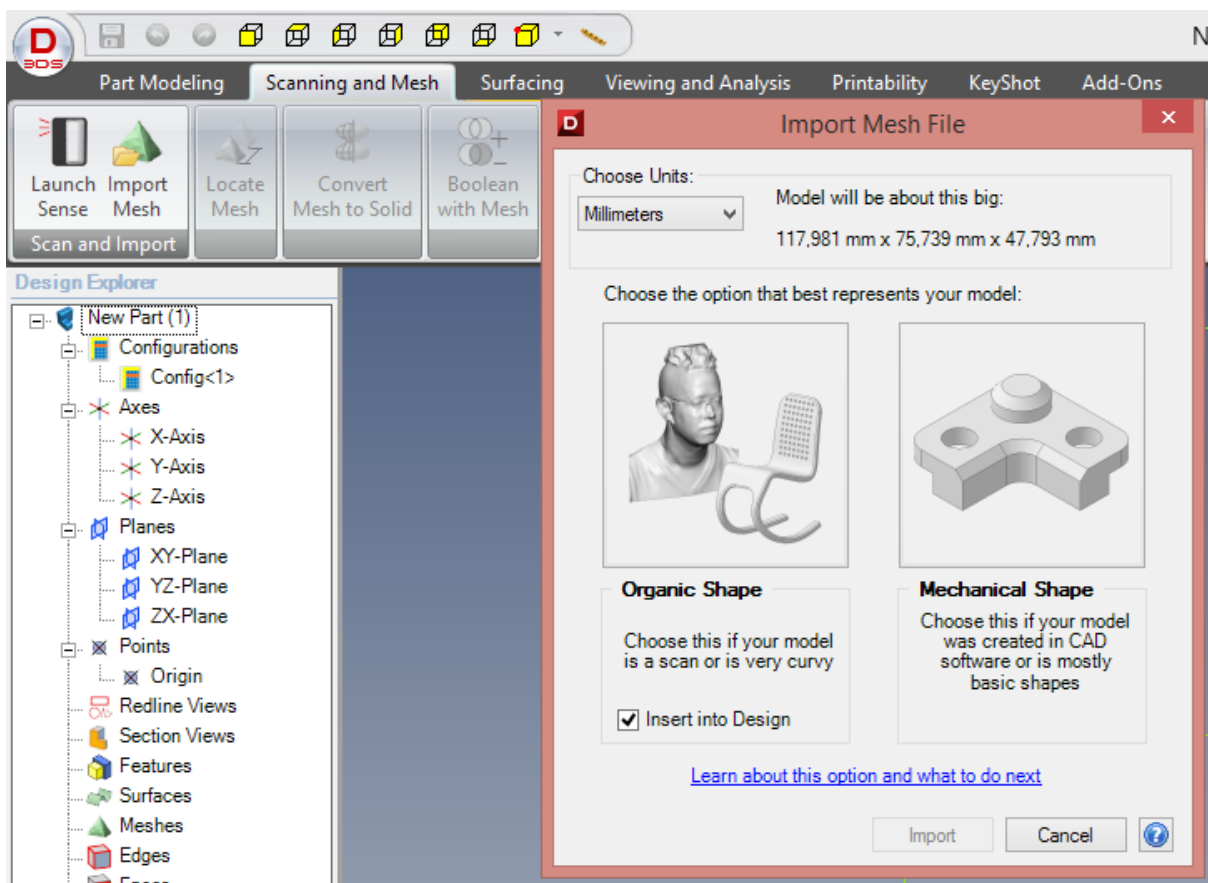
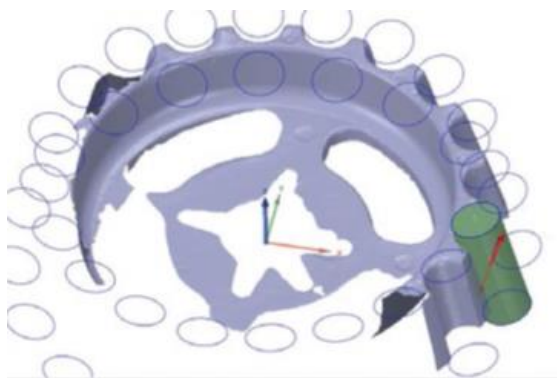
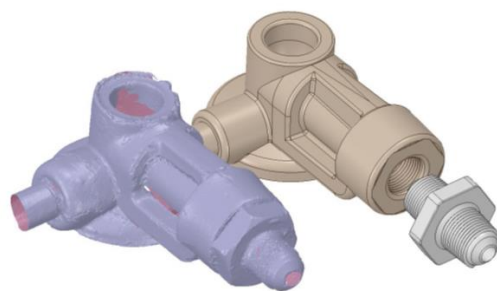


Рисунок 1.24. Импорт полигональной модели в Geomagic Design через модуль реверс-инжиниринга



А.



Б.

Рисунок 1.25. Проектирование изделия на основе частичного скана (А) и на основе скана сопрягаемого элемента (Б)

Непосредственно для аддитивного производства более важным является инструментарий "Printability", обеспечивающий проверку модели на готовность к трехмерной печати. При вызове соответствующего инструмента пользователь

получает доступ к настройкам анализа, которые включают расчет объема печати, анализ толщины стенки, поиск зазоров, анализ самопересечения и т.п. (рисунок 1.26). Кроме обобщенного анализа пользователю доступен анализ соответствия модели требованиям для печати на одном из множества доступных в базе принтеров.

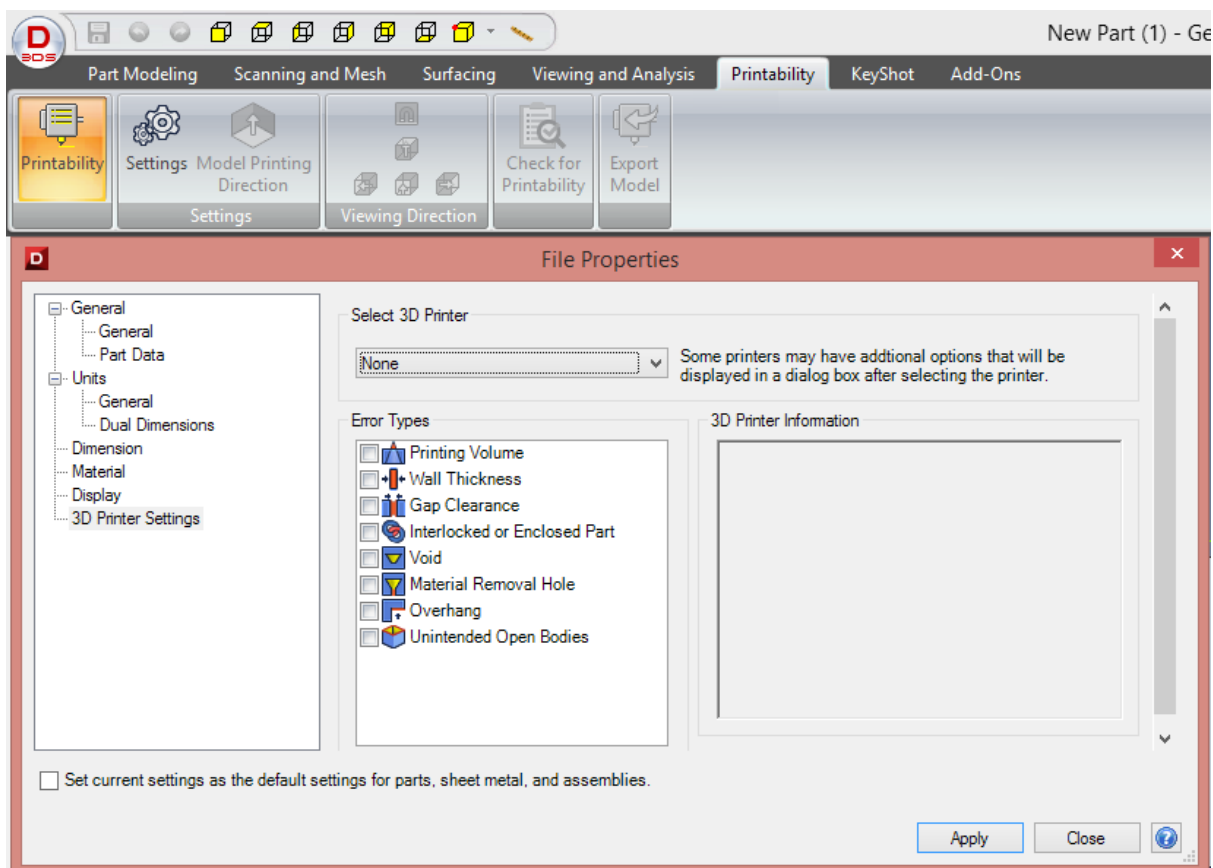


Рисунок 1.26. Анализ модели изделия перед изготовлением на трехмерном принтере

Простота и большой функционал Geomagic Design в сочетании с набором подключаемых модулей позволяет эффективно реализовывать различные цепочки проектирования от реверс-инжиниринга и обычного моделирования до САЕ-анализа или фотореалистичного рендеринга. На рисунке 1.27 представлены некоторые из таких потенциальных цепочек.

Быстрое создание твердотельных моделей и чертежей с неполных трехмерных сканов

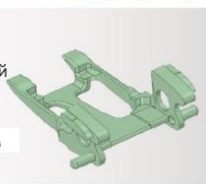
ЧАСТИЧНЫЙ СКАН

Просмотр и использование частичных сканов напрямую в Geomagic Design



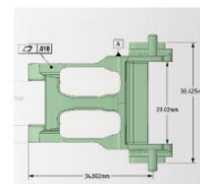
СОЗДАНИЕ ДЕТАЛИ

Создание полной твердотельной модели с использованием интуитивных средств



ЧЕРТЕЖИ

Прямое создание чертежа детали по его трехмерной модели



Добавление отсутствующих деталей для твердотельных сборок

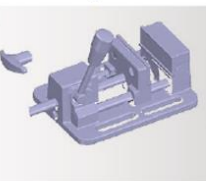
СКАН

Сканирование сломанной или частичной детали



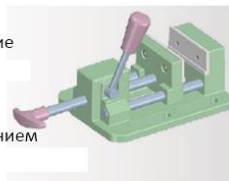
ДОБАВЛЕНИЕ ДЕТАЛИ

Прямое добавление отсутствующей детали в твердотельную сборку



CAM\CAE

Использование законченной сборки для производства с использованием CAM и CAE дополнений



Быстрое создание концептуальных моделей и рендеринг для получения фотореалистичного отображения

СКАН

Получение объектов реального вида с использованием трехмерного сканирования или измерительных устройств



ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Быстрое создание нового дизайна на базе физического прототипа



РЕНДЕР

Прямое создание реалистичного рендеринга с использованием дополнения KeyShot



Рисунок 1.27. Типовые процессы использования Geomagic Design

1.5 Построение фотореалистичных изображений с использованием системы Keyshot

Как отмечалось в описании Geomagic Wrap, одной из важных задач работы с трехмерным сканом является получение качественной полигональной модели для ее последующей визуализации. Такое представление модели имеет большую роль как для маркетинговых целей или этапа разработки концепта, так и для анализа качества изделия в характерном окружении или с характерным типом поверхности. Даже для простой демонстрации модели наглядная визуализация очень важна. Именно поэтому некоторые атрибуты трехмерных графических редакторов, такие как использование особого фона или специализированного освещения, прочно вошли в функционал CAD-систем. В тяжелых CAD-системах, таких как, например, CATIA, уже давно используется модуль для полноценного создания графической сцены с использованием рендеринга.

Степень вовлечения различных специалистов в процесс визуализации своих проектов зависит от функциональности и доступности соответствующих инструментов. Одной из самых простых систем для базовой визуализации графических сцен является KeyShot. Данная система доступна всем пользователям

Geomagic и функционирует в виде отдельного приложения или вызываемого модуля.

KeyShot поддерживает множество 3D-форматов, которые можно импортировать в сцену для последующей визуализации. Система построена таким образом, что для простой визуализации объекта достаточно загрузить его и запустить инструмент рендеринга, который быстро сформирует фотореалистичное изображение (рисунок 1.28)). Однако для качественной визуализации необходимо воспользоваться еще несколькими основными инструментами. При этом пользователю доступен рендеринг в реальном времени, который отображает те изменения, которые происходят при использовании того или иного инструмента. Обычно работа в KeyShot состоит из набора последовательных этапов:

- Загрузка трехмерной модели. При работе с моделью сборки необходимо предварительно назначить для отдельных элементов различные цвета, что позволит просто обращаться к ним при работе в системе.
- Выбор текстуры или материала для модели или ее отдельных частей. В системе имеется большой набор материалов, которые можно настроить как требуется и применить ко всей модели или к одному из ее узлов. Для специфических задач может применяться текстура, загружаемая через один из интерфейсов.
- Загрузка специализированного фона или окружения, если они требуются. При этом в системе имеется несколько базовых фонов и наборов окружения, охватывающих множество областей применения. Отличительной особенностью окружения является возможность получать более реалистичные наборы изображений за счет одновременного смещения фона при перемещении вокруг объекта.
- Указание источников освещения. Одним из основных атрибутов создания фотореалистичного изображения является правильное указание источников освещения. В системе можно воспроизводить сложное освещение с несколькими источниками разных типов. Для достижения специальных эффектов каждый из источников освещения может быть дополнительно достаточно детально настроен.
- Рендеринг. Финальный этап. Здесь пользователь указывает настройки качества рендеринга, разрешения финального изображения и уровень использования ресурсов компьютера. Быстрый рендеринг может занимать около минуты, а длительность подробного рендеринга напрямую зависит от настроек и сложности обрабатываемой сцены.

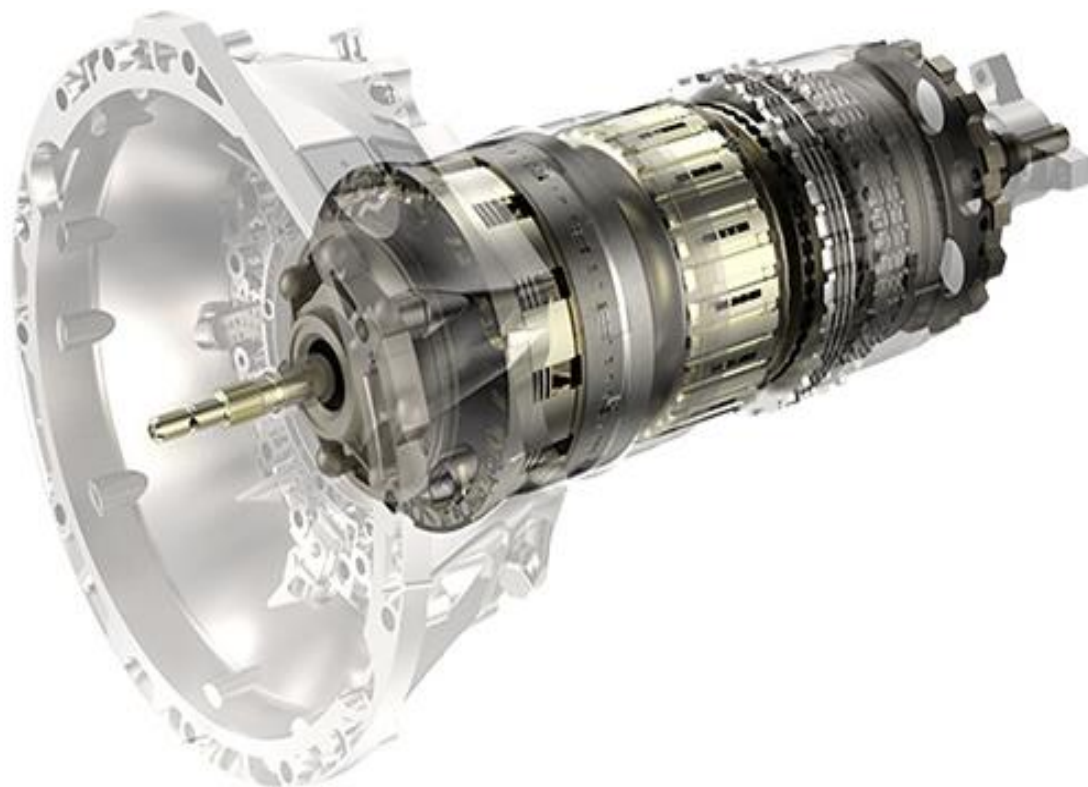


Рисунок 1.28. Примеры работы системы Keyshot

Результат работы системы можно использовать как для простой визуализации изделия, так и для профессиональной демонстрации на уровне других популярных систем визуализации.

ГЛАВА 2

ПОЛУЧЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Многие пользователи, которые не занимаются производством, но приобрели трехмерный принтер, столкнулись с проблемой низкой загрузки этого оборудования в быту [8]. Отсутствие воображения, интересных идей или навыков трехмерного моделирования в некоторой степени компенсируется активным развитием программного обеспечения и сервисов для получения трехмерных моделей. В целом для решения этой задачи применяется 3 подхода:

- Получение модели на основе прототипа с использованием трехмерного сканера.
- Построение модели пользователем.
- Использование уже существующих трехмерных моделей.

Первый способ был рассмотрен в Главе 1, а оставшиеся способы рассмотрены далее.

2.1 Трехмерное моделирование для массового использования

Если во времена применения ручного инструмента знания трехмерного моделирования не требовалось, то при переходе к использованию оборудования с ЧПУ² потребность в таком знании стала все увеличиваться [9,10]. При этом, если при работе с простыми станками с ЧПУ можно обойтись минимальными знаниями трехмерного моделирования за счет прямого управления через G-код³, то для использования многокоординатных станков или аддитивного оборудования не обойтись без трехмерного моделирования в соответствующих системах [11]. Появление доступных трехмерных принтеров ставит потребность в доступных технологиях трехмерного моделирования более остро [12].

²ЧПУ: Числовое программное управление.

³G-код: Язык программирования станков с ЧПУ, напрямую управляющий передвижением рабочих узлов.

2.1.1 Доступные средства для CAD-моделирования

При использовании в качестве основы для трехмерной печати CAD-модели следует учитывать несколько особенностей. Во-первых, стандартные опции сохранения в полигональном виде обычно предназначены для получения моделей с низкой детализацией. Для качественного производства требуется либо использовать специализированные настройки сохранения, либо, для некоторых CAD-систем, применять дополнительные средства экспорта полигональных моделей высокого качества [13]. Во-вторых, в CAD-системах отсутствуют средства анализа моделей на уровне сохранения, что может привести к возникновению ошибок в полигональной сетке. В результате после сохранения модель нужно проанализировать и, возможно, исправить, например, с использованием Geomagic Wrap.

Среди доступного программного обеспечения для CAD-моделирования стоит выделить 3 системы [14]:

- OpenSCAD [goo.gl/XOqkch].
- FreeCAD [goo.gl/xUUopW].
- 123D Design.

Хотя первые 2 системы и относятся к типу OpenSource и обладают уникальными возможностями, но их освоение может вызвать сложности для новичков. Наиболее простая система для пользователя далекого от трехмерного моделирования, но имеющего потребность в CAD-модели, это 123D Design [<http://goo.gl/851AAS>].



Программное обеспечение 123D Design (рисунок 2.1) от компании Autodesk позволяет с использованием базового эскиза и набора примитивов построить трехмерную модель, которая напрямую экспортируется в формат STL. При необходимости все построение выполняется как в твердотельном, так и в полигональном виде. Сочетание этой особенности с общей простотой модели обычно позволяет обойтись без проверки и коррекции перед трехмерной печатью.

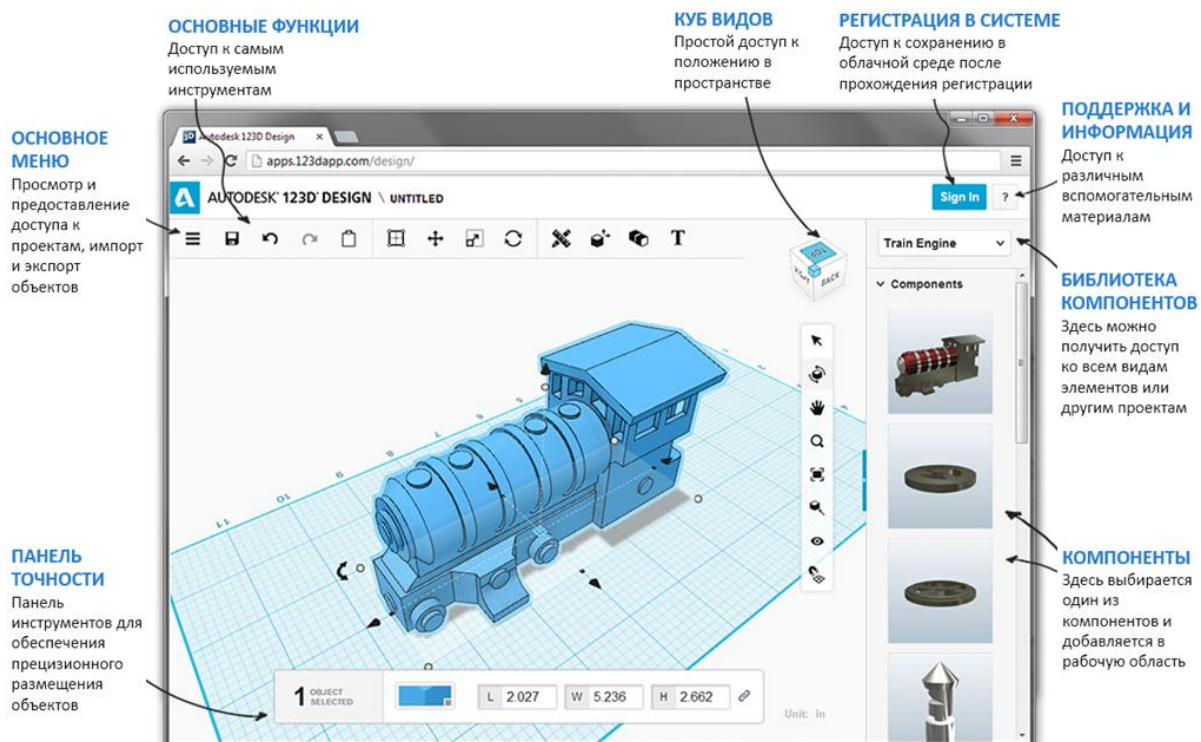
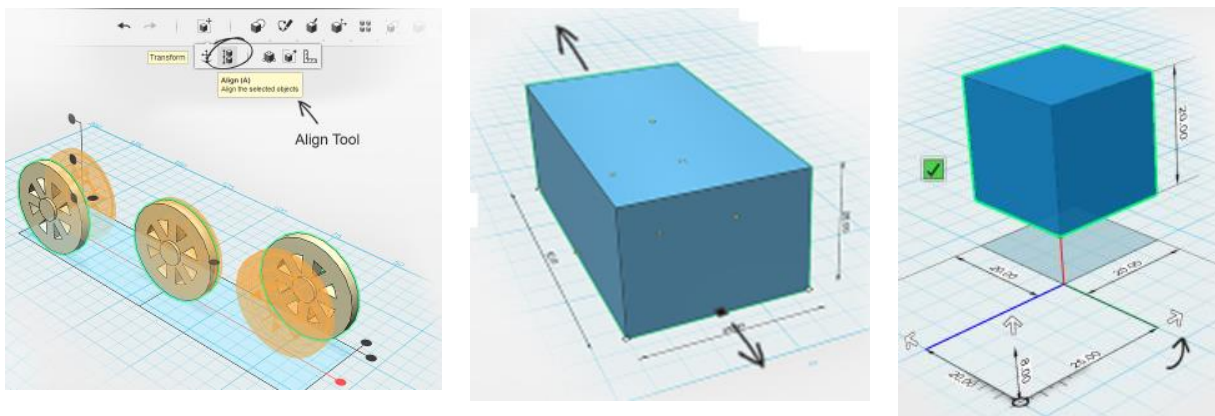


Рисунок 2.1. Структура рабочей области программы 123D Design

Для качественного CAD-моделирования в системе доступны инструменты создания базовых эскизов и преобразования полигональной сетки в твердотельный объект за счет упрощенного модуля реверс-инжиниринга. Также поддерживается точная настройка размеров отдельных элементов модели. Для построения сборок или точной настройки булевых операций используется инструмент выравнивания (рисунок 2.2А).

Все инструменты выстроены так, чтобы их использование было интуитивно понятным. Так, для масштабирования объекта достаточно с использованием мыши потянуть за соответствующие направляющие (рисунок 2.2 Б) на модели. Перемещение объектов строго фиксируется в соответствующих размерах (рисунок 2.2 В).



А.

Б.

В.

Рисунок 2.2. Выравнивание (А), нелинейное масштабирование (Б) и смещение (В) моделей в системе 13D Design

2.1.2 Доступное полигональное моделирование

Для изготовления изделия на трехмерном принтере достаточно полигональной модели и проще использовать соответствующие программы для необходимого моделирования. Продвинутое полигональное моделирование доступно в различных системах. Например, программа Blender относится к Open Source и обладает огромным набором инструментов для полигонального моделирования. Новичку же проще будет использовать 123D Design или более простое средство для полигонального моделирования. Одним из таких средств является система Tinkercad, функционирующая в виде сервиса, бесплатно доступного через web-браузер [15]. При работе с этим сервисом [<https://goo.gl/iq38ZV>] в первую очередь пользователь добавляет начальный примитив (рисунок 2.3А) или загружает эскиз, который выдавливается до получения тела. Дальнейший процесс состоит из повторения комбинаций простейших булевых операций (рисунок 2.3Б).



Процесс построения модели может базироваться и на использовании уже готовой трехмерной модели, которая будет модифицироваться. Например, корпус (рисунок 2.4А), загруженный в систему, может быть легко объединен с импортированным контуром (рисунок 2.4Б) для получения отверстия определенной формы (рисунок 2.4В).

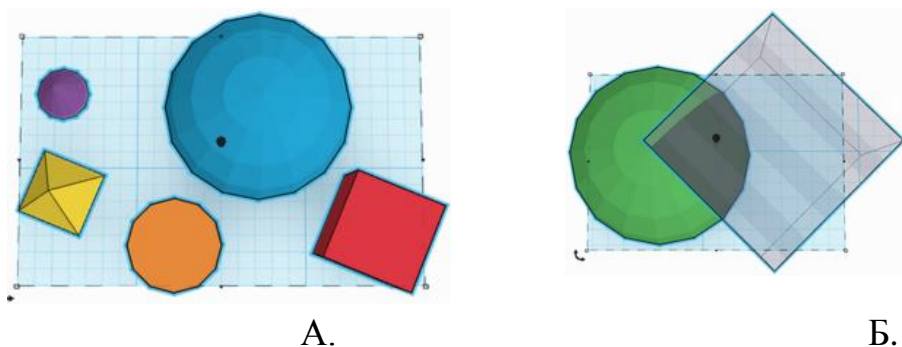


Рисунок 2.3. Построение набора примитивов (А) и их объединение с использованием булевых операций (Б) в системе Tinkercad

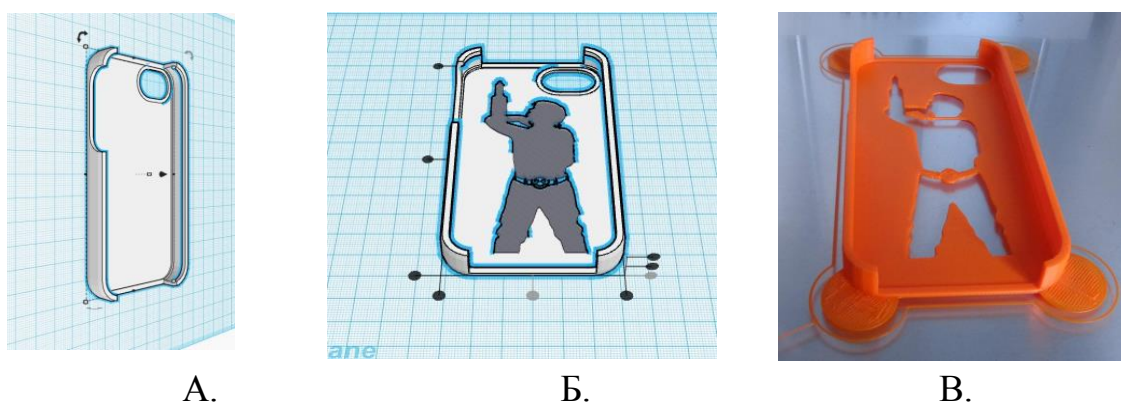


Рисунок 2.4. Импорт модели (А), добавление векторного изображения (Б) и печать на трехмерном принтере полученной модели (В)

Несмотря на простоту сервиса, она обладает специализированными средствами для создания более сложных моделей за счет инструментов параметризации. Так, среди стандартных примитивов пользователям доступна гибко настраиваемая метрическая резьба (рисунок 2.5А) и шестерня (рисунок 2.5Б). Также пользователь может создать свои настраиваемые примитивы с использованием простого языка программирования.

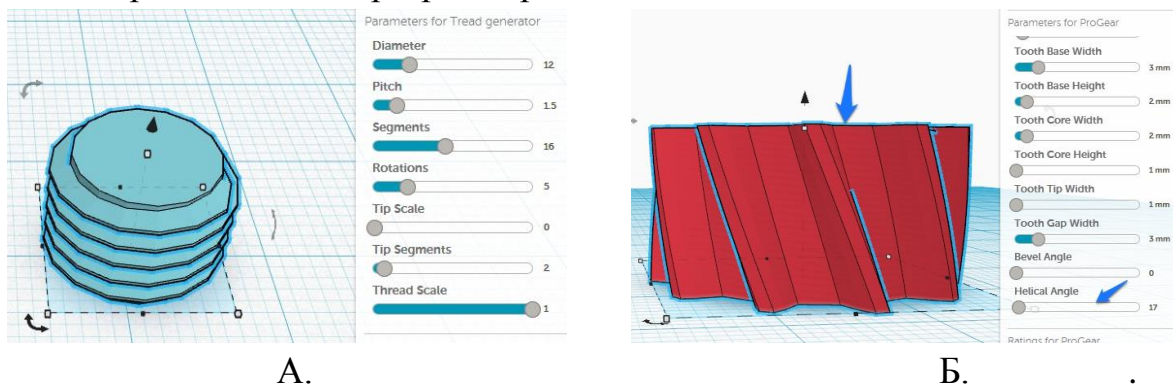


Рисунок 2.5. Построение резьбы (А) и шестерни (Б) с использованием параметрического инструментария системы Tinkercad

Среди программ для создания полигональных моделей отдельного внимания заслуживает система Tinkerplay, доступная как на компьютерах, так и на мобильных устройствах. Это программное обеспечение является узкоспециализированным средством для создания пластиковых игрушек на основе модульного подхода (рисунок 2.6). Несмотря на то, что данное средство не может применяться в приборостроении, но сам факт появления такого программного обеспечения позволяет говорить о массовом распространении трехмерной печати в огромном количестве областей.



Рисунок 2.6. Моделирование изделия в системе Tinkerplay на планшетном компьютере и результаты трехмерной печати модели

2.2 Базы данных трехмерных моделей

Многие пользователи либо не могут воспользоваться даже простейшими средствами моделирования, либо получение требуемых моделей требует более глубоких навыков или применения сложного инструментария. Для таких случаев отлично подходит множество web-хранилищ трехмерных моделей, предоставляющих не только огромную базу хранения и визуализации различных видов трехмерных моделей, которая дополняется сотнями новых файлов ежедневно, но и дополнительные инструменты для упрощения взаимодействия с пользователями и визуализации различных данных.

2.2.1 Рабочее пространство обмена трехмерными моделями в web-сервисе GrabCAD

Сейчас сервисы для хранения и визуализации моделей имеются как у множества крупных компаний, связанных с трехмерным моделированием, так и у отдельных разработчиков, предоставляющих уникальный функционал своих разработок. В области CAD-моделирования большую популярность получил сервис GrabCAD [<https://goo.gl/wB1Kg0>]. Расширенные возможности данного сервиса направлены на обеспечение защищенности объектов и организации групповой работы над проектом. Основная аудитория проекта - это разработчики новых изделий, а не массовые пользователи, поэтому развитие сервиса направлено именно на обеспечение спроса разработчиков. Так, в рамках GrabCAD (рисунок 2.7) кроме средств визуализации активно развивается инструментарий коллективной работы над проектами, мобильной визуализации моделей из хранилища и продвинутого шифрования данных.

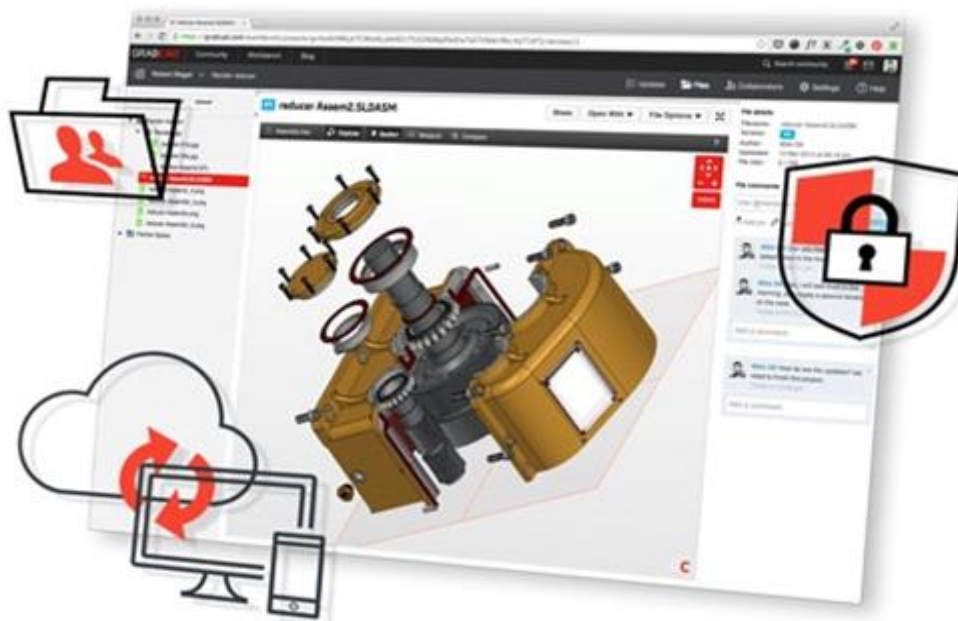
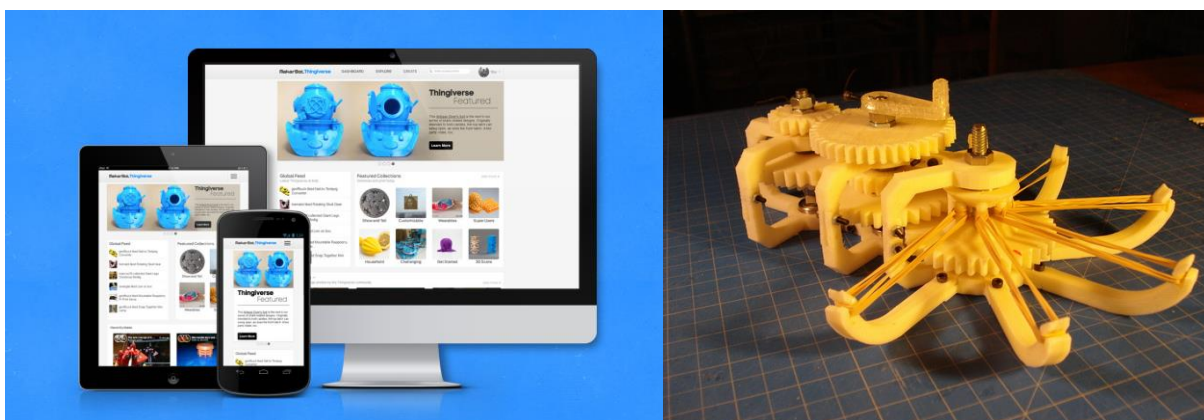


Рисунок 2.7. Интерфейс и ключевые атрибуты сервиса GrabCAD

2.2.2 Массовое хранение и визуализация трехмерных моделей в web-сервисе Thingiverse

Для массового пользователя технологии трехмерной печати наиболее интересен проект Thingiverse, так как он позволяет просто найти тот объект, который может быть интересен пользователю[<https://goo.gl/ncty51>]. Также здесь содержатся как рекомендации по выбору модели, за счет формирования списка самых популярных объектов, так и рекомендации по оптимизации процесса изготовления изделия. Развитие сервиса направляется в сторону массовости, так как постепенно добавляются инструменты, которые как расширяют вовлечение пользователя в использование трехмерной печати, так и позволяют делать изделия подстраиваемыми под требования различных пользователей (рисунок 2.8).



А.

Б.

Рисунок. 2.8. Интерфейс Thingiverse на различных платформах (А) и пример одной из моделей в базе (Б)

2.2.3 Реализация PLM подхода в web-сервисе TeamPlatform

С началом бурного развития облачных технологий множество крупных компаний, которые работают в области трехмерного моделирования, создали свои сервисы для хранения трехмерных моделей пользователей. Каждый из подобных сервисов обладает своими особенностями, но, в основном, представляют только базу данных. С точки зрения дополнительного функционала особое место занимает система TeamPlatform, представляющая собой web-ориентированную рабочую среду для единой команды компании или предприятия. Данная система реализует PLM подход для реализации жизненного цикла изделия [16]. В том числе система может хранить и визуализировать трехмерные модели изделий. Ключевыми особенностями для аддитивного производства у TeamPlatform [<https://goo.gl/ru7w84>] является расширенная интеграция с продуктами Geomagic и специализированные средства анализа моделей.



Интеграция с программными системами Geomagic позволяет производить прямой импорт\экспорт данных с использованием TeamPlatform, что существенно упрощает совместную работу специалистов.

Для подготовки к трехмерной печати на различном оборудовании TeamPlatform предоставляет специализированное интегрированное средство vPrint (рисунок 2.9), которое позволяет не только оценить модель в 3D-представлении, но и проанализировать или доработать. Основные настройки включают:

- Анализ полигональной сетки.
- Анализ параметров печати.
- Масштабирование и поворот.
- Анализ толщины.
- Анализ поддержек.

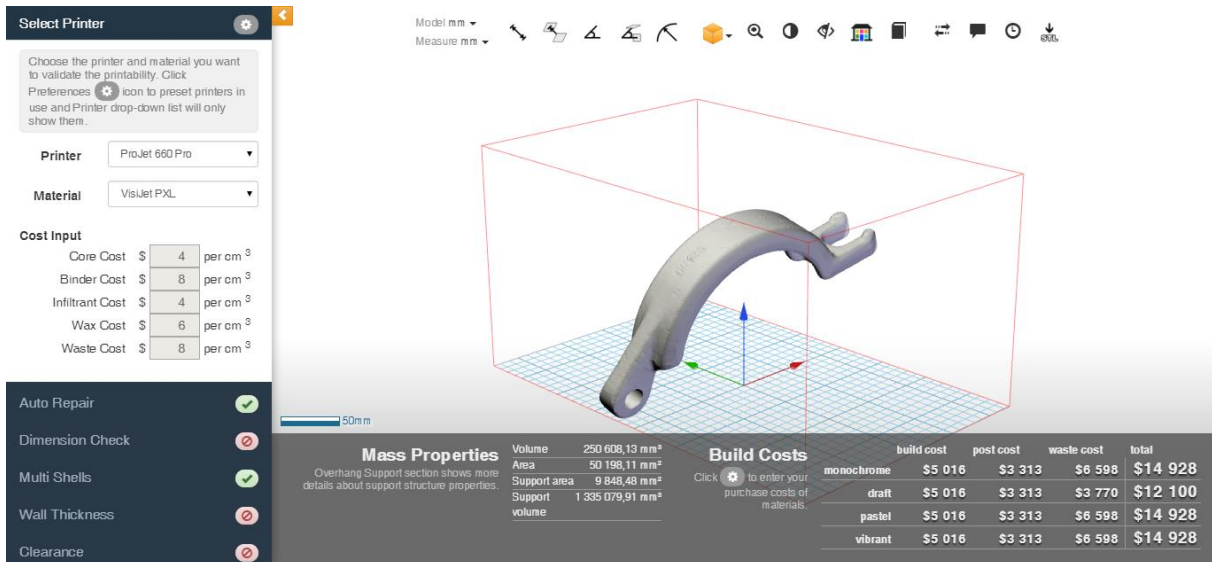


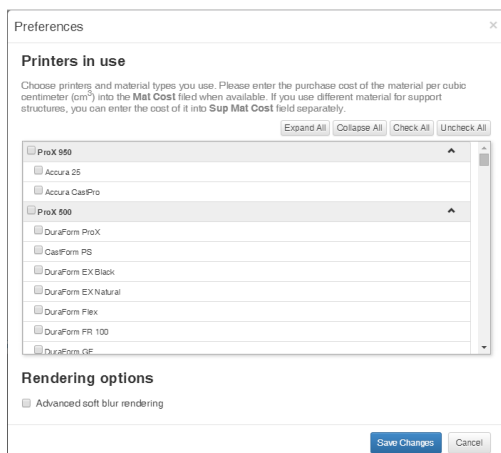
Рисунок 2.9. Интерфейс vPrint в рамках системы TeamPlatform

Инструмент анализа полигональной сетки позволяет проверить основные ошибки в модели и исправить их для корректной печати изделия.

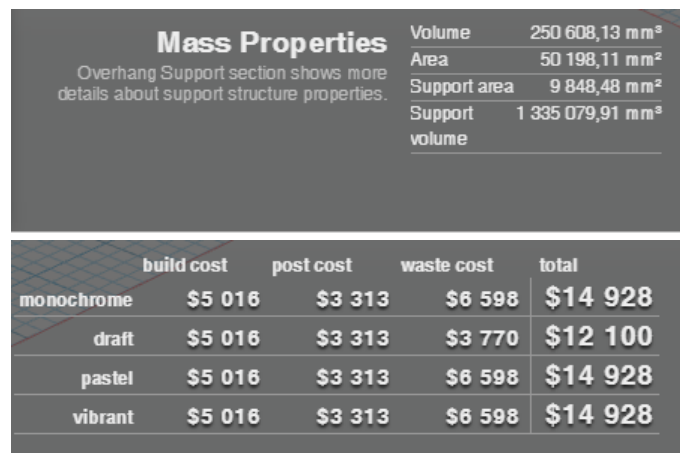
Инструмент масштабирования и поворота позволяет сориентировать модель необходимым образом, а также изменить ее размеры.

Так как для многих принтеров производство изделий с малой толщины стенок сопряжено с большими рисками брака, то важно анализировать толщину объекта с использованием соответствующего инструмента.

Анализ параметров печати включает указание типа используемого трехмерного принтера (рисунок 2.10А). На основе этих данных и расположения объекта в рабочей области система определяет затраты времени и средств на производство (рисунок 2.10Б).



А.



Б.

Рисунок 2.10. Выбор типа используемого материала на определенном принтере (А) и результаты расчета затрат по указанным настройкам (Б)

Для многих простых трехмерных принтеров критичным являются поверхности с большими углами наклона, так как для них требуются поддержки, которые необходимо удалять вручную и зачищать для получения качественной поверхности изделия. Анализ областей, которые могут потребовать построения поддержек, выполняется соответствующим модулем. Результат работы этого модуля (рисунок 2.11) наглядно демонстрирует области, на которых во время печати будут добавлены поддержки.

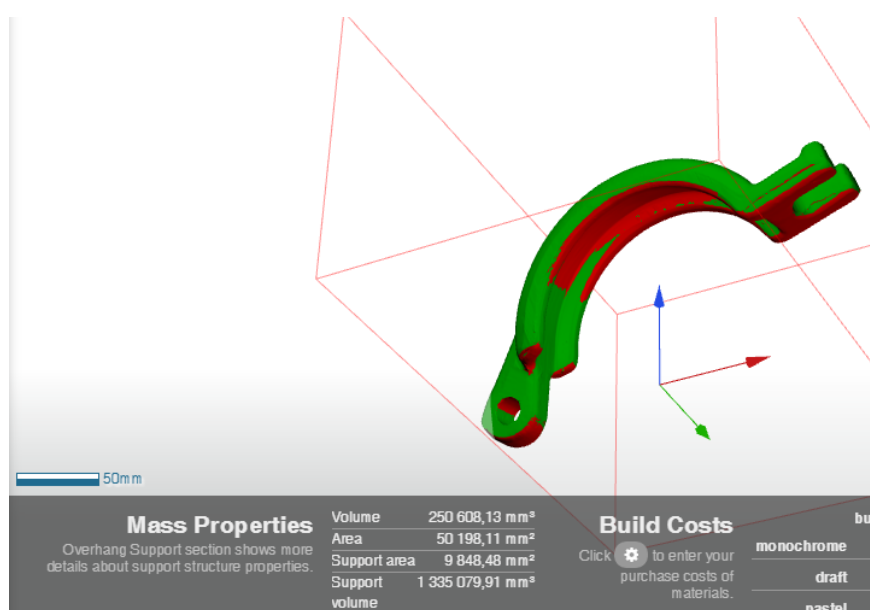


Рисунок 2.11. Анализ углов наклона поверхности для определения областей, требующих поддержки во время печати

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Ю.С., Васильков С.Д., Грибовский А.А., Куликов Д.Д., Яблочников Е.И. Методические рекомендации по выполнению практических работ по дисциплине «ИПИ-технологии в приборостроении» //Учебное пособие, Редакционно-издательский отдел НИУ ИТМО – 2014
2. Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies. – Springer New York., 2015. – 498 p.
3. Грибовский А.А., Пирогов А.В., Алёшина Е.Е. Использование технологии оптического сканирования при подготовке производства новых изделий // Известия вузов. Приборостроение. 2010 Том 53, выпуск №8 С. 60–64.
4. ГОСТ 2.308-79. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей.
5. Куликов Д.Д.Федосов Ю. В. Применение диаграмм UML для формирования алгоритмов решения технологических задач.//Редакционно-издательский отдел НИУ ИТМО – 2015
6. Куликов Д. Д., Падун Б. С., Грибовский А. А., Афанасьев М. Я. ИПИ-технологии в приборостроении. Учебно-методическое пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2014. – 149 с.
7. Грибовский А.А., Афанасьев М.Я. Декомпозиция структуры трехмерных моделей на наборы конструктивных элементов с использованием примитивов // Сборник тезисов докладов конференции молодых ученых, Выпуск 2. Труды молодых ученых / Под ред. В. О. Никифорова. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011 С. 281.
8. Horvath. J. Mastering 3D Printing . – Apress., 2014. – 196 p.
9. Андреев Ю.С., Кузьмин Ю.П., Целищев А.А. Методика разработки управляющих программ для фрезерного станка// Редакционно-издательский отдел НИУ ИТМО – 2014
- 10.Андреев Ю.С., Кузьмин Ю.П., Целищев А.А. Методика разработки управляющих программ для токарного станка // Редакционно-издательский отдел НИУ ИТМО – 2014
- 11.Балла О. Обработка деталей на станках с ЧПУ. Оборудование. Оснастка. Технология. – изд. Лань Спб, 2015,- с. 368 //Учебное пособие

12. Аббасов И.Б. Компьютерное моделирование в промышленном дизайне. – ДМК Пресс, 2013. – 92 с. / Учебное пособие
13. W. Klepzig, L. Weißbach. 3D konstruktion mit CATIA V5. – Hanser Verlag, 2005. – 222 p.
14. Dugan. U. Solid Modeling and Applications . – Springer International Publishing., 2016. – 298 p.
15. Horvath. J., Cameron. R. The New Shop Class. – Apress 2015. – 232 p.
16. Колчин А.Ф., Стрекалов А.Ф., Сумароков СВ. Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахарсис, 2002. -303 с: ил..

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Кафедра технологии приборостроения относится к числу ведущих кафедр института со дня его основания в 1931 году. Тогда она называлась кафедрой механической технологии и возглавлялась известным ученым в области разработки инструмента профессором А. П. Знаменским. Позже она была переименована в кафедру технологии приборостроения.

За время своего существования кафедра выпустила из стен института более тысячи квалифицированных инженеров, более сотни кандидатов и докторов наук. В разные годы ее возглавляли известные ученые и педагоги профессора Николай Павлович Соболев и Сергей Петрович Митрофанов.

Кафедра имеет выдающиеся научные достижения. Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, профессором С. П. Митрофановым были разработаны научные основы группового производства, за что он был удостоен Ленинской премии СССР. Методы группового производства с успехом применяются в промышленности и постоянно развиваются его учениками. Заслуженным изобретателем Российской Федерации Юрием Григорьевичем Шнейдером разработаны метод и инструментарий нанесения регулярного микрорельефа на функциональной поверхности.

В настоящее время кафедра осуществляет выпуск бакалавров и магистров по направлениям подготовки 200100 «Приборостроение» и 230100 «Информатика и вычислительная техника».

Грибовский Андрей Александрович
**Геометрическое моделирование в аддитивном произ-
водстве**

Учебное пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н. Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж 50 экз.

Отпечатано на ризографе