

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»


Работа выполнена в СКПБ «Оптико-электронные методы в землеустройстве и
кадастрах»


СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ


Начальник отдела ОНиПКРС

И.о. проректора по научной
работе


(подпись) Е.М. Димитриади
« 02 » 06 20 26 г.


(подпись) А.В. Космынин
« 03 » 06 20 26 г.

Декан ФКС


(подпись) Н.В. Гринкруг
« 02 » 06 20 26 г.

«Разработка технологии реверс-инжиниринга деталей на базе
метода высокоточного лазерного сканирования»

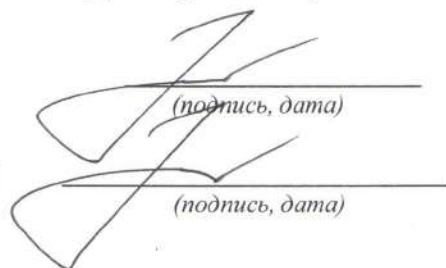
Комплект конструкторской / проектной документации

Руководитель СКПБ

В.И. Зайков

Руководитель проекта

В.И. Зайков


(подпись, дата)

Карточка проекта

Название	<i>Разработка технологии реверс-инжиниринг деталей на базе метода высокоточного лазерного сканирования</i>
Тип проекта	<i>Техническое творчество (инициативный)</i>
Исполнители	Владислав Сергеевич Стельмащук гр. ЗМРб-1
Срок реализации	Начало выполнения – 16.04.2026 г. Окончание выполнения – 30.05.2026 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования

«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ЗАДАНИЕ

на разработку

Название проекта: «Разработка технологии реверс-инжиниринга деталей на базе метода высокоточного лазерного сканирования _____»

Назначение: Разработка электронной модели детали и конструкторской документации

Область использования: _Инженерно-конструкторское проектирование _____

Функциональное описание проекта: _

Реверсивный инжиниринг является одним из современных методов создания цифровых моделей по образцу физического объекта, который может стать ценным инструментом для разработки различных прототипов изделия наряду с другими традиционными технологиями. Реверсивный инжиниринг с использованием 3D-сканирования открывает множество возможностей для разработки и производства изделий. Различные области применения реверсивного инжиниринга можно разделить на три основных применения:

для создания прототипов деталей, для создания вариаций существующих деталей или для разработки совершенно новых деталей на основе существующей среды или объекта. Одним из наиболее популярных применений данной технологии является воссоздание поврежденных или изношенных деталей, которые недоступны у оригинального поставщика или не имеют надлежащей документации. Это распространенная проблема при работе со старым оборудованием или старинными автомобилями, и в этом случае всегда сложно работать с ручными инструментами обратного проектирования. В проекте приведены результаты разработки корпусных деталей на примере нефтегазовой и автомобильной промышленности методом 3D-сканирования. Рассмотрена возможность использования

данной технологии в реверсивном инжиниринге при отсутствии конструкторской документации на конкретный компонент или сборочную единицу в рамках импортозамещения. По результатам работы сделаны соответствующие выводы об эффективности примененного метода в контексте экономической и временной составляющих. _____

Требования: _ Исследование возможности применения технологий 3D-сканирования в реверсивном инжиниринге для изготовления корпусных деталей. _____

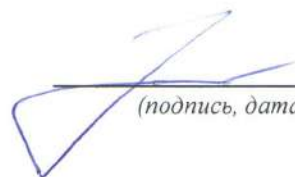
Таблица 1 – План работ:

Наименование работ	Срок
Теоретическое обоснование проекта	20.04.2026
Разработка методики высокоточного лазерного сканирования сканером MMDx100	25.04.2026
Разработка методики обработки облака точек на базе ПО Focus Inspection+Nadhels	01.05.2026
Разработка электронной 3-D модели детали в среде графического редактора NX	10.05.2026
Разработка конструкторской документации детали в среде графического редактора «Компас V23»	20.05.2026
Оформление отчета по выполненному проекту	30.05.2026

Перечень графического материала:

1. Схема стандартного рабочего процесса обратного инжиниринга с использованием 3D-сканирования
2. Интерфейс ПО Focus Inspection+Nadhels
3. 3-D (полигональная) модель детали, построенная по всем облакам точек в заданных направлениях сканирования
4. Твердотельная 3-D модель детали, разработанная в среде программного модуля Siemens NX.
5. Оригиналы документов конструкторской документации

Руководитель проекта



(подпись, дата)

В.И. Зайков

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ПАСПОРТ

(техническое описание) проекта

«Разработка технологии реверс-инжиниринга деталей на базе метода
высокоточного лазерного сканирования»

Руководитель проекта



(подпись, дата)

В.И. Зайков

Комсомольск-на-Амуре 2026

Содержание

Общие положения	8
1.1 Наименование изделия.....	8
1.2 Наименования документов, на основании которых ведется проектирование изделия.....	8
1.3 Перечень организаций, участвующих в разработке изделия	8
1.4 Сведения об использованных при проектировании нормативно-технических документах	8
2 Назначение и теоретическое обоснование проекта.....	9
2.1 Назначение проекта (изделия).....	9
2.2 Области использования проекта (изделия).....	9
2.3 Теоретическое обоснование проекта (изделия)	9
3 Разработка методики высокоточного лазерного сканирования сканером MMDx100.....	12
4 Разработка методики обработки облака точек на базе ПО Focus Inspection+Hadhels.....	16
5 Разработка электронной 3-D модели детали в среде графического редактора NX.....	24
6 Разработка конструкторской документации детали в среде графического редактора «Компас V23».....	27
7 Заключение	32

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		7

Общие положения

Настоящее техническое описание является документом, предназначенным для ознакомления с основными технологическими характеристиками, устройством, правилами установки и эксплуатации разработанного проекта.

1.1 Наименование проекта (изделия)

Полное наименование проекта (изделия) – «Разработка технологии реверс-инжиниринга деталей на базе метода высокоточного лазерного сканирования».

1.2 Наименования документов, на основании которых ведется проектирование изделия

Проект «Разработка технологии реверс-инжиниринга деталей на базе метода высокоточного лазерного сканирования» осуществляется на основании требований и положений следующих документов:

- задание на разработку.

1.3 Перечень организаций, участвующих в разработке изделия

Заказчиком проекта «Разработка технологии реверс-инжиниринга деталей на базе метода высокоточного лазерного сканирования» является Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (далее заказчик), находящийся по адресу: 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, проспект Ленина., д. 17.

Исполнителями проекта «Разработка технологии реверс-инжиниринга деталей на базе метода высокоточного лазерного сканирования» являются конструкторы студенческого конструкторского/проектного бюро «Оптико-электронные методы в землеустройстве и кадастрах» (далее СКПБ), студент группы ЗМРБ-1, Стельмащук Владислав Сергеевич.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		8

1.4 Сведения об использованных при проектировании нормативно-технических документах

При проектировании использованы следующие нормативно-технические документы:

ГОСТ 2.001-2013. Единая система конструкторской документации. Общие положения.

ГОСТ 2.102-2013. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов.

ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.610-2006. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов.

ГОСТ 2.004-88. Единая система конструкторской документации. Общие требования к выполнению конструкторских технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ.

ГОСТ 2.051-2006. Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения.

ГОСТ 2.052-2006. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.

ГОСТ 2.601-2013. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		9

2 Назначение и теоретическое обоснование проекта

2.1 Назначение проекта (изделия)

Разработка электронной модели детали и конструкторской документации

2.2 Области использования проекта (изделия)

Инженерно-конструкторское проектирование

2.3 Теоретическое обоснование проекта (изделия)

Реверсивный инжиниринг является одним из современных методов создания цифровых моделей по образцу физического объекта, который может стать ценным инструментом для разработки различных прототипов изделия наряду с другими традиционными технологиями. Реверсивный инжиниринг с использованием 3D-сканирования открывает множество возможностей для разработки и производства продукта. Различные области применения реверсивного инжиниринга можно разделить на три основных применения: для создания прототипов деталей, для создания вариаций существующих деталей или для разработки совершенно новых деталей на основе существующей среды или объекта. Одним из наиболее популярных применений данной технологии является воссоздание поврежденных или изношенных деталей, которые недоступны у оригинального поставщика или не имеют надлежащей документации. Это распространенная проблема при работе со старым оборудованием или старинными автомобилями, и в этом случае всегда сложно работать с ручными инструментами обратного проектирования. В проекте приведены результаты разработки корпусных деталей на примере нефтегазовой и автомобильной промышленности методом 3D-сканирования. Рассмотрена возможность использования данной технологии в реверсивном инжиниринге при отсутствии конструкторской документации на конкретный компонент или сборочную единицу в рамках импортозамещения.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		10

Таким образом, целью данного проекта являлся анализ возможности применения технологии 3D-сканирования для разработки конструкторской документации в рамках производственной деятельности компаний, специализирующихся на использовании зарубежных деталей в технологических процессах изготовления конечного продукта на территории Российской Федерации.

Для достижения поставленной задачи были рассмотрены следующие задачи:

- 1) Поверхностное сканирование деталей;
- 2) Обработка облака точек;
- 3) Разработка и коррекция твердотельной модели;
- 4) Разработка конструкторской документации конкретной детали;
- 5) Изготовление прототипа.

Реверс-инжиниринг, также известный как обратное проектирование, представляет собой процесс разработки проекта деталей или изделий при отсутствии чертежей или документации. Созданная при помощи 3D-сканирования цифровая модель САД позволяет изменить и оптимизировать эти детали, чтобы увеличить их срок службы или добавить дополнительные функции. Этот метод находит применение во множестве отраслей промышленности, включая производство военной техники или космических аппаратов.

В промышленности реверсивное проектирование даёт возможность создавать или воспроизводить физические объекты, используя сам объект в качестве образца. Данный процесс реализуем только при помощи точного 3D-сканера, который собирает данные с поверхности объекта. Эти данные определяют геометрическое соответствие объекта, включая спецификации, необходимые для создания модели для производства. 3D-сканирование предоставляет разработчикам, производителям и инженерам возможность создавать точные цифровые копии физических деталей.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		10

Применение 3D-сканирования в процессе обратного инжиниринга представляет собой многоэтапный рабочий процесс, включающий в себя множество ключевых шагов, которые охватывают весь путь от первоначального сканирования до завершённого создания цифровой модели. На рисунке 1 представлена детализированная схема стандартного рабочего процесса обратного инжиниринга с использованием 3D-сканирования



Рис. 1 - Схема стандартного рабочего процесса обратного инжиниринга с использованием 3D-сканирования

3. Разработка методики высокоточного лазерного сканирования сканером MMDx100

3.1 Общая характеристика технологии высокоточного лазерного сканирования

Высокоточное лазерное сканирование значительно сокращает трудоемкость создания точных цифровых моделей существующих изделий. Традиционные методы измерения для создания моделей могут занять недели и даже месяцы, тогда как 3D-сканирование позволяет получить все необходимые данные в течение нескольких часов. Это особенно важно для производителей, которые стремятся быстро адаптироваться к изменениям рынка и выпускать новые продукты в рекордные сроки. Для повышения точности измерений при 3D-сканировании необходимо учитывать несколько факторов. Во-первых, правильная калибровка сканера играет ключевую роль. Во-вторых, использование маркеров и контрольных объектов помогает улучшить точность позиционирования сканера.

Важнейшим фактором является выбор соответствующего программного обеспечения, которое поддерживает требуемый уровень детализации и точности. Совмещение всех этих факторов позволяет достичь высокой точности при создании цифровых моделей в рамках реверс-инжиниринга.

С каждым днем все больше компаний и организаций начинают использовать профессиональные 3D-сканеры для реверс-инжиниринговых проектов. Несмотря на наличие множества альтернативных средств для этого, 3D-сканирование доказало свою эффективность, сочетающую в себе точность, высокую скорость, удобство использования и приемлемую стоимость. Для реверс-инжиниринга любых объектов, будь то снятые с производства детали, требующие точности до десятых долей миллиметра, автомобили, фургоны или даже аэрогары для самолетов, существуют 3D-сканеры, способные выполнить задачу быстро, просто и не превышая бюджетные ограничения.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		12

3.2 Разработка методики высокоточного лазерного сканирования сканером MMDx100

Высокая точность, удобство использования и производительность цифрового сканера ModelMaker делают его идеальным инструментом для задач портативного трехмерного контроля и обратного инжиниринга. Отличительной особенностью лазерных сканеров типа ModelMaker MMDx/MMCx является наличие функции автоматической настройки мощности лазера (ESP3), что позволяет сканировать практически любые материалы с различной отражательной способностью.

Общий вид конструкции лазерного сканера показан на рисунке 2.



Рис. 2 - Общий вид конструкции лазерного сканера MMDx100

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		13

ESP3 - функция автоматической настройки мощности лазера сканера ModelMaker в режиме реального времени в зависимости от характеристик поверхности объекта. Во время сканирования он автоматически следит за изменениями поверхности (цвет, отражающая способность) и в соответствии с этим адаптирует мощность лазера в режиме реального времени. В результате, ModelMaker может точно и эффективно оцифровывать детали с любым цветом поверхности и текстурой, не требуя повторного сканирования или матирования. Принцип действия опции автоматической настройки мощности лазера сканера ModelMaker в режиме реального времени в зависимости от характеристик поверхности объекта показан на рисунке 3.

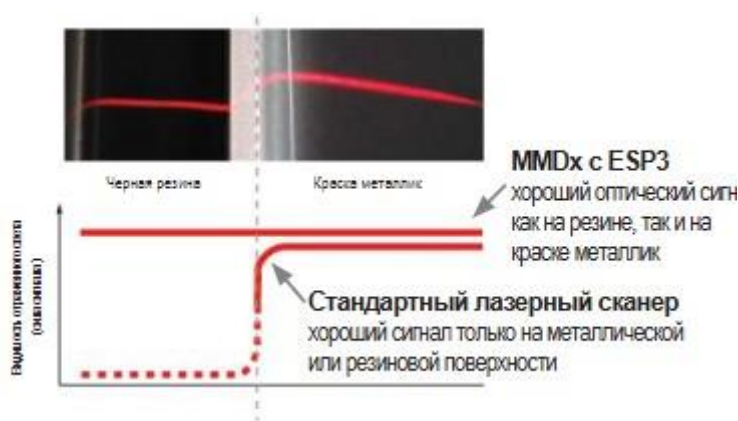


Рис.3 - Принцип действия опции автоматической настройки мощности лазера сканера ModelMaker

Сканеры ModelMaker также оснащены интеллектуальным антибликовым фильтром для обеспечения точных измерений при сканировании блестящих и полированных поверхностей. Он отфильтровывает отражённый лазерный свет, который рассеивается в разных направлениях.

Обладая высокой частотой кадров и шириной линии сканирования до 200 мм, цифровые сканеры MMDx/MMCх обеспечивают максимальную производительность сканирования. Цифровые камеры сканеров имеют истинное (без интерполяции) разрешение свыше 1000 точек на линии, обеспечивая оптимальное разрешение для эффективного сканирования поверхностей свободной формы и элементов.

Оптимальный вес (около 400 г) и достаточное расстояние до сканируемой поверхности делают сканеры ModelMaker эргономичными в использовании. Минимальное время установки и портативность оптимизируется за счёт использования изолированных температурных зон, температурной компенсации и встроенной обработке информации.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		15

4. Разработка методики обработки облака точек на базе ПО Focus Inspection+Hadhels

4.1 Общая характеристика интерфейса программного модуля Focus Inspection+Hadhels

Сканеры ModelMaker MMDx/ММСx и манипуляторы МСАx легко взаимодействуют с ПО Focus для сканирования и сбора данных контактным методом и дальнейшей обработке всех собранных данных. Это комплексное решение, которое интегрирует аппаратную часть и программное обеспечение для обеспечения бесперебойной и безошибочной работы.

Дружественный интерфейс ПО Focus интуитивно понятен пользователям измерительных манипуляторов или оптических КИМ с контактными и/или оптическими датчиками. Данное ПО специально разработано для легкого управления потоками данных с минимальным взаимодействием с пользователем. Впервые заказчики могут выполнять ручной сбор данных и осуществлять контроль качества с помощью Focus без снижения производительности. В качестве альтернативы, через интерфейс Nikon Metrology API, сканеры MMDx/ММСx и манипуляторы МСАx могут использоваться с метрологическим ПО сторонних разработчиков, включая PolyWorks® и Geomagic®.

Для обратного инжиниринга пользователи могут выбрать программный пакет из широкого перечня сторонних производителей, который интегрируется со всеми сканерами для манипуляторов Nikon Metrology.

Особенности Focus Handheld

- Отображение облака точек в режиме реального времени
- Инструменты фильтрации облаков точек и полигональных сеток
- Команда для интеллектуального и автоматического преобразования облака точек данных в точную, высококачественную полигональную сеть
- Возможность удалённого управления программным обеспечением при использовании измерительного манипулятора и системы K-Scan

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		16

- Автоматическая адаптация интенсивности лазера, в зависимости от цвета и отражающей способности сканируемой поверхности
 - Импорт/экспорт всех стандартных форматов облаков точек, сеток и CADмоделей, таких как IGES, STL, CATIA, UG, Pro/E, STEP, VDA и др.
 - Автоматизация процесса сканирования на основе КИМ и анализа результатов контроля
- ПО Focus Inspection+Hadhels имеет обновленный пользовательский интерфейс. Различные элементы интерфейса показаны на рисунке 4.

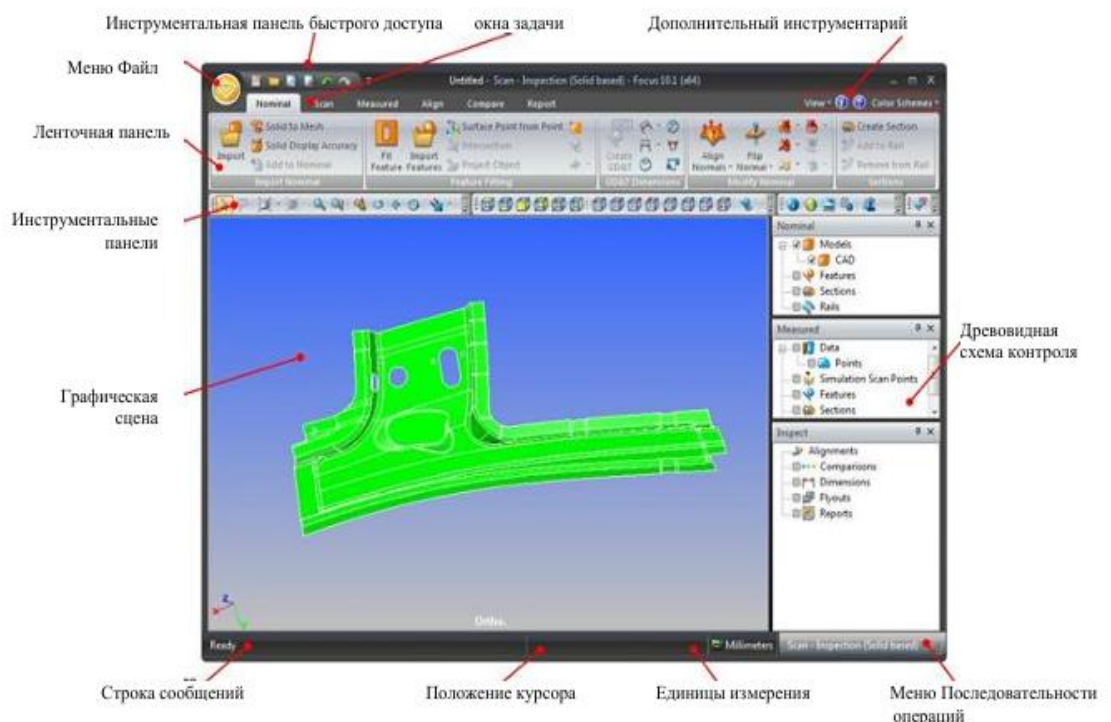


Рис.4 – Интерфейс ПО Focus Inspection+Hadhels

- Меню «File» (Файл) Положение курсора Единицы измерения Меню Последовательности операций обеспечивает доступ к ряду основных функций для управления полным документом и для настройки требуемых параметров. Для более детальной информации см. раздел Меню «Файл».
- Меню «Quick access» (Быстрый доступ) обеспечивает прямой доступ к ряду функций. Содержание этого меню может конфигурироваться пользователем.

- Клавиши табуляции задачи позволяют пользователю выполнять шаги от начала до конца каждой задачи в поедовательно-сти выполняемых операций.
- Дополнительная инструментальная панель обеспечивает доступ к функциям, имеющим отношение к представлению интерфейса, а также информации и помощи. Для более детальной информации см. раздел «Дополнительный инструментарий».
- Ленточная панель группирует все инструментальные средства, связанные с задачей. Содержание ленточных групп может конфигурироваться пользователем. Для более детальной информации см. раздел «Манипуляции с ленточной панелью».
- Инструментальная панель содержит инструментарий, который доступен во всех задачах. Для более детальной информации см. раздел «Инструментальные панели».
- Графическая сцена имеется, если на дисплее отображаются модели и связанные функциональные элементы. Расположение окон в графической сцене может модифицироваться с использованием опций Компоновки из меню View (Обзор). См. также раздел «Первоначальный запуск».
- Древоподобная схема контроля состоит из комплекта панелей, перечисляющих содержание различных элементов документа
- Строка сообщения отображает на дисплее полезную информацию в отношении продвижения запрошенных функций.
- Положение курсора отображает на дисплее точные координаты курсора.
- Панель единиц измерения отображает используемые в настоящий момент единицы измерения и позволяет пользователю изменить их. См. ниже.
- Меню «Последовательность операций» позволяет пользователю переключаться между различными последовательностями операций и конфигурировать их. Для более детальной информации см. раздел «Меню последовательности операций»

Опция «Измеренные данные» главным образом используется для подготовки измеренных данных в процедуре выравнивания и сравнения. Подготовка Измеренных данных включает:

- ♣ Импортрование набора данных «Измеренные» и управление их принадлежностями в сцене.

- ♣ Манипулирование набором данных «Измеренные» путем слияния, разделения и удаления плотных множеств точек или сеток, а также удаление нежелательных зон (например, таких как зажимные ручки или планшет сканера).

- ♣ Создание, фильтрация и управление сетками.

- ♣ Использование инструментальных средств «Пригонка конструктивного элемента» для определения пригонки конструктивных элементов различной формы (таких как окружности, плоскости, пазы), а также других объектов, таких как кромки, границы и пересечения. Они могут использоваться для сравнения базированного элемента с измеренными моделями.

- ♣ Обнаруженные измеренные функциональные элементы могут также переименовываться для согласования, соответствующего этим элементам в номинальной модели, и иметь свои установленные размеры.

- ♣ Модификация объектов «Измеренная модель» путем масштабирования, сглаживания и реверсирования нормалей, а также селекции, дубликации и коррекции модели.

- ♣ Создание сечений и добавление их к направляющей.

- ♣ Некоторые передовые инструментальные средства дают вам возможность детализировать, удалять, дополнять быстрое построение теней и определять объем сетки. Кроме того, объекты модели могут зеркально отображаться и определяться по «золотому трафарету».

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		19

4.2 Методика сканирования в программной среде Focus Inspection+Hadhels

Задача «Сканирование» обеспечивает всю функциональность, необходимую для сканирования объектов и

управления плотным множеством точек. Кроме того, она обеспечивает инструментальные средства для

квалификации ориентаций сканера, калибровки и управления Координатно-Измерительной машиной

(КИМ), а также создание макросов сканирования, которые охватывают полные последовательности

сканирования.

Задача «Сканирование» содержит следующие ленточные группы:

- Сканирование
- Предварительные просмотры
- Регулировки плотного множества точек
- Кроме того, имеется ряд дополнительных функций сканирования.

Вкладка «Сканирование вручную» содержит в себе все процедуры и элементы, необходимые для поведения инспектирования – как бесконтактного с помощью сканера, так и контактного с помощью щупа.

При первом запуске, система попросит выбрать из списка используемые типы манипулятора (localizer) и самого сканера (scanner).

При активации опции Scanner Image (отображение сканера) включается панель отображения сканера. Данная опция подключает окно предварительного просмотра двухмерной картины, отображающей линию сканирования и силу принимаемого сигнала сканера (см. рис 3).

Данное изображение позволяет оператору убедиться в качестве проводимого сканирования. Во время проведения сканирования оператор должен стремиться к тому, чтобы линия совпадала с вспомогательным лазерным пятном.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		20

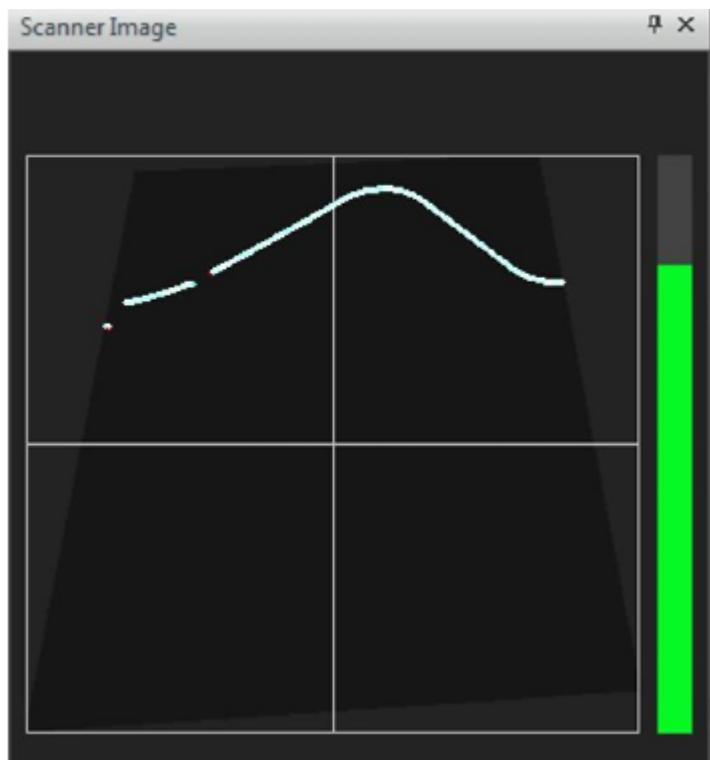


Рис. 3 – Вид окна предварительного просмотра двумерной картины, отображающей линию сканирования и силу принимаемого сигнала сканера

Только в таком случае гарантируется необходимое количество отсканированных точек. Столбец интенсивности принимаемого сигнала во время сканирования должен оставаться зеленого цвета и быть максимально высоким. Для запуска процесса сканирование нужно:

1. Активировать опцию « Ручное Сканирование ».
2. Возможно получение звукового сигнала и экранного сообщения, что манипулятор находится в нерабочем (крайнем) положении.
3. Разместить сканер над объектом на корректном расстоянии (совпадение лазерной линии с точкой).
4. Нажать центральную кнопку на рукоятке манипулятора для начала процесса сканирования.

Для остановки процесса сканирования и получения первого облака точек нажать данную кнопку еще раз.

5. Повторять данную процедуру до требуемого результата плотности сканирования объекта

6. Для новой ориентации окна сканирования, необходимо нажать центральную кнопку и, удерживая её, сориентировать окно в необходимом месте объекта. После этого кнопку следует отпустить и продолжить сканирование.

7. Нажатие боковой кнопки на рукоятке манипулятора закрывает процесс сканирования.

После этого запустится автоматический процесс создания полигональной сетки по каждому из полученных облаков точек. Конечным результатом будет одна полигональная модель, построенная по всем направления сканирования. На рисунке 5 показана 3-D (полигональная) модель детали, построенная по заданным направлениям сканирования

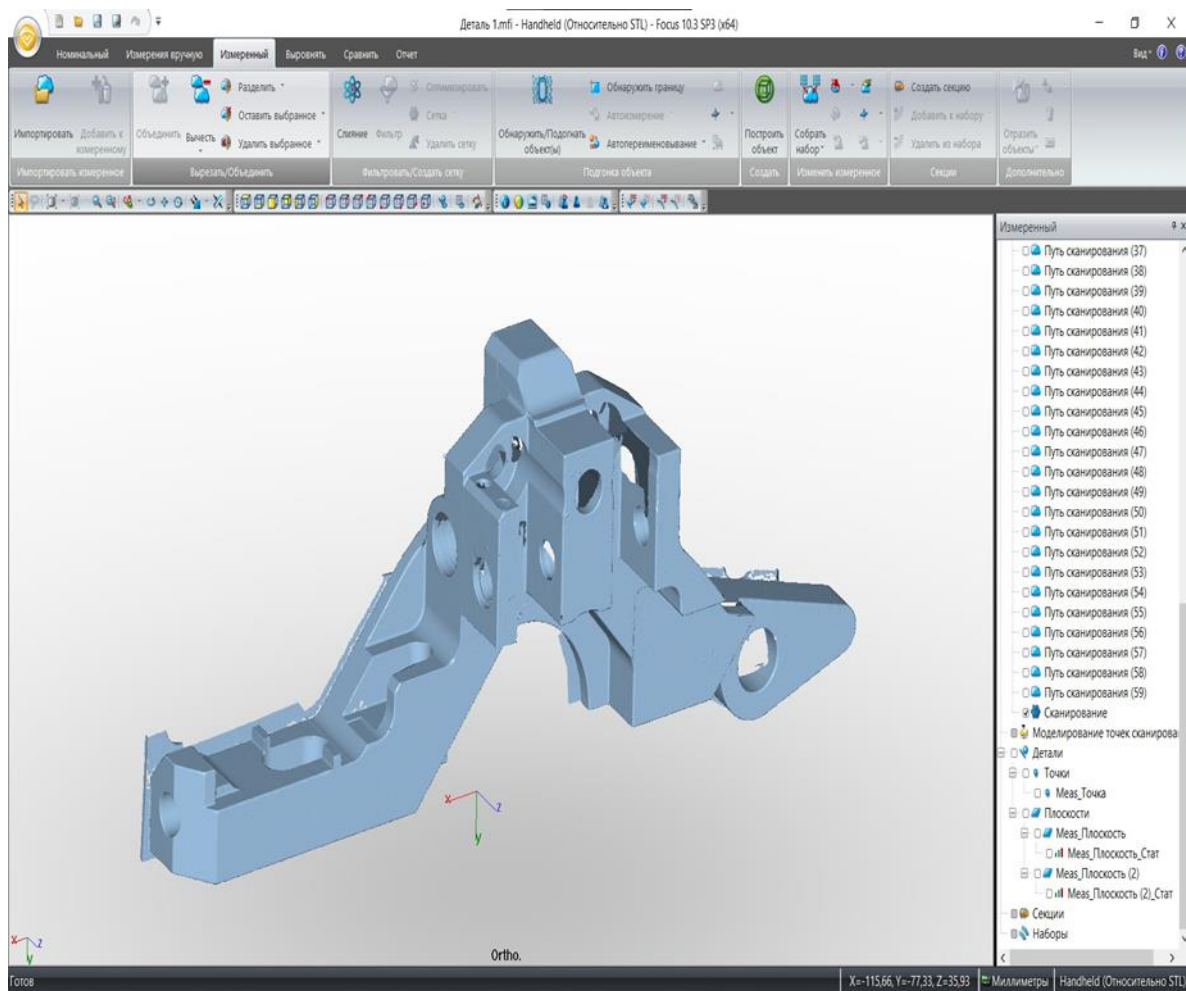


Рис.5 3-D (полигональная) модель детали, построенная по всем облакам точек в заданных направлениях сканирования.

5. Разработка электронной 3-D модели детали в среде программного модуля Siemens NX

5.1 Общая характеристика программного модуля Siemens NX

Siemens NX — это интерактивная система трёхмерного моделирования, предназначенная для автоматизированного проектирования, изготовления и расчётов изделий. Она позволяет создавать детали любой степени сложности, включая параметрические модели, которые можно использовать для дальнейшего анализа, оптимизации, создания чертежей и подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Основные этапы создания 3D-модели детали в NX

1. Создание нового файла. В вкладке «Файл» выбирается пункт «Новый». lib.laop.ulstu.ru

2. Построение эскиза. Эскиз — это группа двумерных кривых на одной плоскости с геометрическими и размерными связями. Эскизы можно строить на плоских гранях модели или в специально созданных плоскостях. Для создания эскиза используются инструменты, например, «Эскиз в среде задач» или инструментальная панель «Прямой эскиз». lib.laop.ulstu.ru

3. Построение контура детали. С помощью инструментов инструментальной панели (отрезки, окружности, дуги и др.) создаётся контур детали, включая необходимые отверстия. lib.laop.ulstu.rumetalworkinggroup.ru

4. Выполнение операций для формирования тела детали. Например, команда «Вытягивание» (Extrude) преобразует эскиз в тело моделируемой детали. Также доступны операции вращения, скругления рёбер и другие инструменты для создания конструктивных элементов. metalworkinggroup.rumechanicalengblog.com
lib.laop.ulstu.rue-univers.ru

5. Добавление конструктивных элементов. Для добавления элементов к «заготовке» 3D-модели используется операция «Объединение» в разделе «Булевы операции». выбор базовой плоскости (например, XY);

- создание главного эскиза с контуром детали и отверстиями;

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		23

1. Редактирование и уточнение модели. При необходимости вносятся изменения, модель сохраняется в отдельной папке. lib.laop.ulstu.ru

Пример последовательности действий при создании модели:

- выбор базовой плоскости (например, XY);
- создание главного эскиза с контуром детали и отверстиями;
- вытягивание эскиза для получения тела детали;
- создание эскиза бобышки на грани полученного тела;
- вытягивание бобышки;
- скругление ребра бобышки.

metalworkinggroup.ru

Особенности работы в NX

- Параметрическое моделирование. Модели в NX полностью параметрические, что позволяет управлять размерами детали и автоматизировать процесс проектирования. e-univers.ru

- Ассоциативность. Изменения в геометрии модели автоматически обновляются во всех связанных видах и чертежах. e-univers.ru

- Модульность. Система разделена на приложения и общие функции, каждое из которых может быть вызвано из управляющего модуля — Базового модуля (Gateway). e-univers.ru

- Инструменты анализа. В NX есть функции для анализа геометрии, выявления ошибок (например, «Examine Geometry») и их устранения. ww3.cad.de

На рисунке 6 показана твердотельная 3-D модель детали, разработанная в среде программного модуля Siemens NX.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		24

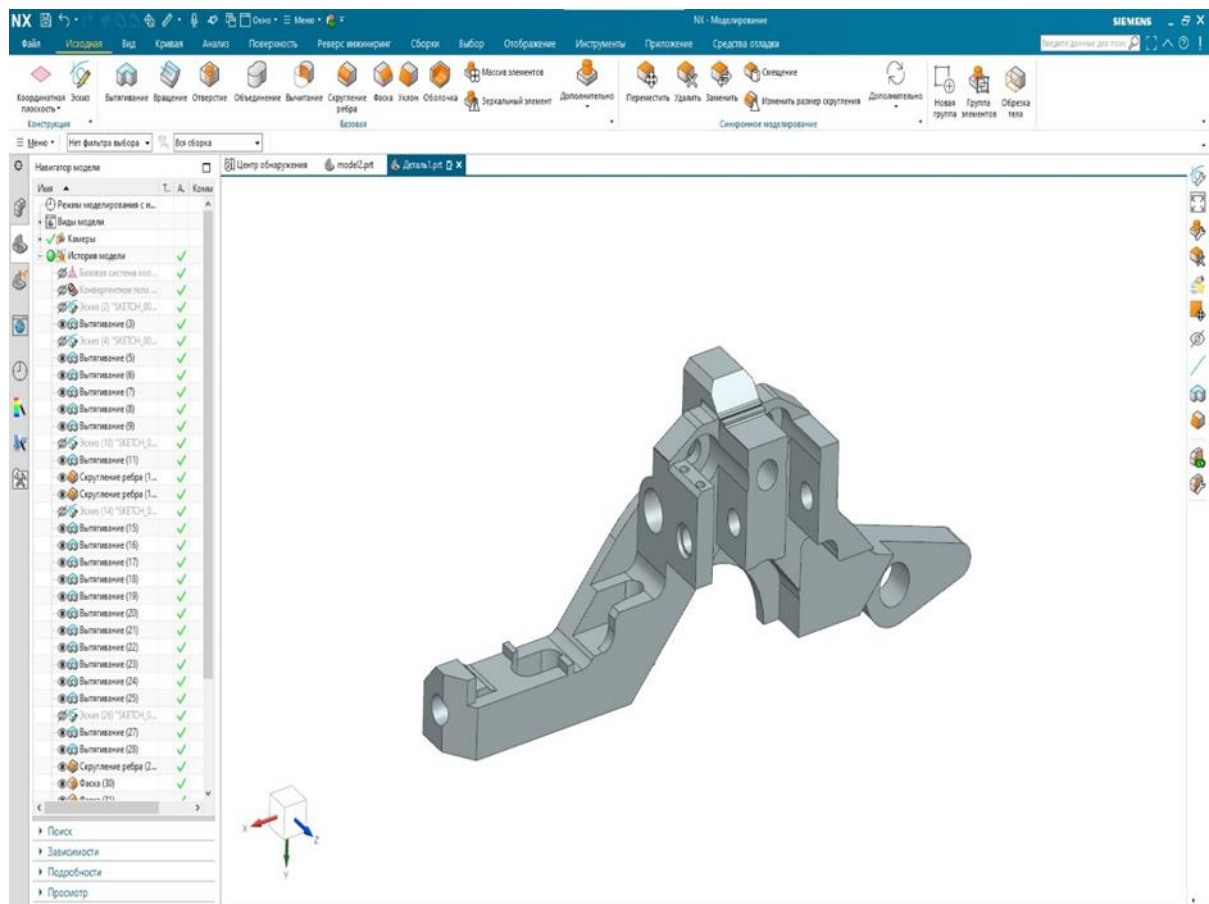


Рис.6 Твёрдотельная 3-D модель детали, разработанная в среде программного модуля Siemens NX.

Дополнительные возможности

- Интеграция с другими модулями. Созданные в NX модели могут использоваться в модулях инженерного анализа, технологической подготовки производства (САМ), для генерации управляющих программ для станков с ЧПУ.
- Использование API. В NX есть набор средств API (NX Open), который позволяет адаптировать систему под различные задачи и расширять её функционал.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		25

6. Разработка конструкторской документации детали в среде графического редактора «Компас V23»

Для разработки конструкторской документации для изделия «BZC20.01-01 _ Правая часть корпуса в сборе» было использовано программное обеспечение «Компас V23», по предварительно созданной 3D модели в среде автоматического проектирования NX относительно полученного облака точек (скана).

Команды, использованные при разработке чертежей

«Ориентация» — пункт, отвечающий за ориентацию модели в пространстве что в последующем было использовано в чертеже.

«Настройка» — позволяет зайти в настройки ориентации модели.

«Нормально к...» — с помощью команды «Нормально к...» автоматически выполняется поворот модели, при котором указанная в модели плоскость или плоская грань становится параллельна плоскости экрана.

«Добавить вид» — при нажатии на « + » создаётся вид относительно позиции и положения камеры.

«Создать чертеж по шаблону» — создание чертежа по выбранному шаблону. После вызова команды на экране появляется диалог, в котором требуется выбрать шаблон чертежа.

«Свойства модели» — редактирование свойств модели.

«Выбрать материал из списка» — позволяет выбрать материал из справочного файла плотностей. После нажатия кнопки на экране появляется диалог выбора плотности материала.

«Масштаб» — позволяет выбрать масштаб отображения вида на чертеже.

«Линия разреза сечения» — после размещения двух точек создаёт линию разреза, направления стрелок рядом с буквенным обозначением задают направление «взгляда» на разрез.

Марка материала детали устанавливается по результатам химического анализа.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		27

В режиме «детали» на рисунке 7, выбран главный вид, и ориентация детали в пространстве координат использованы команды ориентации модели.

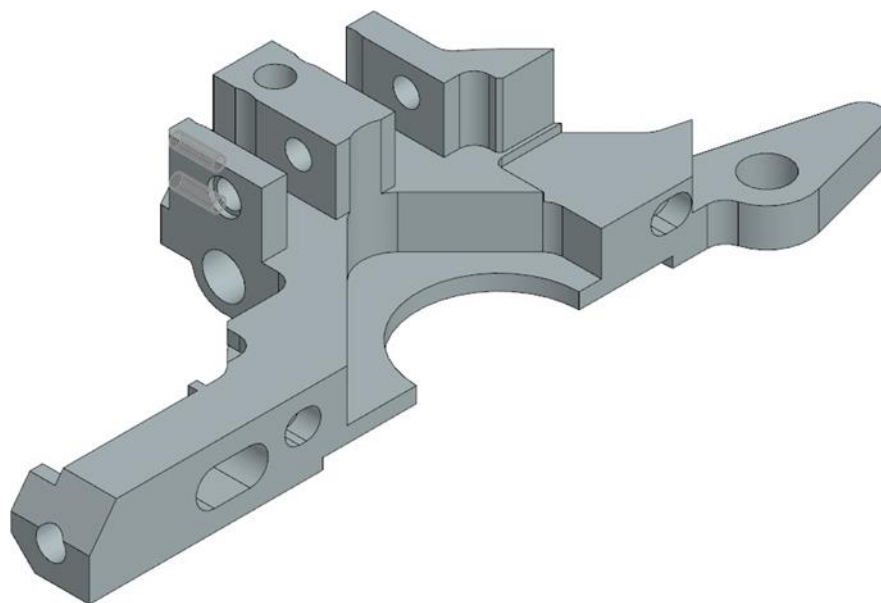


Рисунок 7 — Общий вид модели.

Визуально выбрана поверхность главного вида, при помощи команды на верхней панели «Ориентация Нормально к...», путём нажатия ЛКМ по выбранному виду получен вид на деталь рисунок 8.

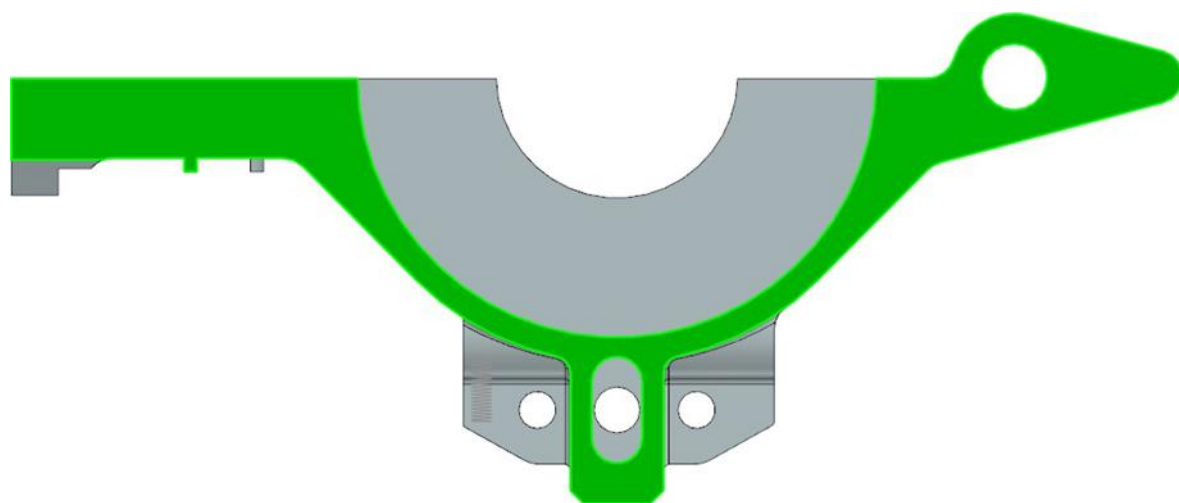


Рисунок 8— Поверхность главного вида модели.

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000

Лист

27

Создали разрезы и сечения при помощи команды «Линия разреза сечения» рисунок 9 по предварительно выставленной вспомогательной линии создаём разрез рисунок 10

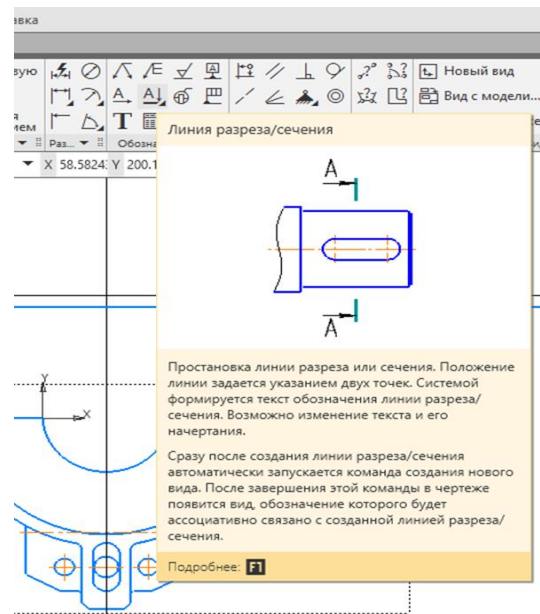


Рисунок 9— Линия разреза

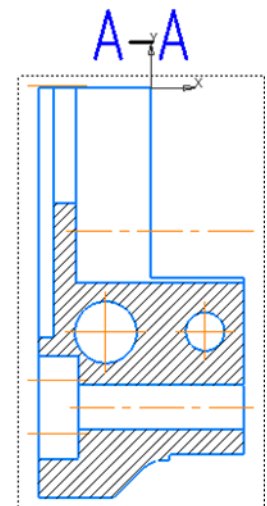
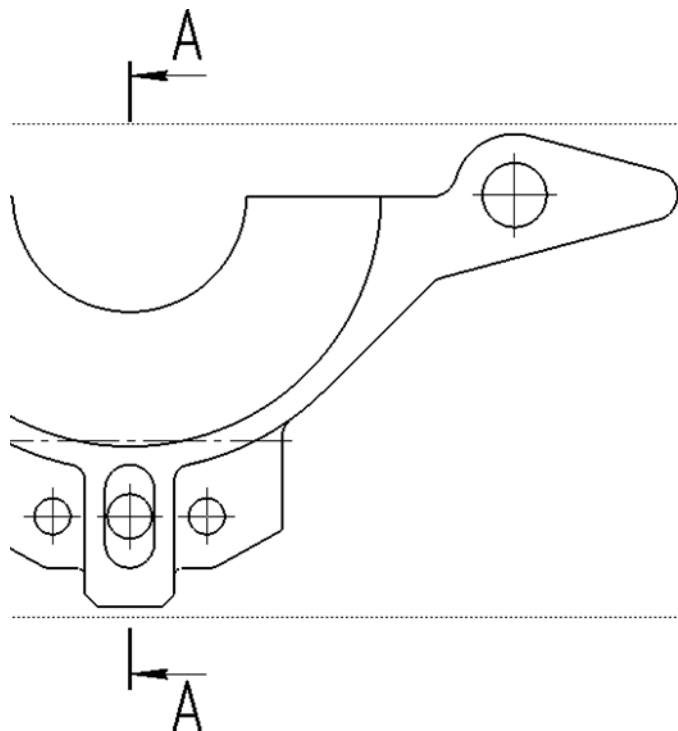


Рисунок 10 — Вид разреза

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000

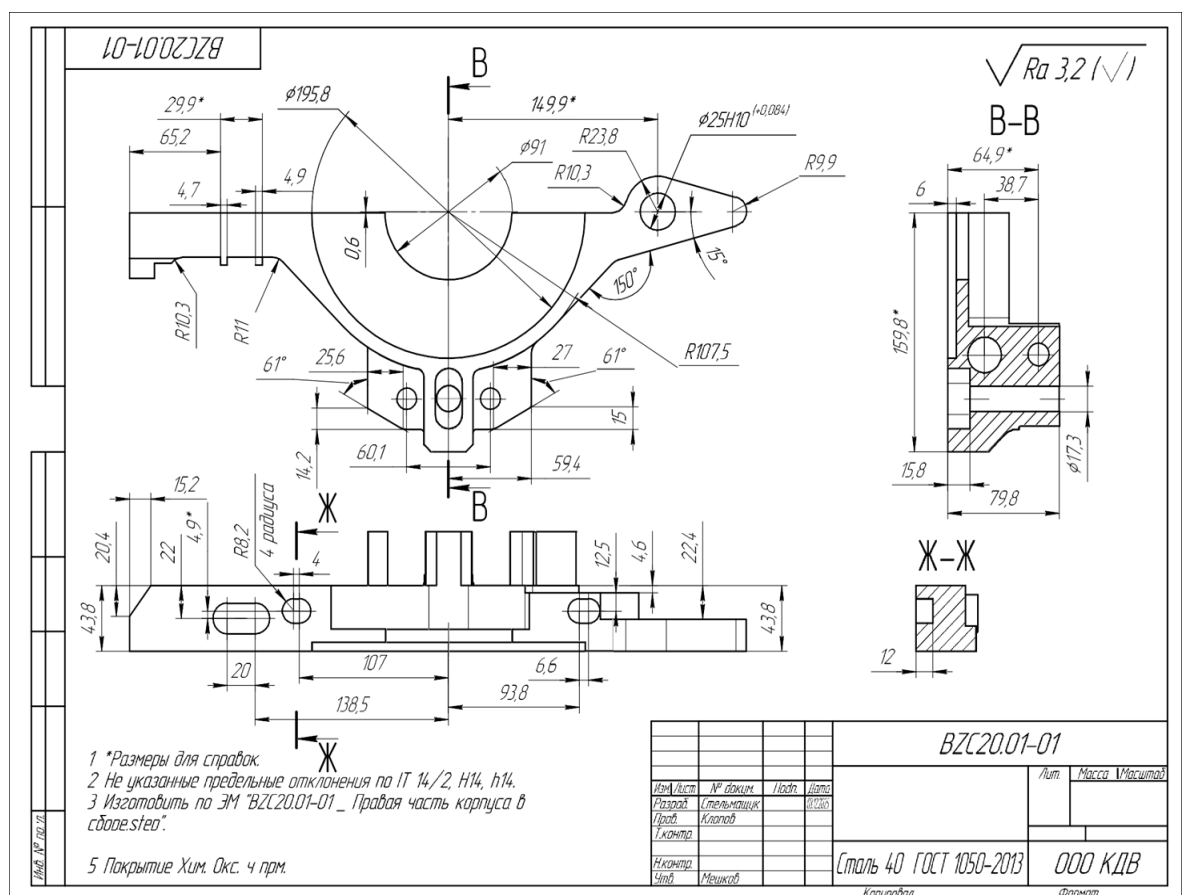
Лист

28

После написания технических требований, задания материала изделия, выбора главного вида, создали другие виды и проставили размеры, допуски, шероховатости в соответствии с документом ЕСКД по «ГОСТ Р 2.106 2019».

Так как оригинал детали на всех поверхностях имел значение шероховатости, подходящее под значение Ra 3,2 в документации к изделию, задали идентичное значение. Оригиналы документов конструкторской документации приложены в приложении 1.

Приложение 1

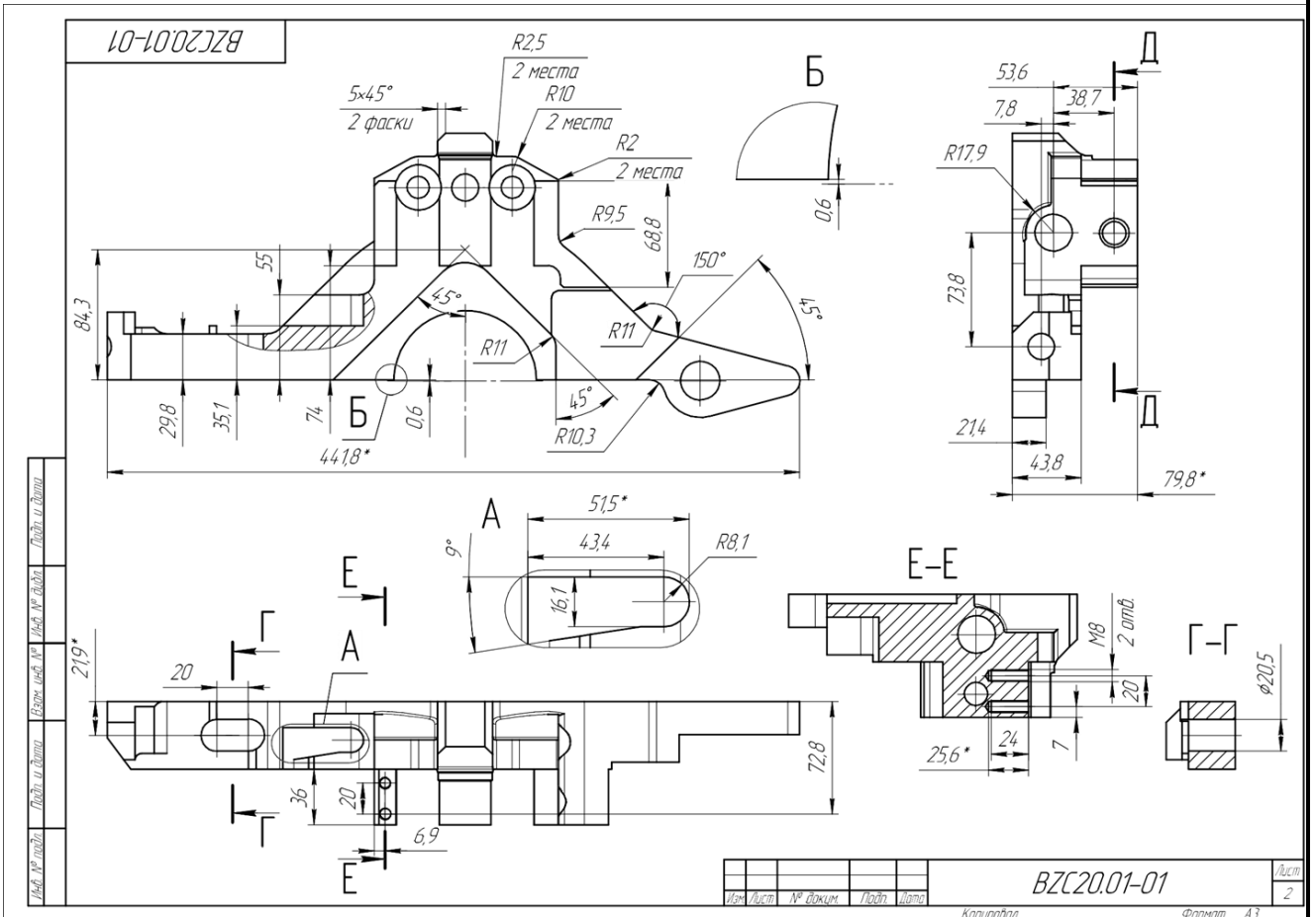


Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000

Лист

29

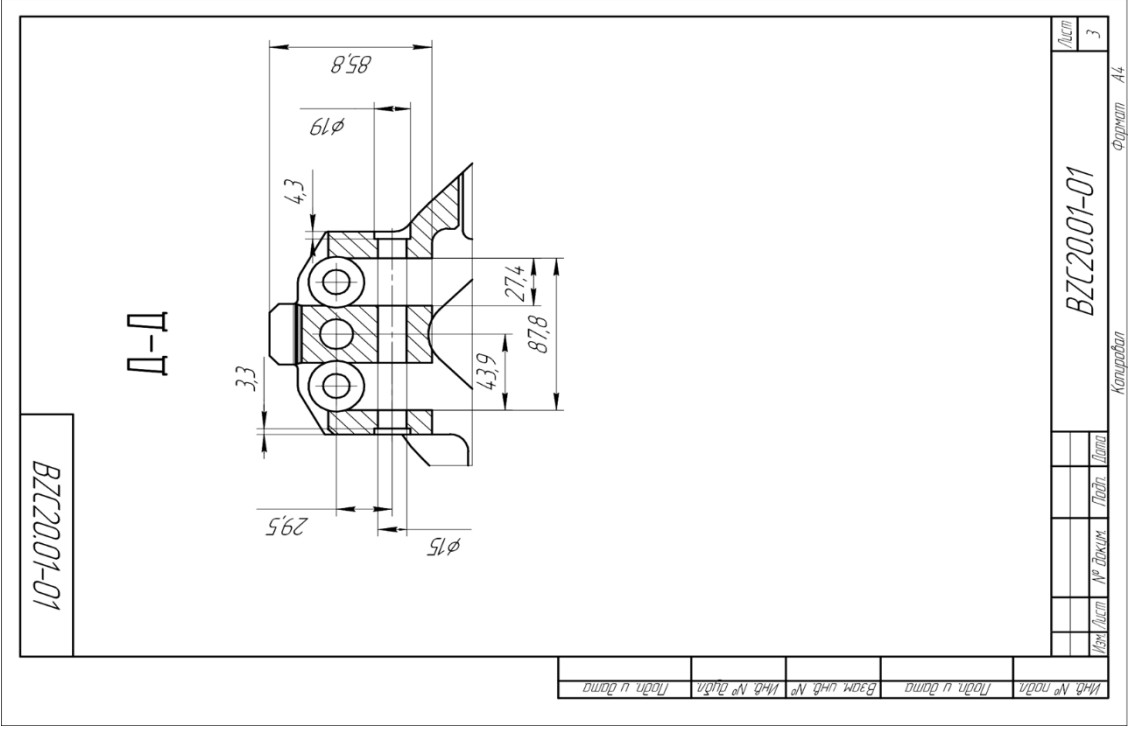


Изм. № Изм. Лист и дата Изм. № Изм. Лист и дата Изм. № Изм. Лист и дата

				BZC20.01-01		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Копировал	Формат А3
						2

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000



BZC2001-01

A-A

Изм. №	Лист	№ документа	Формат
	3	BZC2001-01	A4

Изм. №	Лист	№ документа	Формат

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

Заключение

Таким образом, целью проведенного исследования являлся анализ возможности применения технологии 3D-сканирования для разработки конструкторской документации в рамках производственной деятельности компаний, специализирующихся на использовании зарубежных деталей в технологических процессах изготовления конечного продукта на территории Российской Федерации.

В процессе реализации проекта выполнено теоретическое обоснование и представлено решение следующих задач:)

- разработка методики высокоточного лазерного сканирования сканером MMDx100;
- разработка методики обработки облака точек на базе ПО Focus Inspection+Hadhels;
- разработка электронной 3-D модели детали в среде графического редактора NX;
- разработка конструкторской документации детали в среде графического редактора «Компас V23».

Реверс-инжиниринг, также известный как обратное проектирование, представляет собой процесс разработки проекта деталей или изделий при отсутствии чертежей или документации. Созданная при помощи 3D-сканирования цифровая модель CAD позволяет изменить и оптимизировать эти детали, чтобы увеличить их срок службы или добавить дополнительные функции. Этот метод находит применение во множестве отраслей промышленности, включая производство военной техники или космических аппаратов.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		32

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Начальник отдела ОНиПКРС


(подпись) Е.М. Димитриади

« 03 » 06 20 26 г.

И.о. проректора по научной
работе


(подпись) А.В. Космынин

« 03 » 06 20 26 г.

Декан ФКС


(подпись) Н.В. Гринкруг

АКТ

о приемке в эксплуатацию проекта
«Разработка технологии реверс-инжиниринга деталей на базе метода
высокоточного лазерного сканирования»

г. Комсомольск-на-Амуре

« 03 » май 2026г.

Комиссия в составе представителей:

со стороны заказчика

- В.И. Зайков – руководитель СКПБ,
- Н.В. Гринкруг – декана ФКС

со стороны исполнителя

- В.И. Зайков – руководителя проекта,
- В.С. Стельмащюк, гр. ЗМРБ-1


Ответственный исполнитель проекта

Составила акт о нижеследующем:

«Исполнитель» передает проект «Разработка технологии реверс-инжиниринга деталей на базе метода высокоточного лазерного сканирования», в составе:

- Паспорт (техническое описание) проекта

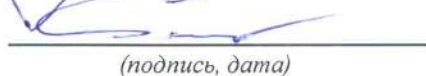
Руководитель проекта



(подпись, дата)

В.И. Зайков

Исполнитель проекта



(подпись, дата)

В.С. Стельмашук