

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение  
 Отделение контроля и диагностики

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка лазерной установки для 3-D сканирования
УДК 621.37386:004.352.2:004.925.84

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ72	Кожевников Владислав Викторович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Федоров Евгений Михайлович	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фадеева Вера Николаевна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Г.В.	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Применять навыки эффективной индивидуальной и командной работы, включая руководство командой, работу по междисциплинарной тематике с учетом этики и корпоративных интересов, в том числе и на иностранном языке.	Требования ФГОС (УК-1, УК-3, УК-4, УК-5, УК-6, ОПК- 1, ОПК-2, ПК-12), CDIO Syllabus (2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 3.1, 3.2, 3.3, 4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.2, п. 2.3, п. 2.4, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю.)
P2	Применять навыки управления разработкой и производством продукции на всех этапах ее жизненного цикла с учетом инновационных рисков коммерциализации проектов, в том числе в нестандартных ситуациях.	Требования ФГОС (УК-1, УК-2, УК-6, ОПК-2, ОПК-3, ПК-6, ПК -8), CDIO Syllabus (2.1, 2.4, 2.5, 3.2, 4.1, 4.2, 4.3, 4.6, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.3, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (29.004 Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов, 40.053 Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса, 40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 29.006 Специалист по проектированию систем в корпусе, 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)
P3	Собирать, хранить, обрабатывать, использовать, представлять и защищать информацию при соблюдении требования информационной безопасности и корпоративной культуры.	Требования ФГОС (УК-5, УК-6, ОПК-1, ПК-1, ПК-3, ПК-4, ПК-9), CDIO Syllabus (1.1, 2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю.
P4	Применять навыки планирования, подготовки, проведения теоретических и экспериментальных исследований, а также представления и интерпретации полученных результатов.	Требования ФГОС (УК-1, УК-2, ОПК-2, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-8, ПК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, п.1.2, п.1.4), CDIO Syllabus (2.1, 2.2, 4.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами)
P5	Разрабатывать нормативную, техническую и методическую документацию в области неразрушающего контроля и измерительной техники.	Требования ФГОС (УК-1, УК-2, ОПК-2, ПК-3, ПК-9, ПК- 11), CDIO Syllabus (1.2, 4.4), Критерий 5 АИОР (п.1.3, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник)
P6	Быть готовым к комплексной профессиональной деятельности при разработке инновационных и эффективных методов и средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (УК-1, УК-2, ОПК-2, ОПК-3, ПК-5, ПК-6, ПК-8, ПК- 10, ПК-11, ПК-13, ПК-14, ПК-15), CDIO Syllabus (1.2, 1.3, 2.3, 4.1, 4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.3, п. 1.4, п.1.5, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (19.016 Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов, 29.004 Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов, 40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции, 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам, 29.006 Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
P7	Разрабатывать и внедрять энерго- и ресурсоэффективные технологические процессы производства приборных систем с использованием высокотехнологичных средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (УК-2, УК-6, ОПК-3, ПК-7, ПК-8, ПК-10. ПК- 11, ПК-12, ПК-14, ПК -15), CDIO Syllabus (1.3, 4.1, 4.2, 4.5. 4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (19.016 Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов, 29.004 Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов, 40.053 Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.04.01 – Приборостроение  
 Отделение контроля и диагностики

**УТВЕРЖДАЮ:**  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Вавилова Г.В.  
 (Подпись)     (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
---

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ72	Кожевников Владислав Викторович

Тема работы:

Разработка лазерной установки для 3-D сканирования	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Лазерный триангуляционный 2-D датчик с ближней границей в 150 мм., диапазоном измерения 200 мм., поворотный стол с шаговым двигателем, щелевой датчик
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор теоретических основ 3-D сканирования</li> <li>2. Разработать структурную схему устройства для 3-D сканирования</li> <li>3. Подбор оборудования для установки по 3-D сканированию</li> <li>4. Изучение программного обеспечения подобранных элементов установки</li> <li>5. Провести эксперименты по сканированию</li> <li>6. Обработать полученные данные для получения проекций</li> </ol>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация Microsoft Office Power Point 2010
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фадеева Вера Николаевна
Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Теоретические основы и примеры технической реализации установок для оптического 3-D сканирования	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Федоров Евгений Михайлович	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ72	Кожевников Владислав Викторович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА**  
**«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И**  
**РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студент:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
1БМ72		Кожевников Владислав Викторович	
<b>Институт</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОКД</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение
<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>			
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих		Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов			
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования			
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>			
1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения		Описание потенциального потребителя, карта рынка, SWOT анализ, определение готовности проекта к коммерциализации	
2. Планирование этапов и выполнения работ по НИР (определение состава работы, определение действующих лиц, установление длительности и трудоемкости работы)		Планирование научно-исследовательских работ, определение целей и результатов проекта, определение действующих лиц, длительности и трудоемкости работ.	
3. Бюджет научного исследования		Расчет материальных затрат научного исследования, составление реестра рисков проекта	
4. Определение ресурсной эффективности		Оценка сравнительной эффективности исследования с аналогами, установление интегрального финансового показателя эффективности, установление интегрального показателя ресурсоэффективности, установление интегрального показателя эффективности разработки и аналогов	
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>			
1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений			
2. Матрица SWOT			
3. Календарный план-график проведения разработки (Диаграмма Ганта)			
4. Реестр рисков			
5. Сравнительная эффективность разработки			
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>			

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
------------------	------------	---------------	----------------	-------------

		<b>степень, звание</b>		
Доцент	Фадеева Вера Николаевна	к.филос.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1БМ72	<b>Кожевников В.В.</b>		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из с. 165, рисунков 101, таблиц 30, приложения 1, источников 28.

Цель данного проекта заключается в создании лазерной установки для 3-D сканирования, для дальнейшего развития лабораторных работ на данной установке.

Исходные данные к работе – лазерный триангуляционный 2-D датчик с ближней границей в 150 мм., диапазоном измерения 200 мм., поворотный стол с шаговым двигателем, щелевой датчик.

Объектом исследования являются методы и средства построения объёмных изображений.

В процессе работы была:

- разработана структурная схема установки для 3-D сканирования.
- подобрано оборудования для установки 3-D сканирования.
- разработан принцип синхронизации датчика и поворотного стола.
- В среде LabView разработано программное обеспечение для восстановления электронной модели сканируемого объекта.
- получены данные, показывающие эффективность применения данного вида датчиков для сканирования объектов мало отражающих материалов, а также данные показывающие влияние смещения угла отражения на отображение данных.
- построены проекции, по полученным координатам отсканированного объекта, в полярных плоскостях.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	13
<b>1. ГЛАВА I ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИМЕРЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ УСТАНОВОК ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО 3-D СКАНИРОВАНИЯ</b> .....	15
1.1 Теоретические основы .....	15
1.1.1 Сфера деятельности .....	16
1.1.2 Методы и технологии трехмерного сканирования .....	19
1.1.3 Способы развёртки .....	23
1.1.4 Пример технической реализации трёхмерного сканирования на основе различных методов .....	25
1.1.5 Программное обеспечение для трёхмерного сканирования .....	32
1.2 Лазерный метод 3-D сканирования .....	33
1.2.1 Принцип работы 3d сканера .....	34
1.2.2 Виды лазерных сканеров и примеры их реализации .....	35
1.2.3 Выбор и обоснование технической реализации установки для 3-D сканирования .....	43
<b>2. ГЛАВА II РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ 3-D СКАНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНОГО 2-D ДАТЧИКА С ПОЛЯРНОЙ РАЗВЕРТКОЙ</b> .....	48
2.1 Разработка структурной схемы установки для 3-D сканирования .....	48
2.2 Выбор 2-D датчика установки для 3-D сканирования .....	49
2.2.1 Обзор лазерных 2-D датчиков .....	51
2.3 Выбор поворотного стола установки для 3-D сканирования .....	64
2.3.1 Типы поворотных столов .....	64
2.3.2 Виды приводов поворотных столов .....	65
2.3.3 Обзор поворотных столов .....	66
2.4 Обеспечение синхронизации датчика и систем позиционирования .....	71
2.4.1 Щелевой оптический датчик .....	72
<b>3. ГЛАВА III ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ</b> .....	75
3.1 Программное обеспечение поворотного стола «Standa» .....	75
3.1.1 Код программы для контроллера “8SMC4-USB” .....	76
3.2 Программное обеспечение лазерного триангуляционного 2-D датчика .....	78
3.3 Программное обеспечение лазерного триангуляционного 1-D датчика .....	79
3.4 Разработка программного обеспечения для визуализации 3-D объектов .....	80
<b>4. ГЛАВА IV ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ</b> .....	84
4.1 Макетирование установки 3-D сканера .....	84

4.2	Постановка эксперимента .....	88
4.3	Построение сечения объекта в среде LabView .....	93
5.	<b>ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ</b> .....	98
6.	<b>СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ</b> .....	125
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	150
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	151
	<b>СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ</b> .....	154
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1</b> .....	155

## ВВЕДЕНИЕ

Сканер — это устройство, с помощью которого можно не просто скопировать изображение, но и создать его «цифровой аналог», то есть занести в память компьютера. Но что делать, если есть необходимость создать «цифровой аналог» не обычной фотографии или рисунка, а объемного предмета, к тому же приличных размеров? [1]

Для этого тоже нужен сканер, но не самый обычный, а 3D сканер, способный проанализировать объект и сразу же создать его модель в столь популярном в последнее время 3D формате. [1]

Работа посвящена разработке установки для 3-D сканирования. В данной работе был раскрыт принцип работы лазерного 2-D датчика и применение его для 3-D сканирования, с использованием поворотного стола и оптрона для синхронизации системы. А также исследовано влияние отражающих объектов на сканирование триангуляционным датчиком.

### *Цели и задачи.*

Цель данного проекта заключается в создании лазерной установки для 3-D сканирования, для дальнейшего развития лабораторных работ на данной установке.

Основные задачи включали в себя изучение работы лазерных датчиков перемещения, тестирование лазерного триангуляционного датчика, подбор элементной базы, а также разработка функциональной схемы установки.

Новизна и практическая значимость данного проекта заключается в популярности вспомогательного оборудования для трехмерной печати. Возможность создания 3-D сканера своими руками, с финансовой поддержкой НИИ ТПУ.

В ходе работы были рассчитаны и подобраны компоненты для установки, проведена оценка современного состояния в данной области и примеры их реализации, более подробно изучен поворотный стол, найден код программы для контроллера, а также по полученным данным с датчика была начата разработка 3D модели в программе LabView.

### *Техническое задание.*

Данная работа посвящена разработке лазерной установки для 3-D сканирования. Установка должна быть представлена в виде стационарного макета, для дальнейшего использования в лабораторных работах. Большое внимание уделено обзору элементов данной установки.

#### *Предельные условия:*

Температура окружающего воздуха - от - 10 до + 40 ° С;

Относительная влажность - до 80 % при 25 ° С;

Атмосферное давление - 150 кПа (нормальное атмосферное давление).

При проведении поверки должны быть соблюдены нормальные условия по ГОСТ 8.395-80.

#### *Технические требования:*

- Рабочие условия эксплуатации от 0 до + 40 ° С
- Разрешающая способность: до 0,1 мкм.;
- Размеры объекта исследования: 0,1\*0,1\*0,1 м.;
- Тип развёртки: полярный метод развёртки;
- Напряжение питания: от 12 до 48 В.;
- Время установления рабочего режима: менее 1 с;
- Время одного измерения: менее 1 с;
- Расстояние до объекта: не более 1 м..

#### *Требования к надёжности:*

Значения показателей безотказности, ремонтпригодности и долговечности устанавливаются по ГОСТ 27883.

Наработка на отказ 10000 часов

Срок службы 5 лет

# **1. ГЛАВА I ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИМЕРЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ УСТАНОВОК ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО 3-D СКАНИРОВАНИЯ**

Глава посвящена техническим основам сканирования, а так же примерам их реализации.

## **1.1 Теоретические основы**

### ***3-D сканеры.***

3-D сканер представляет собой периферийное устройство, способное оцифровывать объемные предметы, отправлять данные на ПК с целью создания полигональной или цифровой модели. Сканер 3-D значительно облегчает измерение сложных объектов пространственной формы.

Во множестве областях современной жизни используют 3-D сканеры. От промышленности до архитектуры, от робототехники до индустрии развлечения. Многие модели 3-D сканеров уникальны и подобных аналогов в создании 3-D моделей объектов исследования нет. Одни упрощают процесс создания 3-D моделей, другие экономят время, третьи упрощают обработку данных. Существуют модели сканеров, которые стараются балансировать между всеми критериями, для дальнейшей обработки в 3-D принтерах. [1]

Объекты исследования можно различить по множеству параметров: как в сфере использования, так и по их внешнему виду, как по технологии, так и по их габаритам. Используют 3-D сканеры как в промышленной, так и в бытовой сферах деятельности. Их применяют в:



Рисунок 1 – Сканирование фасада здания

- инженерии;
- медицине;
- производстве;
- дизайне;
- киноиндустрии;
- сфере создания компьютерных игр. [2]

### 1.1.1 Сфера деятельности

#### *Профилометрия.*

Профилометрия (англ. Profilometry) - процесс измерения («снятия») профиля сечения поверхности в плоскости, перпендикулярной ей и ориентированной в заданном направлении. [3]

#### *Профилометр.*

Профилометр - это измерительный прибор, используемый для измерения профиля поверхности с целью определения ее шероховатости. Критические размеры как шаг, кривизна, плоскостность вычисляются из топографии поверхности.



Рисунок 2 – Профилометр

В то время как историческое понятие профилометра представляло собой устройство, аналогичное фонографу, которое измеряет поверхность по мере ее перемещения относительно стилуса контактного профилометра, это понятие меняется с появлением многочисленных бесконтактных методов профилометрии. [4]

Технологии без сканирования позволяют измерять топографию поверхности в пределах одной камеры, XYZ-сканирование больше не требуется. Как следствие, динамические изменения топографии измеряются в режиме реального времени. Современные профилометры измеряют не только статическую топографию, но и динамическую топографию - такие системы описываются как профилометры с временным разрешением.

### ***Типы профилометров.***

Оптические методы включают методы на основе интерферометрии, такие как цифровая голографическая микроскопия, интерферометрия с

вертикальным сканированием / интерферометрия белого света, фазово-сдвигающая интерферометрия и дифференциально-интерференционная контрастная микроскопия.

Контактные и псевдоконтактные методы включают стилус-профилометр (механический профилометр), атомно-силовую микроскопию и сканирующую туннельную микроскопию. [4]

### ***Контактные профилометры.***

Алмазный стилус перемещается вертикально в контакте с образцом, а затем перемещается в поперечном направлении по образцу на определенное расстояние и заданное контактное усилие. Профилометр может измерять небольшие изменения поверхности в вертикальном смещении стилуса как функцию положения. Типичный профилометр может измерять небольшие вертикальные элементы в диапазоне от 10 нанометров до 1 миллиметра. Высота положения алмазного стилуса генерирует аналоговый сигнал, который преобразуется в цифровой сигнал, сохраняется, анализируется и отображается. Радиус алмазного стилуса варьируется от 20 нанометров до 50 мкм, а горизонтальное разрешение контролируется скоростью сканирования и частотой дискретизации сигнала данных. Сила отслеживания пера может варьироваться от менее 1 до 50 миллиграммов.

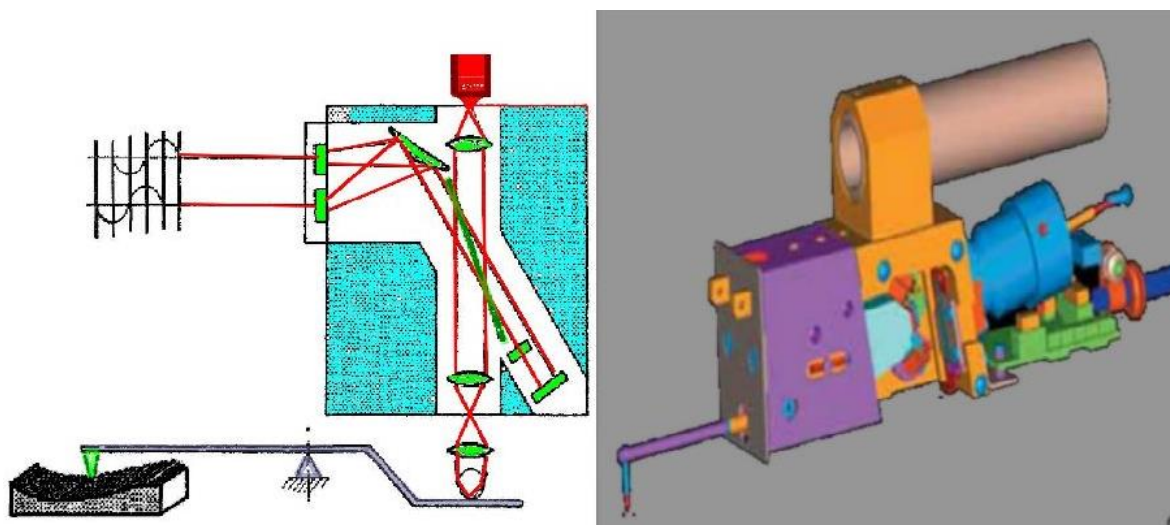


Рисунок 3 – Контактный профилометр

Преимущества контактных профилометров включают прием, независимость от поверхности, разрешение, это прямой метод, не требующий моделирования. Большинство мировых стандартов обработки поверхности написаны для контактных профилометров. Чтобы следовать предписанной методологии, этот тип профилометра часто требуется. Контакт с поверхностью часто является преимуществом в грязных средах, где бесконтактные методы могут привести к измерению поверхностных загрязнений вместо самой поверхности. Поскольку стилус находится в контакте с поверхностью, этот метод не чувствителен к отражающей способности поверхности или цвету. Радиус кончика стилуса может составлять всего 20 нанометров, что значительно лучше, чем при оптическом профилировании белого света. Разрешение по вертикали, как правило, также меньше нанометра. [4]

### 1.1.2 Методы и технологии трехмерного сканирования

Выделяют два основных метода:

#### *Контактный метод.*

Данный способ измерения позволяет сканеру зондировать объект, а благодаря контакту, с физическим объектом, который находится на крайне точной поверочной платформе. Точность контактных 3-D сканеров очень высока. Однако при измерении есть возможность повреждения объекта исследования.



Рисунок 4 – Контактный метод сканирования

### ***Бесконтактный метод.***

В бесконтактном методе применяют излучение ультразвуком, рентгеновским лучом или световым потоком.

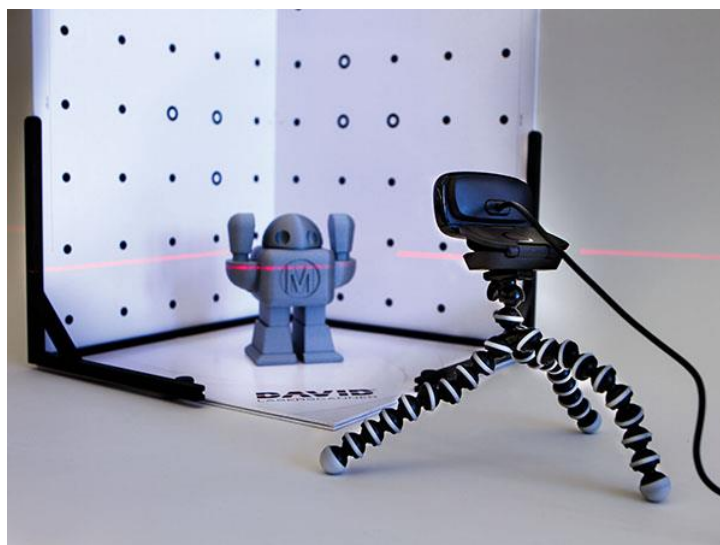


Рисунок 5 – Бесконтактный метод сканирования

Технологии трехмерного сканирования подразделяются на:

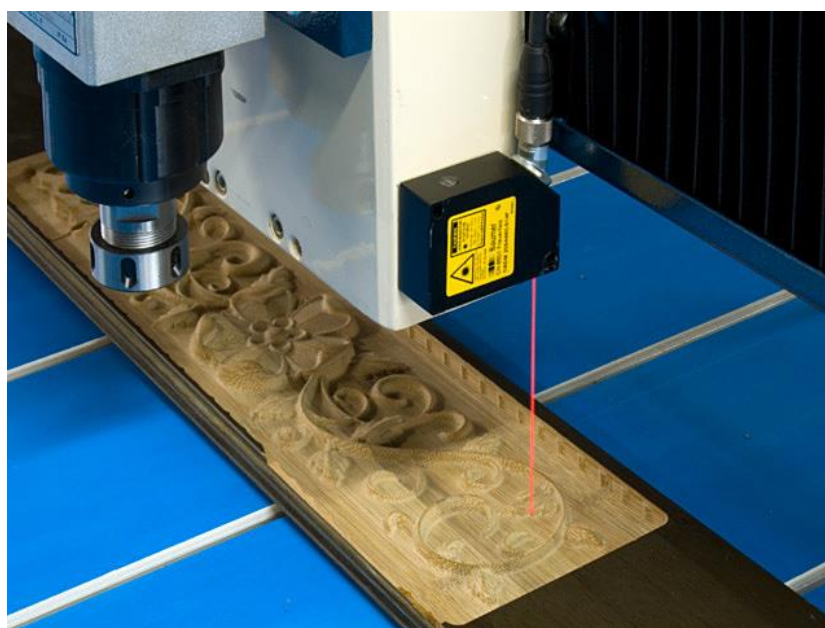


Рисунок 6 – Лазерная технология 1-D сканирования

### ***Лазерная технология сканирования.***

Данная технология сканирования объектов основана на том же принципе что и лазерные дальномеры. Для точного сканирования их не используют в движущихся объектах, а, следовательно, его применяют для

сканирования стационарных объектов или помещений, но не человека. Как говорилось ранее лазерные 3-D сканеры крайне точны при создании трёхмерных моделей.

### ***Оптическая технология сканирования.***

Электронные устройства малых габаритов, в инфракрасном или ультрафиолетовом диапазоне, под влиянием электромагнитного излучения, способные подавать множество или единичные сигналы на выходе, подключенные к управляющей системе для регистрации данных являются «Оптическими датчиками».



Рисунок 7 – Оптическая технология сканирования

Оптической технология 3-D сканирования имеет очень быструю скорость сканирования, а для её применения используют специальные лазеры второго класса безопасности.



Рисунок 8 – Оптические датчики

Данный вид датчиков чаще используется на наличие объекта, а не на его размеры и детали, а, следовательно, данный вид датчиков детального для сканирования объекта не подходит.

### ***Рентгеновская технология сканирования.***

Для получения рентгеновского изображения используют сканеры рентгеновского типа.

Их основная сфера деятельности:

- Безопасность
- Дефектоскопия

Один из подтипов рентгенографии — это медицинский рентгеновский аппарат.

Устройство данного сканера включает в себя:

- источник рентгеновских лучей, чаще всего это рентгеновские трубки или ускорители
- детекторы

Детекторы можно разделить на:

- аналоговые – специальная плёнка
- цифровые – детекторная линейка, матрица, плоскопанельный детектор

Метод обнаружения дефектов в объектах неразрушающего контроля это одна из областей применения рентгеновского сканера. Область применения данного метода:

- металлургия
- нефтегазовая отрасль
- электроника
- пищевая и автомобильная промышленности

Их так же применяют в музейной области, как анализ картин на подлинность и поиск скрытых слоев.

### ***Ультразвуковой 3-D сканер.***

Современный ультразвуковой 3-D сканер крайне полезен в современной сфере медицины. Такой 3-D сканер включает в себя множество дополнительных элементов таких как: импульсные и волновые доплеры, цветными и тканевыми доплеры. Такой сканер имеет высокую разрешающую способность, что позволяет использовать его почти во всех сферах медицины, от акушерства до нанотехнологий. [2]

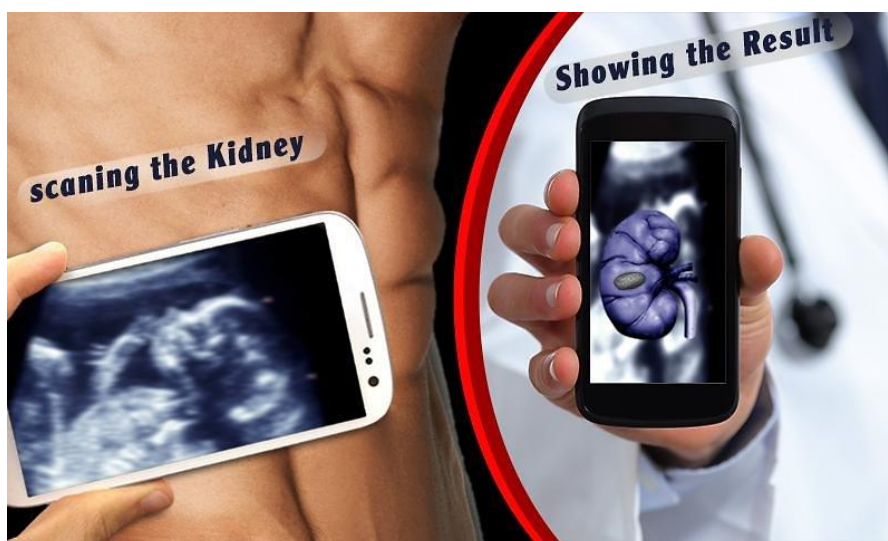


Рисунок 9 – Ультразвуковое 3-D сканирование

### **1.1.3 Способы развёртки**

В 3-D сканерах применяют в основном декартовый и полярные виды развёрток.

#### ***Декартовый метод развёртки.***

Прямоугольная декартовая система координат - это способ получения ортогональных проекций, обладающих обратимостью.

Для нахождения точки или любого объекта исследования в пространстве необходима любая система координат. Декартовая система координат является самой простой системой для поисков положения объекта

в пространстве. Данная система состоит из трёх взаимно перпендикулярных плоскостей. [5]

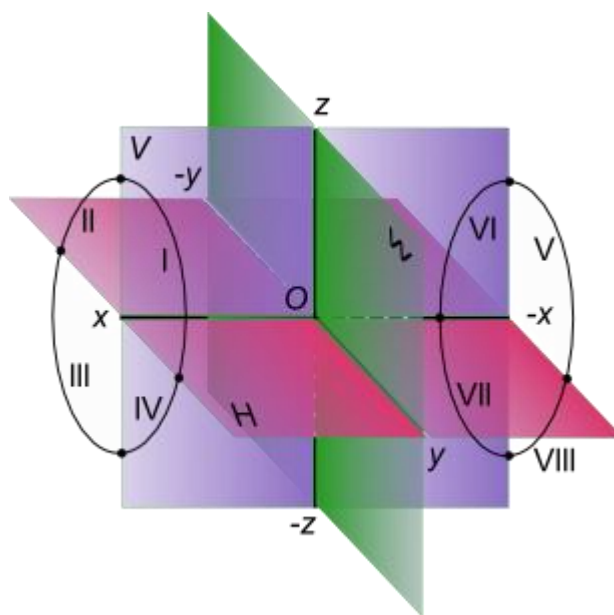


Рисунок 10 – Прямоугольный макет декартовой системы координат

На рисунке выше представлены:

Плоскости H, V и W это горизонтальная, фронтальная и профильная плоскости проекции соответственно.

Оси координат – образуются при пересечении плоскостей проекции:

- ось x – ось абсцисс;
- ось y – ось ординат;
- ось z – ось аппликат.

Точка пересечения O (Origo - начало) осей координат это начало координат.

**Достоинством** такой проекции сканирования является наглядность. **Недостатком** – проецирование на одну плоскость проекций.

Исходя из основного недостатка данного метода, одновременное создание лишь одной проекции на плоскость, для сканирования объекта на установке декартовым методом потребовалось бы сканирование объекта с

четырёх его сторон, что усложнило бы реализацию и значительно замедлило процесс сканирования.

### ***Полярный метод развёртки.***

Полярный метод развёртки, применяется если есть возможность измерить расстояние до исходных точек и горизонтальный угол измеряемый по часовой стрелке. Данное условие выполняется, если имеется прямая видимость между привязываемой и исходной точками, а также если при этом имеется возможность (имеются средства) измерить дирекционный угол на исходную точку с привязываемой и расстояние до исходной точки. [6]

Полярный метод развёртки позволит производить полное сканирование объекта при вращении его по своей оси.

## **1.1.4 Пример технической реализации трёхмерного сканирования на основе различных методов**

### ***Ручные сканеры.***

По принципу работы устройства также отличаются. Кроме стационарных 3-D сканеров существуют и переносные аналоги, известные как ручные 3-D сканеры. В ручных сканерах используют координатно-чувствительный детектор или аппарат с зарядовой связью как сенсор. [2]



Рисунок 11 – Ручной 3-D сканер

Данный агрегат чрезвычайно удобен тем, что его можно свободно перемещать. Портативный 3d сканер идеально подходит для сканирования труднодоступных мест или крупногабаритных объектов. Измерение происходит под различными углами, по оси или под объектом исследования.



Рисунок 12 – 3-D сканер для iPad

Устройства используются совместно с разным оборудованием. Это может быть не только 3-D сканер для 3-D принтера, но и 3-D сканер для iPad. Современные производители подобных агрегатов выпускают мобильные устройства, которые работают не только со стационарными компьютерами, но и с планшетами или даже смартфонами. Кроме этого существуют специальные программы, с помощью которых обычные телефоны превращаются в сканеры. К примеру, можно найти 3-D сканер для андроид. Он поможет конструировать уникальные детали, проводить быстрое прототипирование и оцифровку объектов. [2]



Рисунок 13 – Оцифровка 3-D сканера на андроиде

### ***Размеры и расстояние.***

3-D сканеры имеют множество различных классификаций из-за большого различия назначения и характеристик. Однако можно так же добавить, каждый сканер уникален, и нет абсолютно многозадачного сканера. Одной из основных критериев разделения 3-D сканеров является габариты объекта и расстояние до него:

- Для средне габаритных размеров в расстояние до 100 метров;
- Для крупно габаритных размеров в расстояние до 200 метров;
- Для мелко габаритных размеров в расстояние до 2-3 метров.

### ***Использование в промышленности.***

3-D сканеры используются в промышленности – создание сложных деталей и узлов, например, двигателей, их элементов, кузовов и их элементов и т.д. относительно сложной формы с высокими требованиями по точности (десятки-сотни микрон) и представляющих из себя отдельные объекты (не связанные непосредственно с окружением). Как дополнительное подразделение данного направления – детали типа боковых стенок лифтов или шахт, отличающихся сравнительно простой формой (плоскости), но высокими требованиями по точности. Размеры могут начинаться от 5 сантиметров и доходить до десятков метров. [7]

### ***Использование на производстве.***

Еще одно направление промышленности – цеха и производственные помещения со всей технологической составляющей (станки, трубопроводы, конвейеры) в системе. От 50 до 500м, точность – не точнее 5 мм, чаще всего – сантиметры. Это художественный дизайн, скульптура и элементы архитектуры – изделия типа дизайнерских люстр, деталей интерьера, скульптур, барельефов, элементов лепнины. Здесь присутствуют сложные формы с относительно невысокими требованиями по точности (от 0,5мм до 5мм), размерами от 20-30 см до 3-4 метров.

### ***Использование в архитектуре.***

Объекты – отдельные. Следующее направление - здания, сооружения, строения не производственного назначения, как внутри (съемка помещений), так и снаружи (фасадная съемка). Присутствующие элементы обстановки не всегда важны, может быть важна инфраструктура типа труб, освещения, стоков, люков и т.д. Размеры от 10м (для отдельных комнат) до 200-300м (для «сборок» внутренних помещений или фасадных съемок). Точности – от 5 мм, чаще всего – сантиметры. [7]

### ***Специфическое направление.***

Специфическое направление, ставшее востребованным в последнее время – документирование резервуаров и цистерн (для которых установлены специальные требования по контролю состояния и вместимости, например – Госрезерва). Размеры – от 10 до 100м, точности – 1-2мм. Особый формат выходных данных – т.н. градуировочные таблицы. Еще одно специальное применение, касающееся в-первую очередь, государственных структур – быстрая съемка на местах ДТП и преступлений (криминалистика). Чаще всего съемка участка обстановки на улице либо в помещении, не более 30-40м, высокая точность не нужна, однако необходимо присутствие цвета. Требуется специальный формат выходных данных, особенно при расчете баллистики. [7]

И последнее – «геодезическая» съемка – площадей, улиц, элементов транспортных узлов, а так же карьеров, шахт и выработок. Сотни метров с точностью 1-10 см.

Во-вторых, разделим применение на измерения (сравнение того, что вышло, с чертежом или виртуальной моделью) и обратный инжиниринг (создание при помощи существующего физического объекта виртуальной модели или 2D планов в различных форматах). [7]

### ***Типы используемого оборудования.***

Теперь рассмотрим основные типы оборудования, которые могут обеспечить 3D сканирование с получением облаков точек с координатами XYZ.

Первое. Это мобильные или стационарные координатные измерительные машины (КИМ) с установленными лазерными полосовыми щупами. Это классический тип измерительного оборудования, отличающийся высокой точностью, известностью среди метрологов, возможностью проводить измерения и контактным способом. Мобильные КИМ отличаются от стационарных меньшей точностью, но могут применяться в сложных цеховых условиях, с перепадами температур и брызгами масла, стационарные же для достижения своей высокой точности требуют отдельных специализированных помещений. В качестве примеров таких систем можно рассмотреть мобильные КИМ типа «рука» FARO Edge, Prime, Fusion с устанавливаемыми сканерами FARO LLP или с высокоточными сканерами Kreon Zephyr, и стационарные КИМ портального типа Coord 3 со сканерами Kreon Zephyr или сверхвысокоточными Kreon Aquilon. Так, КИМ типа Hera NT 10-10-7 со сканером Aquilon обеспечивает в лабораторных условиях точность в бесконтактном режиме 7,5-10,5мкм в зависимости от размера детали (указана суммарная погрешность). Цеховая мобильная КИМ типа «рука» FARO Prime 4 со сканером Zephyr II позволит проводить измерения с погрешностью системы в 38мкм, оставаясь достаточно неприхотливой к окружающим условиям. [7]

Второе. Это наземные 3D сканеры. Имеют возможность сканирования всей окружающей обстановки на 360 градусов за несколько минут (в зависимости от настроек и типа сканера от 1 минуты до 1,5 часов, наиболее часто – 1-5 минут). Основные типы – фазовые сканеры (относительно небольшого размера и веса, для быстрого сканирования до 300-350м) и

импульсные (более тяжелые и сложные системы, медленные, но с большой дальностью, до 2км).

Наиболее удобный вариант для архитектурной съемки и съемки промышленных объектов – именно фазовые сканеры за счет сочетания размеров, оптимального диапазона и скорости сканирования. Обеспечиваемая точность – 1-2мм на 10-20м достаточна для такого диапазона. Сейчас самыми малыми размерами и весом с оптимальными характеристики отличается сканер FARO Focus 3D. Модель FARO Focus X330 обеспечивает измерения на дальности до 330 метров как при полной темноте, так и на солнечном свете, и точность - +/- 2мм на 25м. При этом встроенная беспараллаксная камера позволяет автоматически наложить на полученные облака точек данные о цвете. Указанный сканер так же – самый доступный из сканеров подобного типа и диапазона на рынке на сегодняшний момент (2013г.). [7]

Третье. Мобильные ручные автономные сканеры с использованием принципа структурированного света. Сканирование происходит путем проецирования видимой или невидимой «сетки» на объект и съемки ее отображения на объекте камерой, установленной под определенным углом к проектору. Диапазон света – инфракрасный. Диапазон сканирования – по полю – от 20-30 см до 3-4м, технологии «сшивки» кадров позволяют проводить сканирование больших объектов, например автомобилей, станков, трубопроводов и т.п. Точность – от 50мкм до 1-2мм (зависит от способа оценки – по одному кадру или по сведенному 3D изображению).

Все монтируется в одном небольшом блоке, удерживаемом оператором. Автономные модели обеспечивают возможность работы без ПК, компьютер используется только для последующей обработки данных после завершения сканирования. Пример автономного ручного сканера структурированного света – Mantis-Vision F5. Сканер представляет из себя блок с камерой и проектором и блок с мини-ПК для управления и

отслеживания зоны сканирования. Общий вес – менее 4 кг. Сканер позволяет проводить съемку различных объектов без остановки и без подготовки (без расстановки марок). Диапазон сканирования – от 1 до 4 метров с возможностью сшивки данных автоматически. Финальная точность – 1-1,5мм на 1-2м. [7]

В заключении проведем «привязку» существующих типов сканеров и основных вариантов применения.

Составим таблицу согласно вышенаписанным вариантам применения и типам оборудования.

Таблица 1.1

Типы сканеров и варианты их применения

	Сканер на стационарной КИМ	Сканер на мобильной КИМ	Наземный 3D сканер фазового типа	Ручной сканер структурированного света
Промышленность, объекты относительно сложной формы с высокими требованиями по точности	Подходит в полной мере	Подходит в зависимости от точности	Нет	Частично, зависит от объекта и требуемой точности
Детали, отличающиеся сравнительно простой формой (простые геометрические элементы), но высокими требованиями по точности	Применение не оптимально. Контактный способ предпочтительнее.	Применение не оптимально. Контактный способ предпочтительнее.	Нет	Нет
Цеха и производственные помещения с технологической составляющей	Нет	Нет	Подходит в полной мере	Частично, зависит от объекта
Художественный дизайн, скульптура и элементы	Подходит в зависимости от объекта, чаще	Частично, зависит от	Частично, зависит от объекта	Подходит в полной мере

архитектуры	всего точность избыточна	объекта		
Здания, сооружения, строения не производственного назначения, съемка помещений, фасадная съемка	Нет	Нет	Подходит в полной мере	Для отдельных сегментов
Документирование резервуаров и цистерн	Нет	Нет	Подходит в полной мере, со специальным программным обеспечением	Частично, зависит от объекта, со специальным программным обеспечением
Криминалистика и ДТП	Нет	Нет	Да, в полной мере, со специальным программным обеспечением	Частично, зависит от объекта, со специальным программным обеспечением
«Геодезическая» съемка	Нет	Нет	Подходит, при съемке до 300 м	Нет

### 1.1.5 Программное обеспечение для трёхмерного сканирования

Специализированные программы для 3-D сканеров и дальнейшей обработки данных:

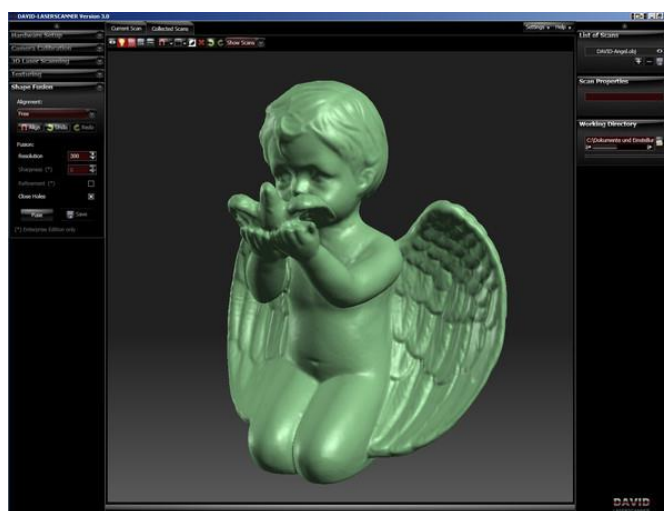


Рисунок 14 – Программное обеспечение David-3D

1. David-3D. Предназначается для трехмерного сканирования предметов и преобразования данных и дальнейшего перемещения моделей в 3D-редакторы. [2]

2. Artec Studio 10. Высококвалифицированная программа для создания объемных моделей.

3. Autodesk 123D Catch. Трехмерное сканирование для мобильных телефонов на Android.

4. Photomodeler Scanner. Позволяет формировать высокоточные stl-модели на основе обычных снимков, сделанных камерой смартфона или планшета.

5. 3DAround. Превращает фото в формате в 2D в реалистичные трехмерные модели. [2]

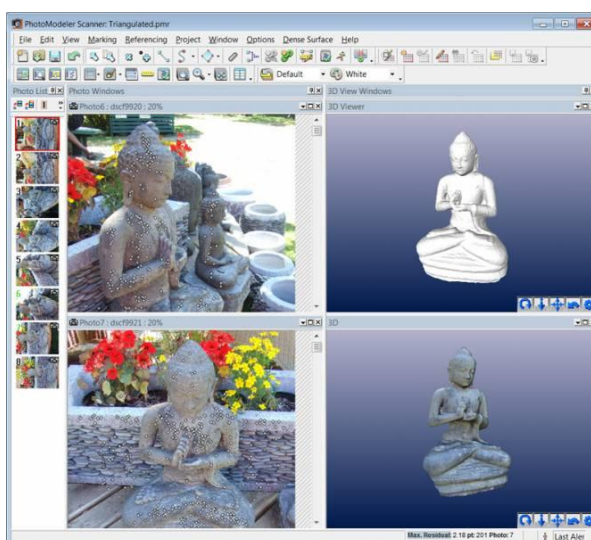


Рисунок 15 – Программное обеспечение Photomodeler Scanner

## 1.2 Лазерный метод 3-D сканирования

Устройство 3-D сканера направлено на изучение детальных физических объектов, и дальнейшее графическое воссоздание детальных моделей в цифровой обработке. Новейшие сканеры так же делаются на мобильные и стационарные. В качестве освещения используют лазеры или особые лампы, использование которых значительно увеличивает точность измерения. [2]

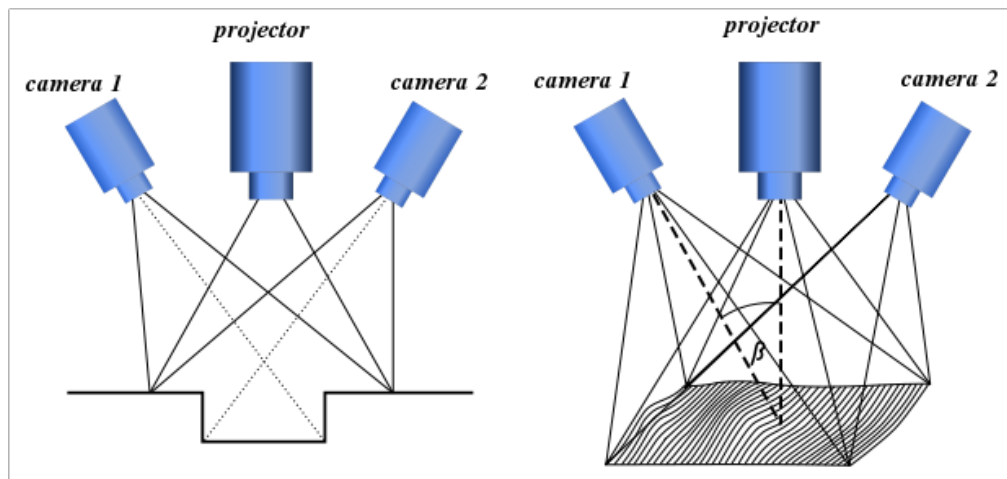


Рисунок 16 – Принцип работы 3-D сканера

### 1.2.1 Принцип работы 3d сканера

Принцип работы 3-D сканеров можно разделить по различным технологиям сканирования. Основан он на технологии подсветки и фиксированных камерах, такая технология позволяет узнать расстояние до объекта под разными ракурсами. Затем сравниваются все картины, полученные с камер и анализируют их для составления цифровой модели. Если 3-D сканер работает на лазерной технологии сканирования, то с помощью замеренных расстояний в заданных точках устанавливают их координаты. Дальнейшая обработка полученных данных на экране позволяет отображать цифровую модель. [2]

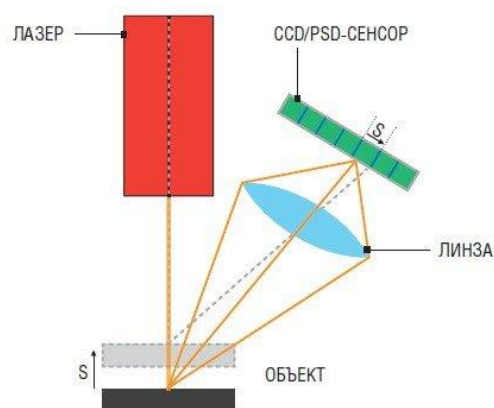


Рисунок 17 – Принцип работы лазерного 3-D сканера

## 1.2.2 Виды лазерных сканеров и примеры их реализации

Лазерные сканеры крайне проблематично классифицировать их между собой по причине большого различия назначения и характеристик. Однако можно так же добавить, каждый сканер уникален, и нет абсолютно многозадачного сканера.

### *“СКИЛ” – 3D сканирование профиля поверхности изделия.*

Научно-производственное предприятие “Призма” выпускает на основе LS2D датчиков собственные 3D сканер – “СКИЛ”.

Сканер СКИЛ предназначен для бесконтактного сканирования профиля поверхности изделия вдоль линии перемещения (направляющей) и получения его 3D-образа. Система с высокой точностью измеряет профиль изделия без механического контакта с ним. Сканер СКИЛ работает одновременно с одним измерительным устройством LS2D. [8]

Система предоставляет графическую визуализацию производимых измерений в реальном времени, позволяет осуществлять коррекцию наклона поверхности измерения к плоскости датчика. В зависимости от требований заказчика система может производить дополнительную цифровую обработку замеров, рассчитывать геометрические характеристики изделия.

Измерения можно проводить последовательно для каждого образца изделия или непрерывно – при интегрировании на конвейерную ленту.

Сканер предназначен для использования в составе линий ОТК промышленных предприятий для автоматической разбраковки изделий на конвейере по геометрическим характеристикам (толщина, кривизна, диаметры отверстий, расстояние между отверстиями и т. д.) или обнаруженным локальным дефектам.

СКИЛ может применяться для лабораторного исследования различных образцов, а так же для задач обратного инжиниринга.



Рисунок 18 – СКИЛ - 3D сканирование профиля поверхности изделия

Измерение профиля поверхности производится при взаимном перемещении изделия и датчика. Если система содержит модуль перемещения, то параметры перемещения (скорость, расстояние) задает пользователь.

При линейном перемещении датчики монтируются на специальной стойке с рельсом, вдоль которого он перемещается с помощью шагового двигателя. При измерении поверхности цилиндрических изделий изделие закрепляется в патрон блока вращения. При интеграции системы на конвейерную линию датчик закрепляется неподвижно, а скорость перемещения может задаваться пользователем или определяться системой СКИЛ с помощью датчика скорости. [8]



Рисунок 19 – Вид получаемого 2D образа

Сканер производит считывание до 1000 сечений в секунду. В каждом сечении получает 480 точек. На основании производимых замеров и данных о перемещении система производит цифровую обработку замеров и рассчитывает координаты трехмерной карты поверхности.

В процессе измерения система предоставляет графическую визуализацию производимых измерений в реальном времени, позволяет осуществлять коррекцию наклона поверхности измерения к плоскости датчика. [8]

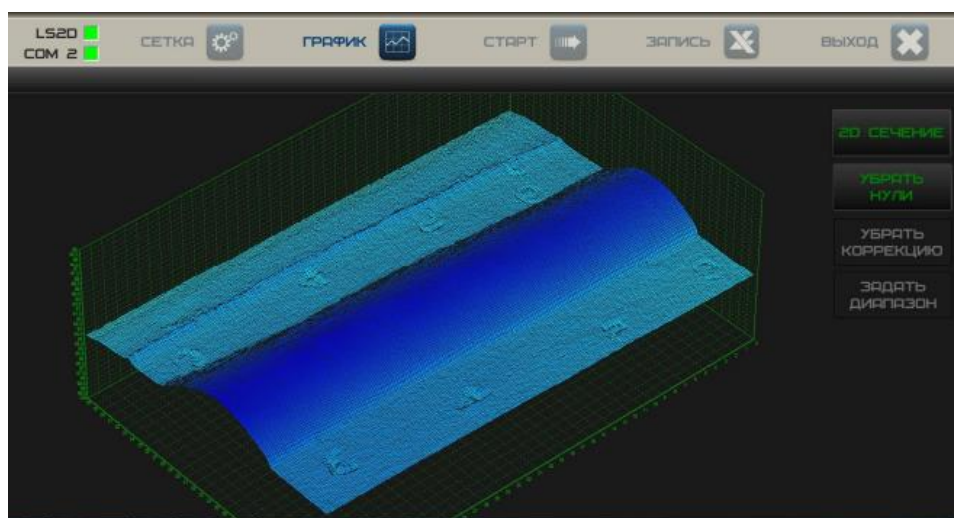


Рисунок 20 – Вид получаемого 3D образа

Таблица 1.2

### Технические характеристики

ИЗМЕРЯЕМЫЕ ОБЪЕКТЫ	
Тела вращения	абразивные круги, валы, диски, шины, втулки, цилиндры
Другие изделия	поковки, отливки, плоская продукция
ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ	
Геометрические	толщина, ширина, длина изделия
Количественные	число изделий (конвейер)
Поиск отверстий, обнаружение локальных дефектов	диаметры отверстий, расстояние между отверстиями, прямолинейность, глубина пазов
ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРЕНИЯ	
Зона измерения, мм	до 2000×500×500
Скорость измерения, сечений/с	1000

Предел относительной погрешности, приведенной к диапазону измерения, %	0,1
Расстояние от объекта до начала диапазона измерения датчиков, мм	50 - 500
<b>УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ</b>	
Диапазон рабочих температур, °С	0 ... +60
Напряжение питания	220 В/50Гц
<b>КОМПЛЕКТАЦИЯ</b>	
Лазерный датчик <u>LS2D</u> , шт	1 или 2
Модуль линейного перемещения, шт	1
Модуль вращательного движения	по заказу
Промышленный компьютер с сенсорным экраном	по заказу
Программное обеспечение	ПО СКИЛ

***СИЛ – конвейерная установка 3D сканирования автомобильных шин.***

От того же научно-производственного предприятия “Призма” изготавливается установка “СИЛ”.

Установка предназначена для использования на предприятиях-производителях шин для выходного контроля геометрических характеристик выпускаемой продукции. [9]

Установка предназначена для сканирования изделий в процессе непрерывного производства, обеспечивая непрерывный контроль на линии ОТК. Система не требует участия человека: полностью автономна, автоматически распознает наличие колеса и проводит сканирование. Производит сканирование в автоматическом режиме более 2000 шин в сутки.

Установка полностью механически и программно совместима с наиболее распространенной в России системой измерения силовой неоднородности шин СИЛ-800 и ее модификациями. [9]

Использование датчиков собственного производства позволяет максимально уменьшить сроки внедрения и стоимость, также позволяет быстро проектировать и изготавливать датчики под конкретную задачу.



Рисунок 21 – Сканирование автомобильной шины

Способ измерения конвейерной установки СИЛ:

Установка позволяет производить полный анализ геометрических характеристик на основе 3D-сканирования поверхности шин:

- диаметр, ширина,
- высота протектора,
- биение протекторной поверхности шины,
- биение боковой поверхности шины,
- наличие и величина дефектов типа «Утяжка» и «Вздутие»
- разбраковка по указанным выше характеристикам.

Установка предназначена для использования на предприятиях-производителях шин для выходного контроля геометрических характеристик выпускаемой продукции.

Производительность – 20 секунд на 1 шину, включая сканирование и анализ результатов. Это позволяет производить сканирование до 2000 шин в сутки.

Принцип измерения конвейерной установки СИЛ:

Шина подается в рабочую зону по цеховому конвейеру, далее манипулятором устанавливается на шпиндель.

В шину подается необходимое давление, начинается вращение, механический привод подводит систему датчиков в зону измерения. [9]

За один период вращения колеса датчики передают в компьютер все отсканированные точки поверхности колеса. Далее программа производит расчет требуемых характеристик и разбраковку шины.

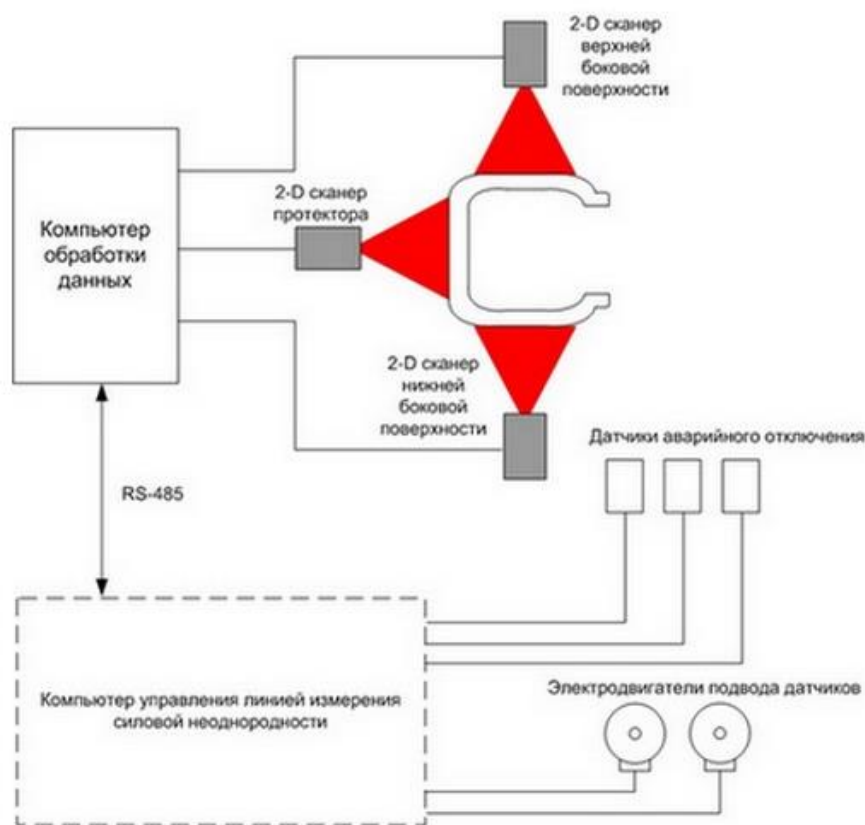


Рисунок 22 – Структурная схема установки СИЛ

По окончании процесса измерения шина подается на выходной конвейер, в рабочую зону поступает следующая шина. [9]

### ***3-D сканер MakerBot Digitizer Desktop.***

Компактный настольный 3D сканер MakerBot Digitizer Desktop отлично подойдет для сканирования небольших, неподвижных объектов. Работает прибор по технологии лазерного 3D сканирования и позволяет получить детальные 3D модели высокого качества. Цифровые данные, полученные в результате работы, требуют минимальной постобработки и подходят для воспроизведения в объеме с помощью 3D принтера. В среднем, 3D

сканирование длится около 12 минут. Этого достаточно для получения точной и качественной 3D модели. [10]



Рисунок 23 – 3D Сканер MakerBot Digitizer Desktop

Этот 3D-сканер подойдет для широкого спектра задач. Его можно применять как в прототипировании, так и для различных инженерных и творческих проектов. 3D сканер MakerBot Digitizer Desktop станет незаменимым помощником в мелкосерийном производстве, на небольших предприятиях, в офисах и мастерских. Также он найдет применение в бытовых и учебных целях. [10]

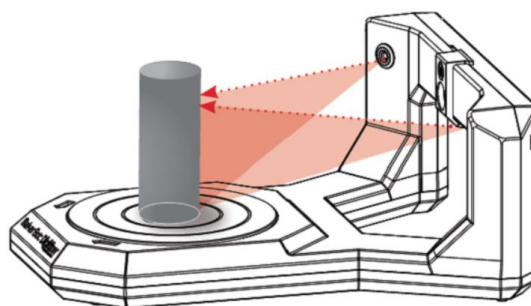


Рисунок 24 – Принцип сканирования

Специфика MakerBot Digitizer Desktop

3D сканер MakerBot Digitizer Desktop отлично подойдет для сканирования:

- Объектов, размером свыше 50x50 мм и до 203x203 мм;
- Объектов, весом до 3 кг;
- Неподвижных объектов;
- Непрозрачных объектов.

Могут возникнуть сложности при сканировании прозрачных, ярких, или отражающих объектов. Также бывает сложно работать с очень темными объектами, и объектами с ворсистой поверхностью.

Таблица 1.3

Технические характеристики

<b>Технология сканирования</b>	Лазерная триангуляция
<b>Материал корпуса</b>	PC ABS
<b>Область сканирования</b>	203×203 мм, цилиндрическая
<b>Рабочая температура окружающей среды</b>	0 – 32 °С
<b>Скорость сканирования</b>	~12 минут
<b>Разрешение деталей</b>	0,5 мм
<b>Точность</b>	±2,0 мм
<b>Интерфейс</b>	USB
<b>Пакет программного обеспечения</b>	MakerBotMakerWare™ for Digitizer
<b>Типы файлов</b>	STL, Thing
<b>Поддерживаемые операционные системы</b>	Windows (7+) Mac OSX (10.7+) Ubuntu Linux (12.04+)
<b>Габаритные размеры</b>	474,5 мм*412,0 мм *203,9 мм
<b>Вес</b>	2,1 кг
<b>Упаковочная коробка</b>	521 (Д) x 244 (В) x 470 (Ш) мм
<b>Энергопотребление</b>	100 – 240 В, ~2 А, 50 – 60 Гц
<b>Требования по мощности</b>	12 В, 2,08 А постоянного тока
<b>Подключение:</b>	USB
<b>Лазеры</b>	2 излучающих лазерных элемента класса 1 (форма излучения — линия)
<b>Сенсор</b>	CMOS видеосенсор с разрешением 1,3 Мп

<b>Центральный подшипник:</b>	Хромовый/хромированный шарикоподшипник с защитной шайбой
<b>Шаговый двигатель</b>	Угол шага 0,9° с делением шага на 16

### **1.2.3 Выбор и обоснование технической реализации установки для 3-D сканирования**

Исходя из изученного материала для выбора метода сканирования пройдемся по общим различиям 3-D сканеров.

#### ***Контактные и бесконтактные.***

Контактные:

Мобильные или стационарные координатные измерительные машины (КИМ) с установленными лазерными полосовыми щупами. Это классический тип измерительного оборудования, отличающийся высокой точностью, известностью среди метрологов, возможностью проводить измерения и контактным способом.

Данный способ измерения позволяет сканеру зондировать объект, а благодаря контакту, с физическим объектом, который находится на крайне точной поверочной платформе. Точность контактных 3-D сканеров очень высока. Однако при измерении есть возможность повреждения объекта исследования.

Возможность повреждения объекта крайне не желательна, а так же в техническом задании указан пункт относительной автоматизации контактный метод нам не подходит.

Бесконтактные:

Бесконтактный метод сканирования можно разделить по методу излучения на: ультразвук, рентгеновский луч и световой поток.

### ***Ультразвук, рентгеновские лучи и оптико-электронный.***

#### **Ультразвук:**

Хоть и существуют как стационарные, так и мобильные ультразвуковые сканеры, и точность некоторых из них может быть очень высокой, однако основное их направление медицина. Техническая реализация их крайне сложна, а, следовательно, для данного устройства этот метод нам не подходит.

#### **Рентгеновские лучи:**

Рентгеновские сканеры направлены на быстрое сканирование и на поиск определённых веществ и объектов, а также имеет негативное воздействие на организм человека при его использовании. Так же данный метод крайне избыточен для данной установки и применяется чаще для интроскопии, поэтому данный метод нам так же не подходит.

#### **Оптико-электронный:**

Сканеры на основе оптико-электронных методах можно разделить на лазерную и оптическую технологии сканирования.

### ***Лазерная и оптическая технология сканирования.***

#### **Оптическая технология сканирования:**

Электронные устройства малых габаритов, в инфракрасном или ультрафиолетовом диапазоне, под влиянием электромагнитного излучения, способные подавать множество или единичные сигналы на выходе, подключенные к управляющей системе для регистрации данных являются «Оптическими датчиками». [11]



Рисунок 25 – Оптические датчики

Оптической технология 3-D сканирования имеет очень быструю скорость сканирования, однако такие устройства не подходят для исследования зеркальных, прозрачных или блестящих изделий.

Данный вид датчиков чаще используется на наличие объекта, а не на его размеры и детали, а, следовательно, данный вид датчиков детального для сканирования объекта не подходит.

Лазерная технология сканирования:

Для точного сканирования их не используют в движущихся объектах, однако его применяют для сканирования стационарных медленно вращающихся объектов. Как говорилось ранее лазерные 3-D сканеры крайне точны при создании трёхмерных моделей на расстоянии до нескольких метров.

Отсюда делаем вывод, что лазерный сканер больше всего подходит для нашей установки.

### ***1-D и 2-D триангуляционные датчики.***

Лазерные 1-D датчики

На рисунке 26 представлено следующее:

На объект 6 направлен излучатель полупроводникового лазер 1 через фокусирующий объектив 2. На CCD – линейку 4 попадает рассеянное, при помощи объектива, излучение. Для расчёта расстояния до объекта

используется сигнальный процессор 5, который проводит расчёт по положению светового пятна исходя из полученного изображения на линейке 4. [12]

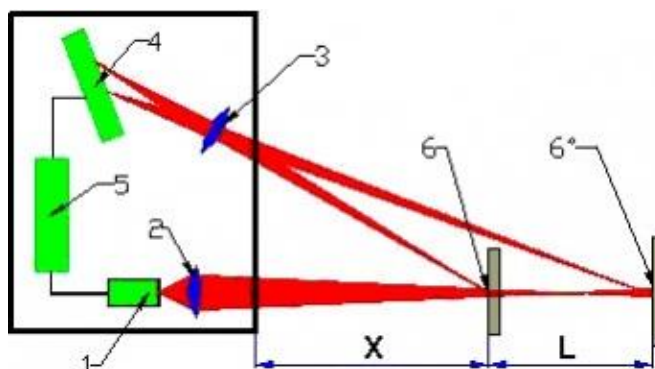


Рисунок 26 – Схема принципа работы оптической триангуляции

Данный вид лазерного датчика не подходит для данной установке, по причине использования большого количества датчиков данного типа для 3-D сканирования объекта, либо длительного процесса сканирования одним датчиком, путём смещения датчика по всей высоте объекта сканирования.

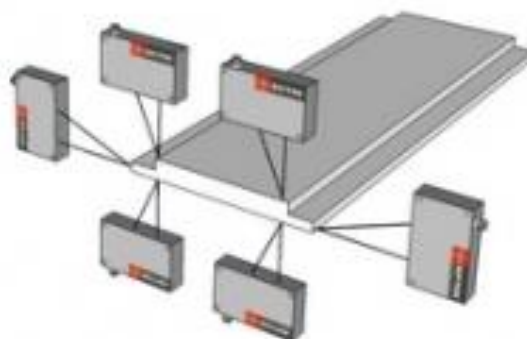


Рисунок 27 – Полное сканирование объекта 1-D датчиками

#### Лазерные 2-D датчики

Лазерный 2-D датчик основан на том же принципе, что и 1-D датчик, но с определёнными отличиями.

Имеющую высокую параллельность пучка лазерный луч, излучаемый из приемника, попадает на поверхность объекта. От объекта, по основному закону отражения: угол падения равен углу отражения, лазерный пучок отражается под тем же углом.

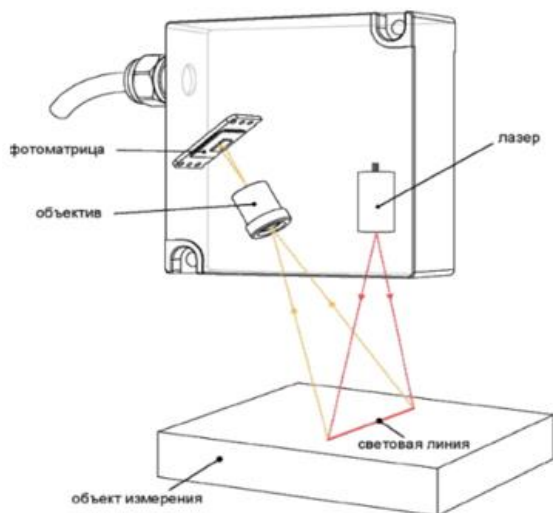


Рисунок 28 – Принцип работы лазерного 2-D датчика

Этот принцип работает и на зеркальных поверхностях, однако расчёт расстояния зеркальных поверхностей проблематичны лазерным датчиком.

Обычно же на объекте исследования присутствует шероховатость поверхности, т.е. состоящие из совокупности множества неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине, на такой поверхности всегда найдется несколько точек для отражения.

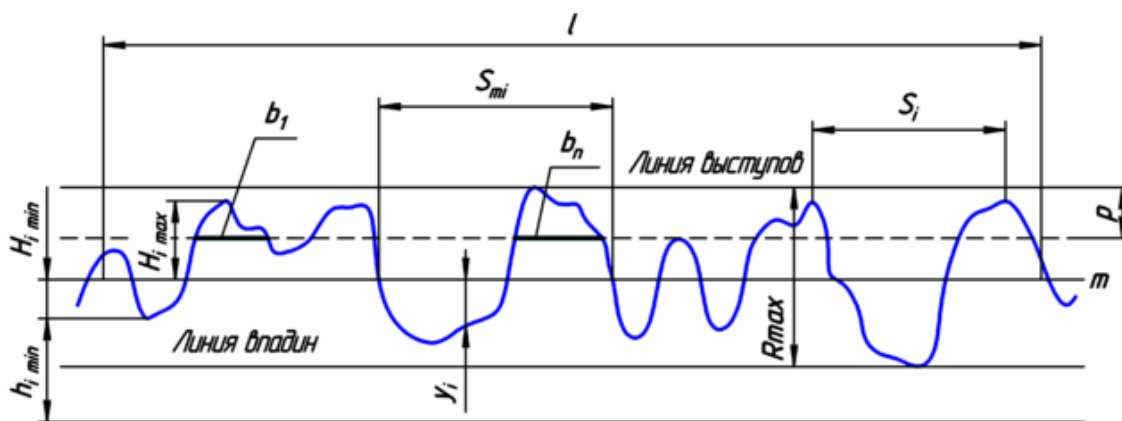


Рисунок 29 – Нормальный профиль и параметры шероховатости поверхности.

Данный вид лазерного датчика больше других подходит для данной установки. А благодаря использованию лазерного 2-D датчика с полярным методом развёртки, позволит проводить полное сканирование объекта за один полный оборот, что значительно сократит время сканирования.

### ***Мобильная и стационарная.***

Исходя из технического задания, разработка должна представлять из себя стационарную установку, для её дальнейшего использования в лаборатории.

### ***Расстояние и размеры объекта.***

Исходя из технического задания нам известно, что изучаемые объекты будут располагаться на расстоянии не более одного метра, а также что сами объекты исследования будут малогабаритными.

В процессе изучения теоретических основ и примеры их реализации была выбрана методика устройства 3-D сканирования на основе лазерного 2-D датчика с полярной разверткой.

## **2. ГЛАВА II РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ 3-D СКАНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНОГО 2-D ДАТЧИКА С ПОЛЯРНОЙ РАЗВЕРТКОЙ**

Глава посвящена разработке структурной схеме установки и обоснованию выбора её элементов.

### **2.1 Разработка структурной схемы установки для 3-D сканирования**

В процессе изучения оценки современного состояния и примеров их реализации была разработана установка и её структурная схема (рис. 30).

Установка состоит из:

- лазерного триангуляционного 2-D датчика;
- поворотного стола с контроллером;
- оптрона (щелевого датчика);
- блока питания (БП);
- персонального компьютера (ПК).

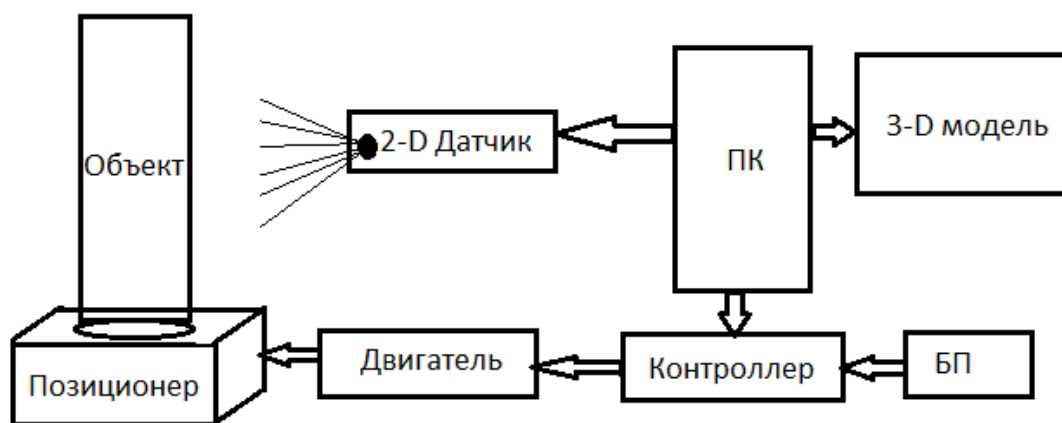


Рисунок 30 – Структурная схема установки для 3-D сканирования

Процесс сканирования объекта исходя из данной структурной схемы будет следующий:

Объект исследования помещается на поворотный стол, поворотный стол для плавного вращения приводиться в действие с помощью шагового двигателя, двигатель находится под управлением контроллером, который можно конфигурировать в процессе сканирования с помощью ПК, 2-D датчик проводит сканирование линии объекта при его повороте на 1 град. Командой для сканирования является строб от щелевого датчика, который в свою очередь срабатывает 2 раза на каждый оборот двигателя, что соответствует одному градусу на поворотном столе.

Таким образом при медленном вращении поворотного стола оптрон будет контролировать моменты сканирования 2-D датчика каждый градус, а по прохождении 360 градусов произведёт полное сканирование объекта.

## 2.2 Выбор 2-D датчика установки для 3-D сканирования

В процессе выбора лазерного сканера чаще всего уделяют особое внимание следующим техническим характеристикам:

- Точность сканирования лазерного датчика;
- Дальность сканирования датчика и его диапазон;
- Время произведения полного 3-D сканирования;

- Ширина поля зрения и его размер обработки;
- Модернизация и возможность интеграции других типов приборов (видеокамерой, GPS-приемником, двоичным датчиком синхронизатором, 3-D принтером)
- Разрешение 3-D лазерного сканирования;
- Наличие интерфейсов для возможности передачи данных на ПК

Таблица 2.1

Фирмы-производители лазерных сканеров и их принципы измерения

<b>Различные виды и принципы их измерения</b>	<b>Максимальное расстояние, м</b>	<b>Точность замеров расстояния, мм</b>	<b>Производители лазерных сканеров</b>
Определения расстояния импульсным методом измерения	49 – 299	10	Riegl, Leuca, Callibus, Trumble, Optech
	до 999	15-22	
Определения расстояния фазовым методом измерения	до 99	10	IQSun, Z+F, Leica, VisImage
Метод оптической триангуляции	до 5	1	Minolta, Призма, Trumble,

Исходя из раздела 1.2.3 «Выбор и обоснование технической реализации установки для 3-D сканирования», для данной установки подходит датчик на основе лазерной технологии сканирования.

## 2.2.1 Обзор лазерных 2-D датчиков

### *Лазерный 2-D сканер фирмы «Riftek».*



Рисунок 31 – Лазерный сканер РФ625

Данные лазерные сканеры предназначены для бесконтактного измерения и контроля профиля поверхности, положения, перемещения, размеров, распознавания технологических объектов и построения 3D моделей. [13]

Технические характеристики сканера фирмы «Riftek»:

Все технические характеристики представлены в ниже следующих таблицах.

Таблица 2.2

Диапазон 2-D лазерный сканер РФ625

Диапазон	MR, мм	SMR, мм	EMR, мм	Xsmr, мм	Xemr, мм	Лазер	Размер, мм	Вес, гр	Версия корпуса
40/5-6/7	5	40	45	6	7	Class 2M	30x88x120	400	Компактная
35/10-10/12	10	35	45	10	12				
55/10-10/11	10	55	65	10	11				
30/25-18/26	25	30	55	18	26				
65/25-17/23	25	65	90	17	23				

<b>55/50-27/45</b>	50	55	105	27	45				
<b>90/50-23/35</b>	50	90	140	23	35				
<b>65/65-29/54</b>	65	65	130	29	54				
<b>75/95-34/67</b>	95	75	170	34	67				
<b>140/110-43/68</b>	110	140	250	43	68	Class 2M или 3B	50x98x144	500	Стандартная
<b>125/200-60/130</b>	200	125	325	60	130				
<b>100/250-75/180</b>	250	100	350	75	180				
<b>140/250-70/155</b>	250	140	390	70	155				
<b>17/6-7/8</b>	6	17	23	7	8	Class 2M	122x52x104	590	Специальная
<b>90/10-9/10</b>	10	90	100	9	10	Class 2M	49x84x162	1000	
<b>240/20-14/16</b>	20	240	260	14	16	Class 2M	50x98x144	1000	
<b>175/250-115/230</b>	250	175	425	115	230	4 W, 808 nm, Class 3B	66x171x235	2000	
<b>165/300-130/240</b>	300	165	465	130	240	Class 2M или 3B	48x106x219	1100	
<b>240/290-200/320</b>	290	240	530	200	320	Class 2M или 3B	50x125x360	3000	
<b>450/650-190/420</b>	650	450	1100	190	420	Class 3B	50x110x300	3000	
<b>425/990-330/960</b>	990	425	1415	330	960	Class 3B	48x198x480	2500	
<b>540/1400-340/980</b>	1400	540	1940	340	980	Class 3B	48x210x415	3000	
<b>1050/165-85/100</b>	165	1050	1215	85	100	Class 3B	598x54x216	3600	

## Технические характеристики РФ625

<b>Быстродействие и точность</b>	
Быстродействие	248 профилей/с в обычном режиме, 491 профилей/с в режиме повышенной частоты
Максимальное быстродействие	1875 профилей/с
Линейность (погрешность), Z ось	$\pm 0.1\%$ от диапазона ( $\pm 0.05\%$ - для сканеров с диапазоном 17/6-7/8)
Линейность (погрешность), X ось	$\pm 0.2\%$ от диапазона
<b>Интерфейс</b>	
Цифровой	Ethernet IPv4
Входы и выходы синхронизации	RS422
Входы синхронизации	до 3 каналов
Выходы синхронизации	до 2 каналов
Напряжение питания	15...30 В
<b>Устойчивость к внешним воздействиям</b>	
Класс защиты	IP67
Уровень вибраций	20 г/10...1000 Гц, 6 часов для каждой из XYZ осей
Ударные нагрузки	30 г/6 мс
Окружающая температура, °С	0...+40, (-20...+40 для датчиков со встроенным нагревателем), (-30...+120 для датчиков со встроенным нагревателем и водяным охлаждением). Примечание: при окружающей температуре ниже -20, сканер после включения прогревается до -20 и затем начинает работать.

Относительная влажность	5-95% (без конденсации)
Температура хранения, °С	-20...+70
Материал корпуса/окон	алюминий/стекло

Принцип работы 2-D сканера фирмы «Riftek»:

В основу работы сканера положен принцип оптической триангуляции.

Излучение полупроводникового лазера формируется в виде линии и проецируется на объект. Рассеянное на объекте излучение объективом собирается на двумерной CMOS-матрице. Полученное изображение контура объекта анализируется сигнальным процессором, который рассчитывает расстояние до объекта (координата  $Z$ ) для каждой из множества точек вдоль лазерной линии на объекте (координата  $X$ ). Сканеры характеризуются началом рабочего диапазона (SMR) по координате  $Z$ , рабочим диапазоном (MR) по координате  $Z$ , рабочим диапазоном по координате  $X$  в начале рабочего диапазона по  $Z$  ( $X_{smr}$ ) и в конце рабочего диапазона по  $Z$  ( $X_{emr}$ ).

[13]

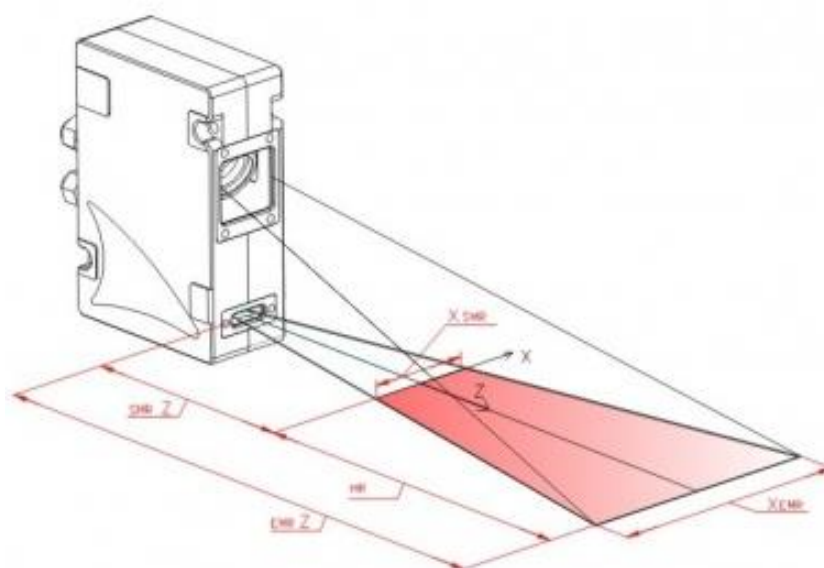


Рисунок 32 – Принцип работы 2-D сканера фирмы «Riftek»

Применение сканера фирмы «Riftek»:

Данный датчик, по мнению производителей, может быть применён в областях, представленных на следующих рисунках:



Рисунок 33 – Сканирование профиля

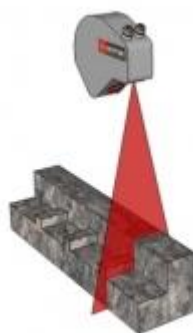


Рисунок 34 – Определение размеров при сканировании



Рисунок 35 – Распознавание объектов при сканировании



Рисунок 36 – Контроль сварочного шва

***Лазерный триангуляционный 2-D датчик фирмы «Призма».***

LS2D – лазерный триангуляционный 2-D датчик (сканер) со встроенной микропроцессорной системой управления.



Рисунок 37 – Лазерный LS2D датчик

Сканеры модели LS2D предназначенные для бесконтактного измерения профиля объекта с рассеивающей поверхностью, ширины, толщины металлопроката, внутренних и внешних диаметров, параметров резьбы, обнаружения локальных дефектов продукции, контроля зазоров, сварных швов, распознавания объектов, построения 3-D моделей, а также для использования в различных измерительных системах. [14]

Принцип работы LS2D датчика фирмы «Призма»:

Излучённый лазером луч, развернутый в идеальную прямую линию, проецируется на поверхность контролируемого объекта.

Световая линия повторяет форму профиля объекта в сечении. Отраженное от объекта изображение световой линии посредством объектива

проецируется на КМОП-фотоматрицу. По координатам изображения на фотоприемнике микропроцессор производит вычисление реальных координат световой линии. [14]

Результаты измерений сканера посредством интерфейса Ethernet передаются на компьютер.

Для получения трехмерной модели формы или поверхности объекта можно использовать перемещение датчика LS2D с учетом точной величины этого перемещения. [14]

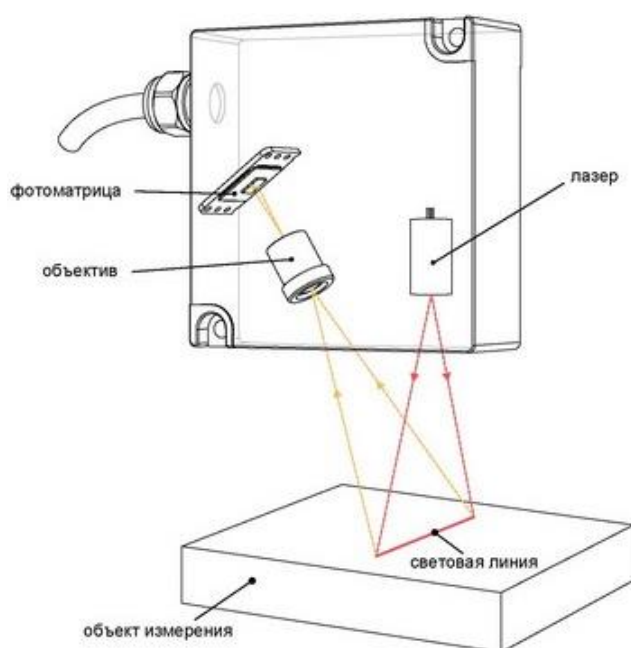


Рисунок 38 – Принцип работы LS2D датчика

В зависимости от поставленной задачи в сканерах применяются красные лазеры с длиной волны 650 нм и синие с длиной волны 405 нм. Применение синих лазеров позволяет использовать сканеры при сильных засветках с большим преобладанием красного спектра (сварка, дневной свет и т.п.). Использование в одной системе сканеров с разной длиной волны позволяет устранить взаимное влияние датчиков друг на друга. [14]

Сканеры могут оснащаться системами обдува окон и воздушного (или водяного) охлаждения. Система обдува окон используется для снятия пыли и других загрязнений с поверхности защитных стёкол. Система

водяного/воздушного охлаждения применяется для увеличения рабочего диапазона температур сканера.

Технические характеристики LS2D датчика фирмы «Призма»:

Все технические характеристики представлены в ниже следующих таблицах.

Таблица 2.4

Характеристики измерения

Диапазон измерений, D, мм	от 1 до 3000
Ближняя граница, M, мм	от 0 до 4000
Ширина сканирующего луча на ближней границе, W1, мм	от 4,5 до 2000
Ширина сканирующего луча на дальней границе W2, мм	от 9 до 2000
Дискретность для сканеров с диапазонами измерений, мм:	
от 2 до 10 мм	0,0001
от 10 до 100 мм	0,001
от 100 до 500 мм	0,01
от 500 до 1000 мм	0,1
от 1000 до 3000 мм	1
Предел относительной погрешности, приведённой к диапазону измерений, %:	0,1 %

Таблица 2.5

Цифровой интерфейс

Интерфейс цифровой	Ethernet 10/100 Мбит/с, два дискретных программируемых выхода с опторазвязкой <sup>1</sup>
Вход синхронизации	логический уровень 5–24 В срабатывание по переднему фронту

Таблица 2.6

## Рабочие характеристики

Номинальное постоянное напряжение питания, В	5 - 40
Потребляемая мощность, не более, Вт	4
Диапазон рабочих температур, °С	от 10 до 35
Время выхода на рабочий режим, мин, не более	5
Время непрерывной работы	не ограничено

Таблица 2.7

## Габариты и корпус

Вес, кг, не более	0,17 (корпус типа S)
	0,4 (корпус типа А)
	0,43 (корпус типа В)
	3 (корпус типа С)
Габаритные размеры, мм, не более	65×45×30 (корпус типа S)
	90×90×30 (корпус типа А)
	130×60×30 (корпус типа В)
	L×110×45 (корпус типа С)
Материал корпуса	сталь, алюминий

К особенностям данного LS2D датчика можно отнести:

- Высокая разрешающая способность (до 0,1 мкм)
- Частота измерений до 500 Гц
- Высокая помехоустойчивость
- Работа с широким спектром поверхностей
- Два дискретных программируемых выхода с опторазвязкой
- Цифровой (Ethernet, RS-485) и аналоговый интерфейсы
- Прочный металлический корпус
- Напряжение питания от 5 до 40 В
- Ближняя граница 150 мм.
- Диапазон измерений 200 мм.
- Ширина сканирующего луча на ближней границе 46 мм.
- Ширина сканирующего луча на дальней границе 109 мм.

Примеры применения LS2D датчика фирмы «Призма» представлены на следующем рисунке:



Рисунок 39 – Способы применения LS2D датчика

Измерение профиля поверхности одним сканером (движущаяся полоса продукции, протяжённые тела, тела вращения) позволяет определять: параметры разнотолщинности в продольном и поперечном направлении, кромку полосы, локальные дефекты, биения, отклонения профиля от нужной геометрии, внутренний и наружный диаметры, качество сварных швов, параметры резьбы и т. д. Для получения полной или частичной трехмерной модели объекта нужно использовать скорость движения объекта, заданную фиксировано или измеряемую динамически. [14]

Непрерывный контроль продукции позволяет непосредственно управлять техническим процессом. Например, можно сортировать изделия, идущие по конвейеру, или динамически корректировать толщину

экструзионных изделий, или учитывать объём сыпучих материалов, движущихся на транспортёрной ленте.

Создание 3-D модели с использованием одного или двух сканеров одновременно позволяет полностью контролировать все допуски, осуществлять поиск и контроль характерных мест (отверстий, щелей, валов), измерять межосевые углы и расстояния и все другие параметры, которые очень сложно или практически невозможно точно контролировать другими механическими средствами измерения. [14]

#### ***Лазерный триангуляционный 1-D датчик LS5 фирмы «Призма».***

Датчик LS5 – оптический датчик положения со встроенной микропроцессорной системой управления.

LS5 позволяет с высокой точностью измерять расстояние до контролируемого объекта без механического контакта с ним. Идеально подходит для промышленных систем контроля геометрических параметров, и параметров, рассчитываемых на их основе. [15]

#### ***Особенности датчика LS5:***

- Высокая разрешающая способность (до 0,1 мкм)
- Частота измерений 1000 Гц
- Высокая помехоустойчивость
- Работа с широким спектром поверхностей
- Два программируемых NPN-выхода
- Цифровой (RS-485/232, Ethernet, CAN) и аналоговый (4–20 мА, 0–20 мА, 0–10 В) интерфейсы
- Прочный металлический корпус
- Напряжение питания от 5 до 32 В
- Ближняя граница 20 мм.
- Диапазон измерения 30мм.

Принцип работы лазерный триангуляционный 1-D датчик LS5 фирмы «Призма»:

В датчиках LS5 используется принцип триангуляции. Лазерный излучатель создает световую метку на поверхности объекта. Изображение световой метки проецируется на линейный КМОП-фотоприёмник. При изменении расстояния от датчика до объекта происходит перемещение изображения световой метки в плоскости фотоприемника. Микропроцессор производит вычисление координат изображения. По координатам изображения точки определяется расстояние до объекта. В процессе измерений производится динамический контроль мощности отраженного света и подавление фоновых засветок. [15]

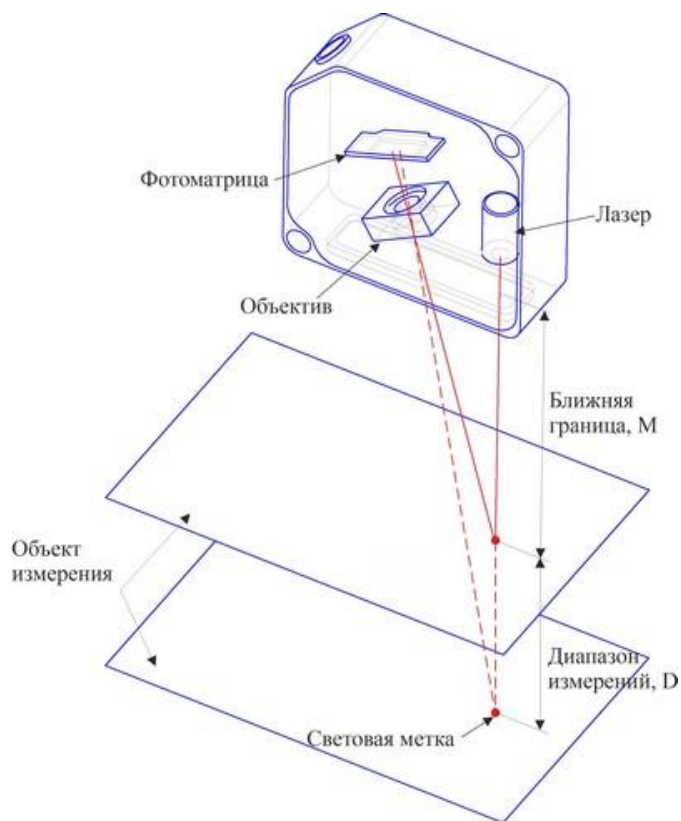


Рисунок 40 – Принцип работы LS5 датчика

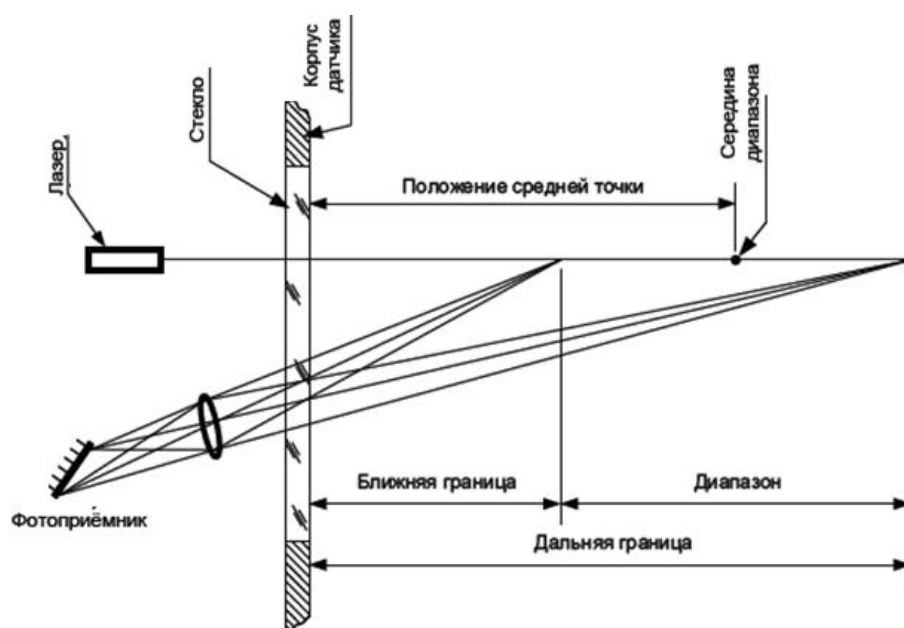


Рисунок 41 – Определение границ измерения

Таблица 2.8

Распайка проводов для подключения датчика

Интерфейс RS232		Интерфейс RS485	Цвет провода
Название выхода	Контакты DB9F	Название выхода	красный
Питание	–	Питание	фиолетовый
Дискретный выход 1	–	Дискретный выход 1	жёлтый
Дискретный выход 2	–	Дискретный выход 2	оранжевый
Аналоговый выход	–	Аналоговый выход	коричневый
Вход внешней синхронизации	–	Вход внешней синхронизации	зелёный
Вход RS232	6	DATA – (B)	синий
Выход RS232	2	DATA + (A)	серый
Общий	5	Общий	чёрный

## 2.3 Выбор поворотного стола установки для 3-D сканирования

Поворотные столы – наиболее часто применяются в качестве транспортирующих механизмов многоместном нестандартном оборудовании для механизации и автоматизации технологических процессов во всех технологических пределах машиностроительного производства.

### 2.3.1 Типы поворотных столов

*Поворотно-наклоняемые.* Может осуществлять поворот заготовки вокруг собственной оси и её наклон на угол от 0 до 90°.



Рисунок 42 – Поворотно-наклоняемый стол

*Поворотный с продольным перемещением.* Применяется при фрезеровании отверстий внутри плоских стальных изделий. Есть модели оснащенные делительным диском для разделения рабочей зоны на функциональные части. [16]

*Поворотные горизонтально-вертикальные столы.* Обеспечивают возможность эффективной обработки заготовок в вертикальном и горизонтальном положениях. Данная конструкция, в частности, широко применяется при круговом фрезеровании и нарезании винтовых канавок.

*Горизонтальный поворотный стол.* Используется для кругового фрезерования, сверления отверстий по окружности и других операций. Наиболее простой и универсальный вариант конструкции. [16]

*Поворотный стол с поперечно-продольным перемещением.* Наиболее технологичный вариант конструкции, значительно повышает возможности станка, особенно при отсутствии собственной системы поперечно-продольного перемещения. Стол имеет возможность полного поворота по основанию, что даёт возможность обработки деталей со сложной конфигурацией, поверхности которой расположены под различными углами по отношению друг к другу. [16]

В данной лазерной установке, для снятия данных полярным методом, нам подойдёт простейший горизонтальный поворотный стол, т.к. на данном этапе разработки нам не требуется перемещение объекта по осям, а лишь его вращение.

### **2.3.2 Виды приводов поворотных столов**

*Механический (электромеханический) привод.* Наиболее распространённый вид привода поворотных столов, благодаря максимальной скорости поворота и высокой точности фиксации. [17]

*Гидравлический привод.* Обладает иными преимуществами нежели механический привод, заключающимися в том, что он с лёгкостью встраивается в цикл работы гидравлического оборудования автоматического действия, и может обеспечить оптимальную компоновку при размещении относительно исполнительного механизма. [17]

*Пневматический привод.* В отличие от гидравлического привода обладает двумя преимуществами: простотой (отсутствием гидростанции) и возможностью развития более высоких скоростей [17]

В связи с отсутствием какого-либо гидравлического оборудования, гидравлический привод в данной установке был бы излишен. Исходя из перечисленных видов приводов более всего, для данной установки, подходит электромеханический привод.

Отсюда следует, что в данной установке нам потребуется горизонтальный поворотный стол с электромеханическим приводом.

### **2.3.3 Обзор поворотных столов**

#### ***Поворотный стол «NORELEM».***

Поворотный стол французской фирмы «NORELEM» под номером 21160, имеет следующие характеристики:

Материал:

- Корпус и поворотный стол из алюминиевого сплава, анодированный.
- Сталь шпинделя, закаленная.

Подшипник шпинделя не требует технического обслуживания. [18]

Исполнение:

- Радиальный зазор оси вращения  $<0,015$  мм.
- Осевой люфт оси вращения  $<0,02$  мм.
- Точность повторения  $<0,05$  °.
- Самостопорение шпинделя.

Примечание:

- регулировка на  $360$  °, без остановки.
- Шкала градуировки составляет 10 ступеней.



Рисунок 43 – Поворотный стол фирмы «NORELEM»

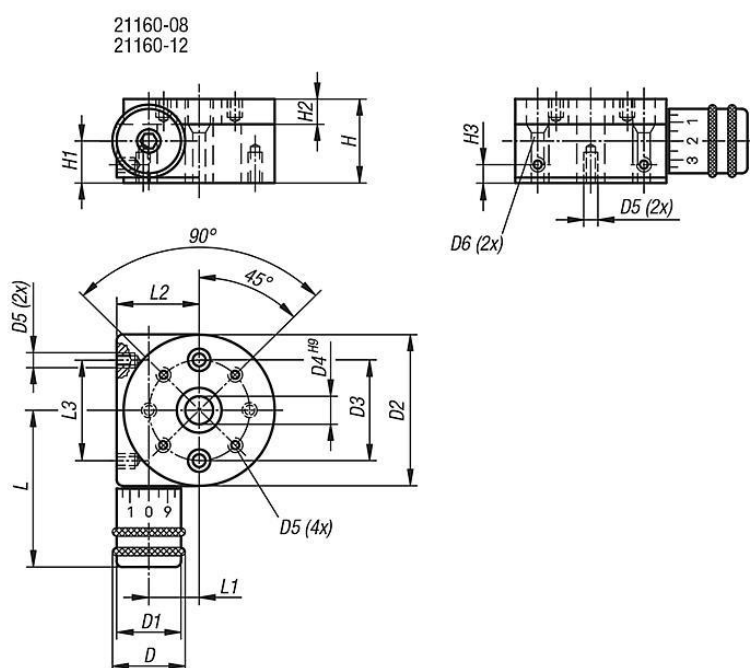


Рисунок 44 – Чертёж габаритных размеров поворотного стола «NORELEM»

### ***Поворотный стол «Standa».***

Поворотный стол Standa включает в себя непосредственно поворотный стол, контроллер “8SMC4-USB” и электродвигатель, а для его автоматизированной работы требуется блока питания (БП) и компьютер (ПК).

Поворотный стол состоит из вращательной платформы с маркировкой по градусам.



Рисунок 45 – Поворотный стол фирмы Standa

Motorized Rotation Stage

8MR191-28

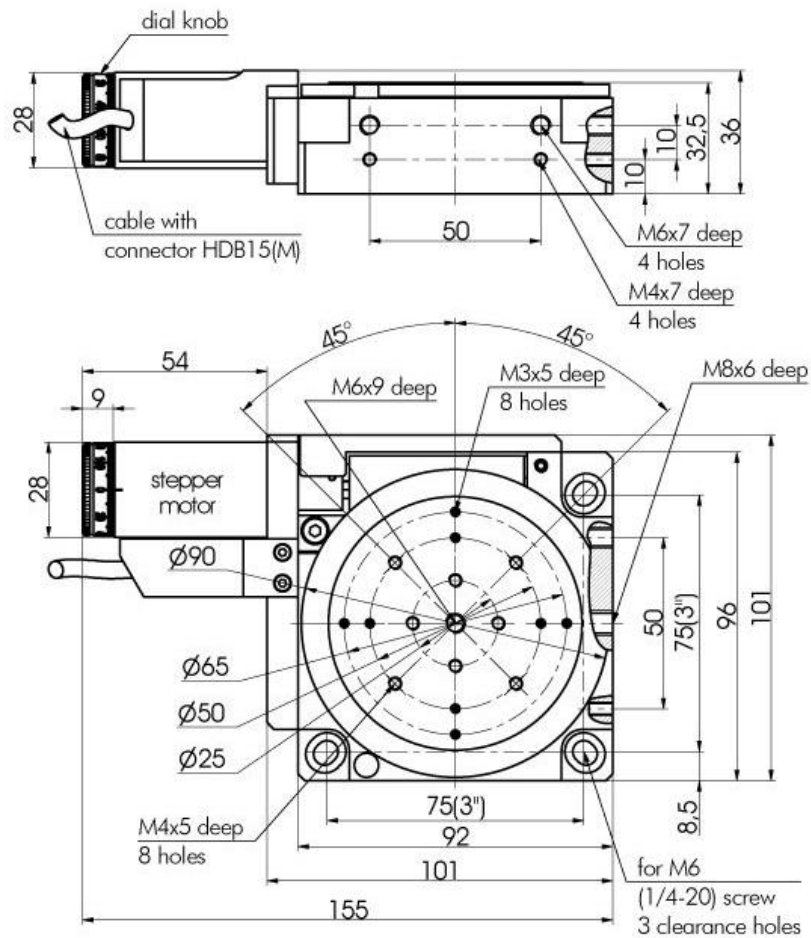


Рисунок 46 – Чертёж габаритных размеров поворотного стола «Standa»

### **Контроллер "8SMC4-USB".**

Компактный контроллер с интерфейсом USB для шаговых двигателей и двигателей постоянного тока с внешним питанием (рис. 16). Единый интерфейс для двигателей любого типа. [20]



Рисунок 47 – Контроллер “8SMC4-USB”

Контроллер может работать с двигателями с током обмотки до 3 А. USB соединение обеспечивает легкость подключения и простоту работы с компьютером. Несколько контроллеров могут быть подключены к одному компьютеру через несколько USB-портов или с помощью специальной объединительной платы, поставляемой в составе многоосных систем. Контроллер совместим практически со всеми операционными системами (Windows, Mac OS X, Linux и т. д.). [20]

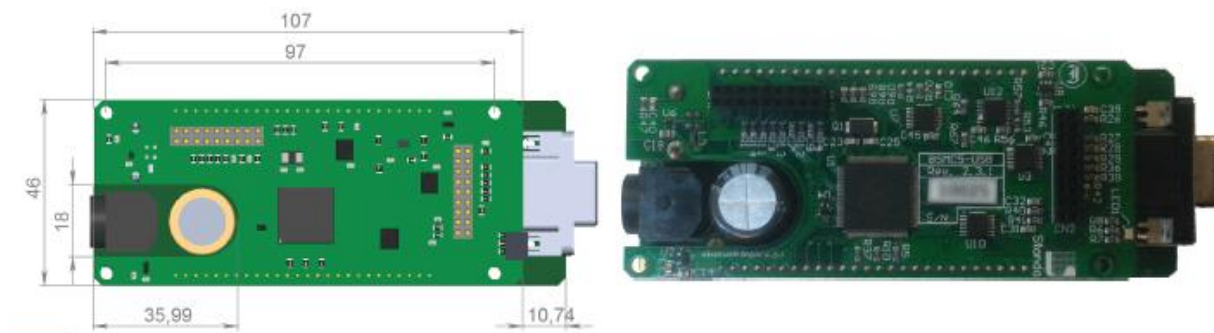


Рисунок 48 – Элементная схема контроллера

### ***Шаговый электродвигатель.***

Требования к электродвигателю

- Тип электродвигателя: биполярный шаговый электродвигатель, двигатель постоянного тока.
- Номинальный ток в обмотке: не менее 100 мА.
- Номинальное напряжение на обмотке: не менее 2 В.

Электрические характеристики контроллера [19]

- Режимы электропитания: от USB и внешнего источника питания.

- Ток в каждой обмотке мотора: до 3 А.
- Максимальная частота следования импульсов с энкодера: 200 кГц.
- Стабилизированный выход 5 В (для питания энкодера и прочей внешней электроники): выходной ток не более 100 мА, стабильность выходного напряжения не хуже 5%.

#### Возможности управления движением [20]

- Режимы деления шага: полношаговый, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128, 1/256.
- Бесшумное движение на малых скоростях.
- Минимальная скорость: 1/256 полного шага/сек.
- Максимальная скорость: до 35 000 полных шагов/сек при всех режимах деления шага.
- Минимальное смещение: 1/256 шага.
- Максимальное смещение: 2 147 483 647 полных шагов при всех режимах деления шага.
- Режим плавного старта/останова.
- Счетчик позиции: 40 бит (32 бит - полный шаг, 8 бит - микрошаг).
- Режимы движения: движение в направлении, движение в заданную точку, смещение на заданную дельту, поддержание заданной скорости, трапецевидный профиль скорости, режим компенсации люфта.

Таблица 2.9

#### Технические характеристики поворотного стола

<b>Ток в обмотке питания, А</b>	не менее 100 мА.
Шаговый двигатель	0.1-3
Двигатель постоянного тока	0.1-6
<b>Источник питания, В</b>	12-48

<b>Режимы деления шага</b>	1-1/256
<b>Максимальная скорость</b>	
Шаговый двигатель	35000 шагов/сек
Двигатель постоянного тока	800000 сч.Энкодера/сек
<b>Разъем двигателя</b>	DB15F
<b>Интерфейс</b>	USB, COM порт
<b>Рабочая температура</b>	До 70°C
<b>Световая индикация</b>	Присутствует
<b>Режимы работы</b>	Движение в направлении, движение в заданную точку, смещение на заданную дельту, поддержание заданной скорости, трапецевидный профиль скорости, режим компенсации люфта, автоматическая калибровка домашней позиции
<b>Профиль скорости</b>	Трапецевидный
<b>Счетчик позиции</b>	40 бит
<b>Обратная связь</b>	Квадротурный энкодер(опционально)
<b>Концевые выключатели</b>	2 шт.
<b>Ширина полосы обратной связи</b>	200 кГц

#### 2.4 Обеспечение синхронизации датчика и систем позиционирования

Электронный прибор, включающий в себя излучатель света и фотоприёмник, связанные между собой оптическим каналом, называют «Оптроном». В качестве излучателя света обычно используется светодиод, а фотоприёмник может состоять из полевых и биполярных фото -диодов, -транзисторов, -резисторов, -тиристоров.

Основной принцип работы оптрона состоит в изменении электрического сигнала в свет и преобразовании его обратно в электрический сигнал, проходя в промежутке по оптическому каналу.

В данной работе оптрон так же будет называться «Щелевым датчиком».

Для обеспечения синхронизации датчика с системой позиционирования в данной установке будет использоваться «Щелевой датчик», мы поместим непрозрачный «лепесток» на вал двигателя поворотного стола. При прохождении «лепестка» на щелевом датчике прерывается сигнал между светодиодом и фотодиодом, благодаря чему на выходе появляется импульс «строб», который следует дважды на каждый оборот двигателя. Исходя из появления строба будет срабатывать команда для сканирования 2-D датчиком объекта, помещённого на поворотном столе и вращающегося с постоянной скоростью. Это соответствует разрешению сканирования в одну линию на каждый градус угла поворота стола. При необходимости количество лепестков можно увеличить и получить разрешение в 1 линию на 0.5, 0.25 градусов или менее.

#### **2.4.1 Щелевой оптический датчик**

В данной установке будет использоваться «Оптрон KTIR0311S», по причине его компактности, который в свою очередь является щелевым оптическим датчиком. [21]



Рисунок 49 – Оптрон KTIR0311S фирмы «Kingbright Electronic»

Технические характеристики оптрона КТІR0311S

Производитель	KINGBRIGHT ELECTRONIC
Тип датчика	оптрон
Напряжение коллектор-эмиттер	35В
Ширина прорези	2.9мм
Ширина диафрагмы	1мм
Вид выхода	транзисторный
Вид оптрона	щелевой с диафрагмой

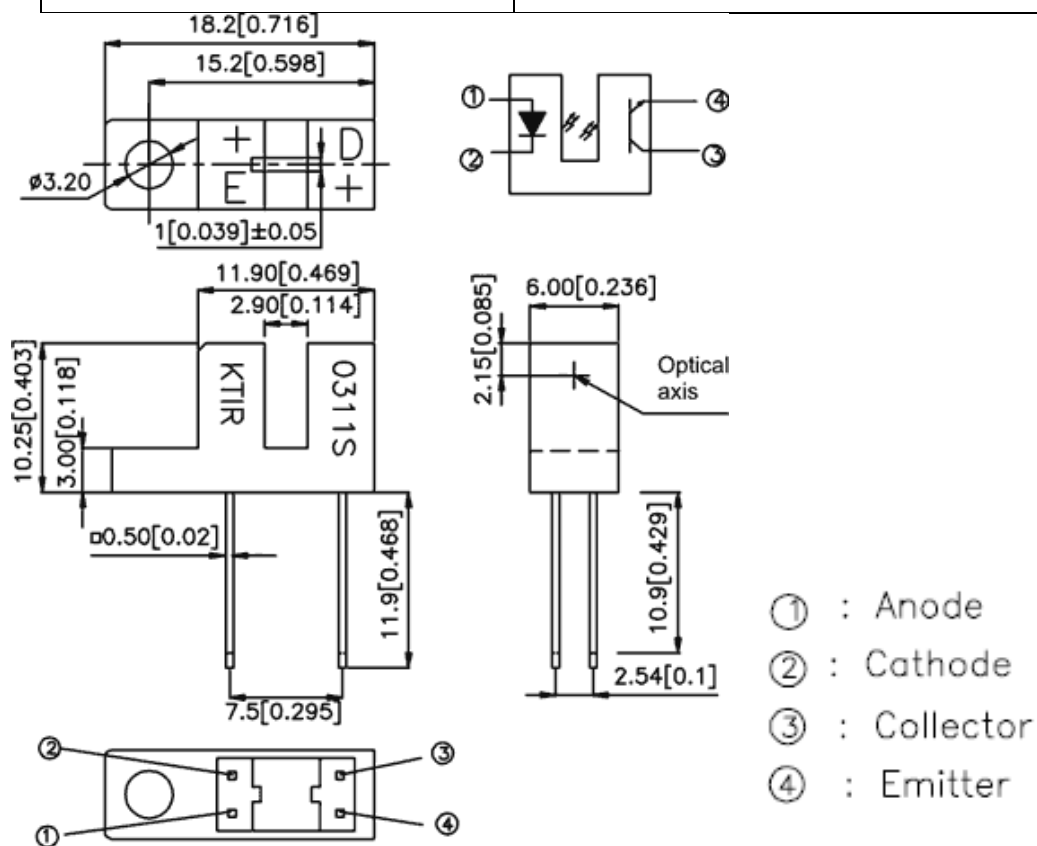


Рисунок 50 – Чертеж габаритных размеров оптрона КТІR0311S

Для стабильной синхронизации лазерного датчика и позиционера, а именно получении ровно 360 импульсов на полный оборот стола, потребовалось добавить в схему подключения щелевого датчика реле коммутации сигнала, для стабильной подачи 12 вольт на выходе сигнала синхронизации.

### 2.4.2 Принципиальная схема синхронизации

В данной принципиальной схеме было использовано «Реле 61G1» фирмы «Omron Corporation» на основе МОП-транзистора (металл-оксид-полупроводник, от англ. *Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor* «MOSFET»). [22]

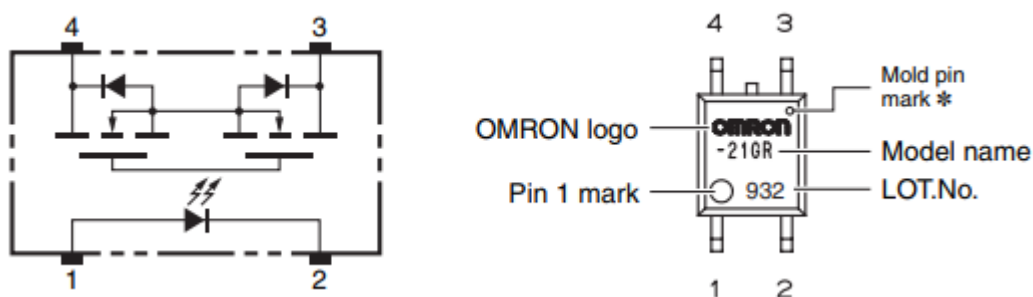


Рисунок 51 – Обозначение реле на схеме

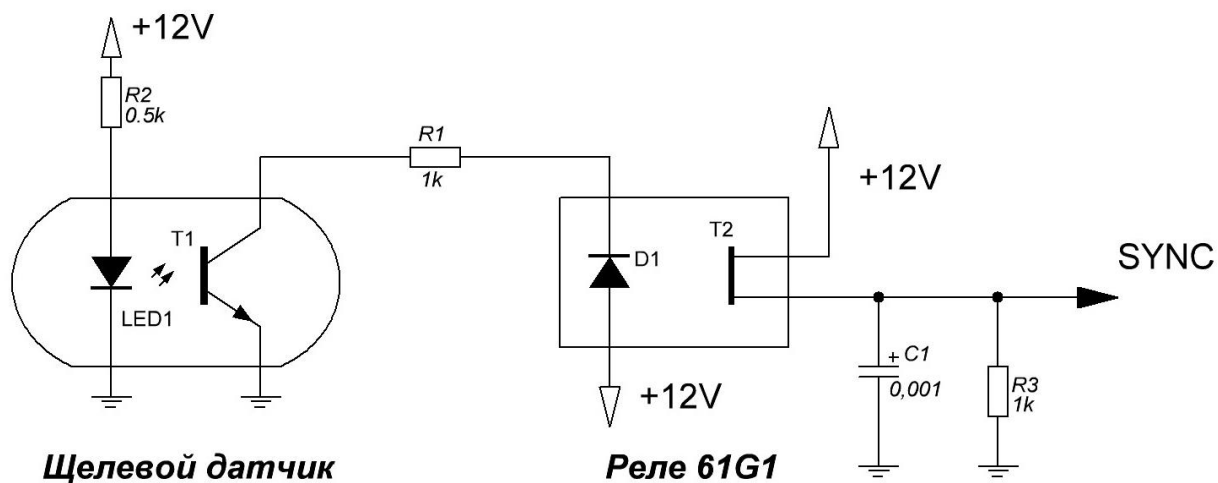


Рисунок 52 – Принципиальная схема подключения щелевого датчика для синхронизации

Подав питание и подключив к осциллографу, схему подключения синхронизации, был получен строб при помещении «лепестка» на щелевой датчик.

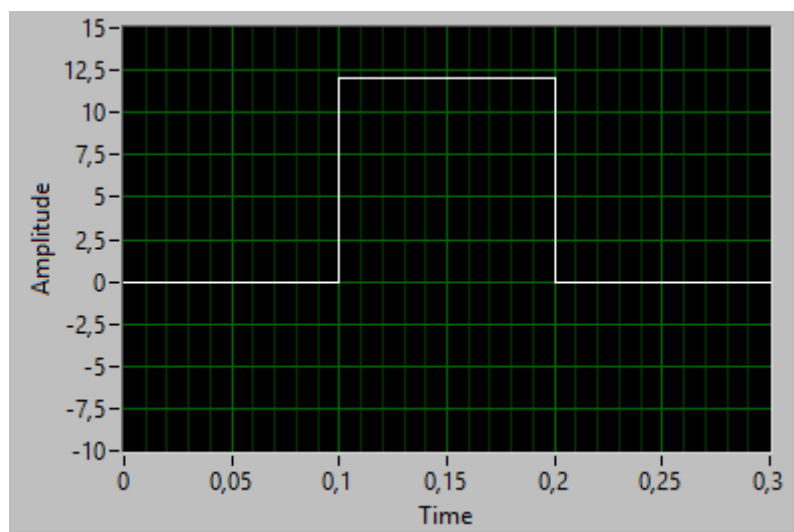


Рисунок 53 – Строб, полученный от щелевого датчика

### **3. ГЛАВА III ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Данная глава посвящена программному обеспечению оборудования установки для 3-D сканирования.

#### **3.1 Программное обеспечение поворотного стола «Standa»**

Для работы с поворотным столом фирмы «Standa» существует программа XILab, которая позволяет контролировать позиционер удалённо с помощью контроллера и компьютера.

Программное обеспечение XILab включает в себя поддержку скриптового языка.

Удобный графический интерфейс позволяет с легкостью управлять поворотным столом, проводить диагностику и настройку систем. Реализован в многоосевом варианте. Программа обеспечивает непрерывное вращение стола или смещение стола на определённый градус.

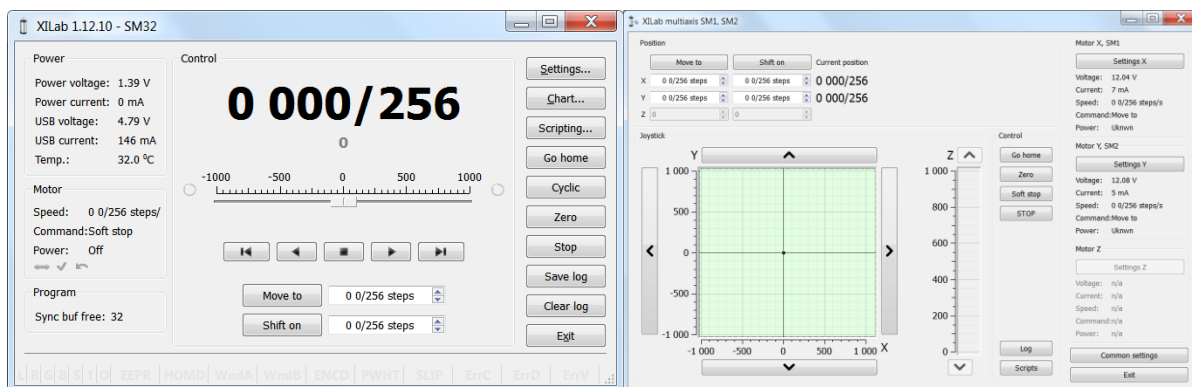


Рисунок 54 – Программа XILab

Программное обеспечение контроллера, совместимо с операционной системой Windows 10,8,7, XP как с 32-бит, так и с 64-бит версиями. В контроллере присутствует кросс-платформенная библиотека для работы на таких языках программирования как: C++, C#, .NET, Delphi, LabVIEW, Visual Basic, Matlab, gcc, Xcode, Java.

Модель 8SMC5B-USB функционально идентична 8SMC5-USB, обладает всеми преимуществами и работает с тем же программным обеспечением, что и новая модель, однако имеет более компактный форм-фактор, такой же как был у предыдущей модели 8SMC4-USB.

### 3.1.1 Код программы для контроллера “8SMC4-USB”

В ходе курсовой работы по “Проектированию микропроцессорных средств измерений” был более подробно изучен поворотный стол фирмы Standa и его контроллер. Так же для данной курсовой работы был найден код программы для контроллера “8SMC4-USB” зашитый в программу XILab.

```

/*
* Cyclic movement script.
*
* Does cyclic movement between two border points with set values of acceleration,
* deceleration and top speed.
*/

var axes = [];
var number_of_axes = 0;
var last_serial = 0;

while (serial = get_next_serial(last_serial)) // Get next serial number and repeat for each axes

```

```

{
axes[number_of_axes] = new_axis(serial);
log("Found axis " + number_of_axes + " with serial number " + serial);
number_of_axes++;
last_serial = serial;
}

for (var i = 0; i < number_of_axes; i++)
{
axis_configure(axes[i]);
}

while (1)
{
for (var i = 0; i < number_of_axes; i++)
{
go_first_border(axes[i]);
go_second_border(axes[i]);
}

msleep(100);
}

function axis_configure(axis)
{
var speed = 1000; // Maximum movement speed in steps / second
var accel = 2000; // Acceleration value in steps / second^2
var decel = 5000; // Deceleration value in steps / second^2

axis.command_stop(); // send STOP command (does immediate stop)
axis.command_zero(); // send ZERO command (sets current position and encoder value to zero)
var m = axis.get_move_settings(); // read movement settings from the controller
m.Speed = speed; // set movement speed
m.Accel = accel; // set acceleration
m.Decel = decel; // set deceleration
axis.set_move_settings(m); // write movement settings into the controller
}

function go_first_border(axis)
{
var first_border = 0; // first border coordinate in steps
var GETS = axis.get_status();

if (!(GETS.MvCmdSts & MVCMD_RUNNING) && (GETS.CurPosition != first_border))
{
axis.command_move(first_border); // move towards one border
}
}

function go_second_border(axis)
{
var second_border = 25000; // second border coordinate in steps
var GETS = axis.get_status();

if (!(GETS.MvCmdSts & MVCMD_RUNNING) && (GETS.CurPosition != second_border))
{
axis.command_move(second_border); // move towards another border
}
}

```

}  
}

### 3.2 Программное обеспечение лазерного триангуляционного 2-D датчика

Для работы с лазерным триангуляционным датчиком LS2D фирмы «Призма» существует программное обеспечение «VitaDev».

VitaDev – программное обеспечение для работы с лазерными сканерами LS2D.

В функции программы входит:

- поиск сканеров и их идентификация;
- прошивка сканеров;
- считывание и запись параметров сканера;
- приём результатов измерения в потоке с одного сканера;
- защёлкивание и считывание изображения со сканера;
- экспорт полученных результатов в текстовый файл.

Для проведения измерений следует перейти на вкладку «ГРАФИК» программы VitaDev.exe

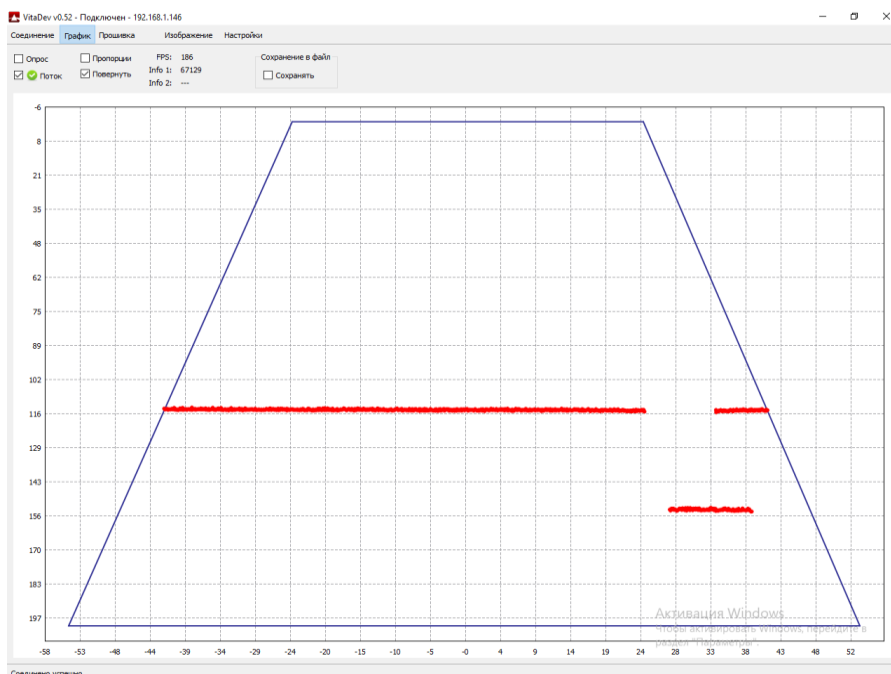


Рисунок 55 – Внешний вид окна программы VitaDev.exe на вкладке «ГРАФИК»

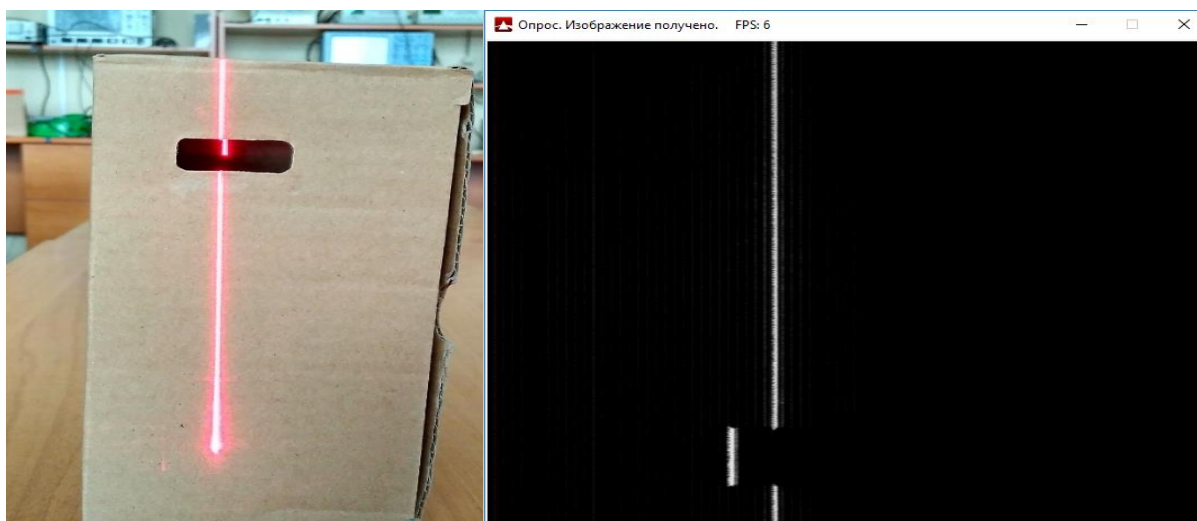


Рисунок 56 – Тестовый объект и его изображение, полученное с помощью программы VitaDev

### 3.3 Программное обеспечение лазерного триангуляционного 1-D датчика

Для работы с лазерным триангуляционным датчиком LS5 фирмы «Призма» существует программное обеспечение «LSvision».

#### *Работа с программой LSvision.*

Программа LSvision предназначена для работы с лазерными триангуляционными датчиками LS5.

В функции программы входит:

- поиск датчиков и их идентификация;
- считывание и запись параметров датчиков;
- приём результатов измерения в потоке с одного датчика;
- считывание «последнего результата» с одного датчика;
- защёлкивание и считывание результата с одного или нескольких датчиков;
- экспорт полученных результатов в текстовый файл или программу Excel.

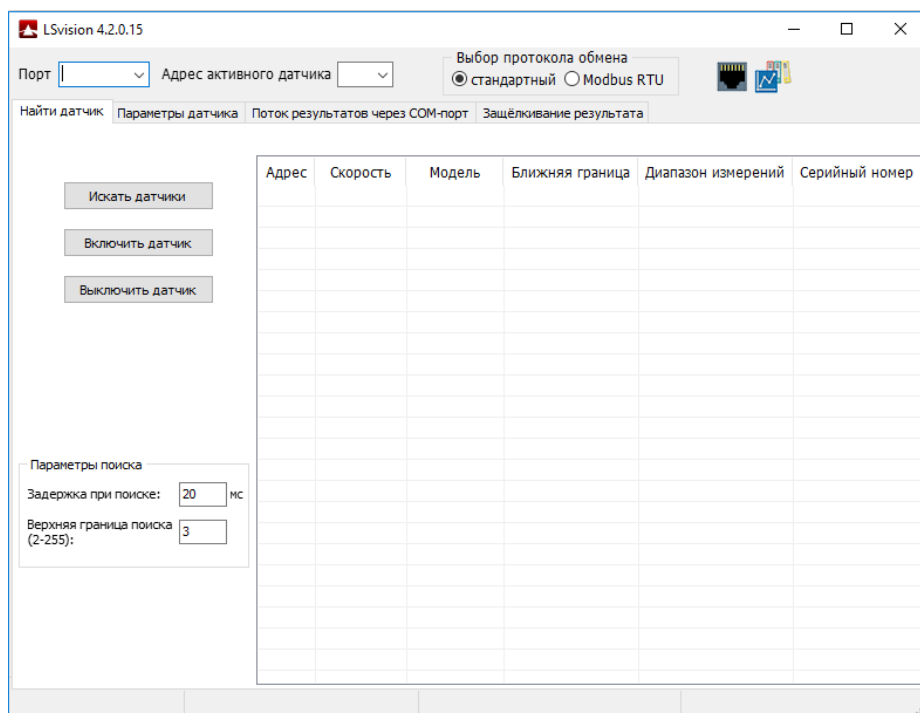


Рисунок 57 – Начальный вид программы «LSvision»

### 3.4 Разработка программного обеспечения для визуализации 3-D объектов

#### **4. ГЛАВА IV ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ**

Глава посвящена монтажу установки, проведения экспериментов и их описания.

## **5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

В настоящее время перспективность научной разработки определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения разработки и коммерциализации его результатов.

Темой научно работы является разработка лазерной установки для 3-D сканирования. Основной задачей является разработка новой установки для 3-D сканирования на основе лазерного триангуляционного 2-D датчика.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности разработки, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения разработки;
- осуществить планирование этапов выполнения разработки;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности разработки.

### **5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В ходе выполнения работы была разработана установка по 3-D сканированию, а так же изучены различные способы реализации и улучшена уже существующий вид 3-D сканеров путём внедрения позиционера. Технология трехмерного сканирования появилась всего несколько десятилетий назад, в конце 20-го века. Применение 3d сканеров было интересно не только конструкторам дизайн-студий, автомобильных концернов, но и работникам киноиндустрии. В 80-х – 2000-х годах разные компании выпускали свои модели оборудования: Head Scanner, 3D-сканер REPLICA и другие. С тех времен агрегаты изменились, усовершенствовались, стали более мобильными и функциональными. Характеристики 3d сканера сегодня существенно отличаются. Появление данной установки облегчит дальнейшее изучение возможностей лазерного сканирования и обработки для создания 3-D моделей объекта.

Исследование в силу своей специфики будет иметь своим целевым рынком следующие предприятия:

- НИИ ТПУ
- ПАО «Машиностроительный завод»
- ОАО Транснациональная корпорация «Дастан»

Рассмотрев рынок предприятий можно сделать следующий вывод:

Предприятия медицинской отрасли имеют слабую потребность в лазерной установке 3-D сканирования, к ним относятся такие заводы как ОАО Транснациональная корпорация «Дастан». Однако предприятия приборостроения и машиностроения имеют высокую потребность в данной установке, к таким предприятиям можно отнести ПАО «Машиностроительный завод». Так же нужно учесть, что цель данной разработки состоит в дальнейшей модернизации и использовании установки в лабораториях НИИ ТПУ на кафедре «Приборостроения».

Исходя из вышеперечисленного составим следующую карту рынка.

Таблица 5.1

Карта рынка услуг по использованию результатов исследований

		Применение		
		Приборостроение	Машиностроение	Предприятия медицинской отрасли
Потребность	Сильная	НИИ ТПУ	ПАО «Машиностроительный завод»	
	Слабая			ОАО Транснациональная корпорация «Дастан»

**Выводы:** Основными рынками исследования являются области приборостроения и машиностроения, на которые и ориентируется предприятие. Разрабатываемая технология будет востребована в научных институтах и предприятиях деятельность которых направлена на изучение технологий сканирования.

### 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Данный анализ проводился при помощи оценочной карты, приведенной в таблице 5.2 Для этого в качестве конкурентных установок для 3-D сканирования были выбраны:

1. Текущий проект с лазерным триангуляционным датчиком «Призма» и позиционером фирмы «Standa» ( $B_{\phi}$ );
2. Проект с лазерным сканером «Riftek» и позиционером фирмы «Standa» ( $B_{k1}$ );
3. Установка «MakerBot Digitizer Desktop» ( $B_{k2}$ ).

Таблица 5.2

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений  
(разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{k1}$	$B_{k2}$	$K_{\phi}$	$K_{k1}$	$K_{k2}$
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Возможность модернизации	0.4	5	3	0	2.0	1.2	0
2. Удобство в эксплуатации	0.05	5	5	1	0.25	0.25	0.05
3. Точность сканирования	0.05	4	4	5	0.2	0.2	0.25
4. Компактность	0.05	3	3	5	0.15	0.15	0.25
5. Регулировка дальности сканирования	0.1	5	4	1	0.5	0.4	0.1
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Экономия денежных средств потребителя	0.1	3	2	5	0.3	0.2	0.5
2. Конкурентоспособность продукта	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25
3. Цена	0.1	2	1	5	0.2	0.1	0.5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25
5. Послепродажное обслуживание	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25
<b>Итого</b>	<b>1</b>				4.35	3.25	2.4

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 5.2, подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивалась по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 –

наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме составляют 1.

Анализ конкурентных технических решений определялся по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах, можно сделать вывод:

1. Уязвимость конкурентов заключается в неспособности модернизации системы.

2. Изготовление предлагаемой системы имеет меньшую себестоимость, чем у конкурентов. Следовательно, цена рекомендуемого продукта будет ниже.

### 5.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Составление итоговой матрицы SWOT-анализа.

Таблица 5.3

## Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны установки:</b></p> <p>С1. Экологичность технологии.</p> <p>С2. Принципиально усовершенствованная конструкция</p> <p>С3. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С4. Квалифицированный персонал</p> <p>С5. Качественные материалы</p> <p>С6. Применение современных программно-технических комплексов</p> <p>С7. Наличие опытного научного руководителя</p> <p>С8. Актуальность проводимого исследования</p>	<p><b>Слабые стороны установки</b></p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с установкой</p> <p>Сл3. “Старение кадров”, уход квалифицированных специалистов в другие сферы и предприятия.</p> <p>Сл4. Ограниченность исходных данных</p> <p>Сл5. Старение материально-технической базы</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Реализация программы дополнительного финансирования из бюджетных и внебюджетных источников</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Поддержка со стороны НИИ ТПУ очень сильно скажется на продвижении исследования и ускорит темпы результатов исследования.</p>	<p>Помощь НИИ ТПУ может выразиться в уменьшении стоимости пользования установкой до той величины, которую сможет финансировать государственный бюджет для данного исследования</p>

<p>В4. Возможность создания партнерских отношений с другими научными учреждениями</p> <p>В5. Большой потенциал применения метода математического моделирования</p>		
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p> <p>У4. Малый рынок сбыта</p>	<p>Государство заинтересовано в развитии науки и в последние годы стало всё больше средств вкладывать в финансирование научной деятельности. Чем быстрее результаты исследования будут внедрены в производство, тем быстрее исчезнут факторы, угрожающие развитию исследования. В дальнейшем возможна заинтересованность производственной стороны в финансировании проекта и его развития.</p>	<p>На данный момент слабые стороны связаны с выходом из строя дорогостоящих элементов оборудования, нехваткой финансов для использования более дорогостоящего оборудования.</p>

**По результатам SWOT-анализа можно сделать вывод** о том, что проведение дальнейших исследований и открытие новых перспектив, по усовершенствованию установки и сотрудничеству с научными исследовательскими центрами могут способствовать выше перечисленным сильным сторонам установки.

Основными рекомендациями по направлению развития исследования являются:

- Усовершенствование взаимодействия между различными подразделениями предприятия, четкое распределение ответственности и полномочий на каждый вид деятельности, оценивание понимания сотрудниками своих задач и заинтересованности в общем результате работы;
- Стимулирование развития работ по улучшению качества, систематическое совершенствование методов и средств обеспечения и контроля качества, стимулирование научно-практической деятельности;
- Оптимизация организационно – производственного процесса, повышение производительности труда, сокращение себестоимости продукции - уменьшения затрат на этапах производства изделий.

#### **5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации**

Для оценки готовности проекта к коммерциализации была заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенции разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 3.

При проведении анализа по таблице 3 по каждому показателю ставилась оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в

качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 5.4

Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	3
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы	1	1

	финансирования коммерциализации научной разработки		
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	3	3
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	35	36

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определялась по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации.  $B_{\text{сум}}$  имеет следующие значения 35 и 36, следовательно, перспективность научного проекта к коммерциализации оценивается как средняя.

Средний балл обусловлен тем, что рассматриваемая система разработка лазерной установки для 3-D сканирования находится на стадии НИР (научно-исследовательская работа) и дальнейшего развития лаборатории для исследования лазерного сканирования, поэтому коммерциализация разработки не предусмотрена.

### **5.1.5 Метод коммерциализации результатов научно-технического исследования**

Для дальнейшей реализации коммерциализации результатов научно-технического исследования и продвижении разработки для данной установки подходит метод инжиниринга.

В дальнейшем для продвижения установки предполагается предоставление на основе договора инжиниринга с нашей стороны как консультантов, для заказчика, комплекса или отдельных видов инженерно-

технических услуг, связанных с проектированием и сборкой установки в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения установки в производство.

## 5.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

### 5.2.1 Цели и результат проекта

Цели данного проекта включают создание лазерной установки для 3-D сканирования, а также дальнейшее развитие лабораторных работ на данной установке.

Таблица 5.5

Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Цели данного проекта включают создание лазерной установки для 3-D сканирования, а также дальнейшее развитие лабораторных работ на данной установке.
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Выбор компонентов системы; Техническая реализация аппаратной части установки; Техническая реализация; ПО для установки.

<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Рабочие условия эксплуатации; Разрешающая способность; Размеры объекта исследования; Тип развёртки; Напряжение питания; Время установления рабочего режима; Время одного измерения.
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Рабочие условия эксплуатации от 0 до + 40 ° С</li> <li>• Разрешающая способность: до 0,1 мкм.;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Размеры объекта исследования: 0,1*0,1*0,1 м.;</li> <li>• Тип развёртки: полярный метод развёртки;</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Напряжение питания: от 12 до 48 В.;</li> <li>• Время установления рабочего режима: менее 1 с;</li> <li>• Время одного измерения: менее 1 с.</li> </ul>	

### 5.2.2 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.6.

## Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание исследовательской части работ	Содержание технической части работ	Должность исполнителя
Разработка тех. задания	1	Составление и утверждение технического задания	Получение технического задания и его согласование.	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Сбор необходимых данных, технических параметров оборудования, изучения технологического процесса.	Студент
	3	Выбор направления исследований	Выбор способа проведения технической стороны исследования и его обоснование; составление структурной модели.	Руководитель, студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Составление графика выполнения работ на всех этапах	Руководитель
Теоретические исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Проведение теоретических расчетов, сборка, а затем необходимых экспериментов для их подтверждения и корректировки.	Студент
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Анализ результатов проведенного научно-технического исследования, выдача рекомендаций относительно решаемой задачи.	Руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	7	Составление пояснительной записки	Составление отчета о проделанной работе, с указанием проблематики проводимого исследования, результатов и принятых технических решений.	Студент
	8	Публикация полученных результатов	Передача результатов исследования заказчику и их внедрение в процесс производства.	Научный руководитель

## 5.2.3 Планирование этапов и выполнения работ проводимого научного исследования

### 5.2.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (1)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (2)$$

где  $T_{p_i}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.  $Ч_i$  – численность

исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

В таблице 5.7 и 5.8 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

### 5.2.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}} \quad (3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = \frac{365}{247} = 1.48 \quad (4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году (пятидневная рабочая неделя);

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблицу 5.7.

Таблица 5.7

## Временные показатели проведения разработки

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$T_{ожi}$ , чел-дни							
	Науч.рук.	Студент	Науч.рук.	Студент	Науч.рук.	Студент	Науч.рук.	Студент	Науч.рук.	Студент	Науч.рук.	Студент
Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	1	-	2,8	-	4	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	14	-	21	-	16,8	-	1	-	16,8	-	25
Выбор направления исследований	2	4	3	5	2,4	4,4	1	1	2,4	4,4	4	7
Календарное планирование работ по теме	3	-	7	-	4,6	-	1	-	4,6	-	7	-
Проведение теоретических расчетов и обоснований	-	21	-	28	-	23,8	-	1	-	23,8	-	35
Монтаж и оценка эффективности полученных результатов	3	7	5	14	3,8	9,8	1	1	3,8	9,8	6	15
Составление пояснительной записки	-	5	-	10	-	5	-	1	-	5	-	7
Публикация полученных результатов	2	-	4	-	2,8	-	1	-	2,8	-	4	-

Таблица 5.8

## Календарный план-график проведения разработки (Диаграмма Ганта)

№	Вид работ	Исполнители	Т <sub>кi</sub> , кал. дн	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль			Март			Апрель			Май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Науч. рук.	4	■												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	25		■	■	■									
3	Выбор направления исследования	Науч. рук., студент	11				■	■								
4	Календарное планирование работ по теме	Науч. рук.	7						■							
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент	35							■	■	■	■			
6	Монтаж и оценка эффективности полученных результатов	Науч. рук., студент	21										■	■		
7	Составление пояснительной записки	Студент	7											■	■	
8	Публикация полученных результатов	Науч. рук.	4													■

■ Научный  
Руководитель

■ Студент

Итого длительность работ – 114 календарных дней.

На основе таблицы 5.7 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания ВКР. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 5.8:

**Вывод:** общее число работ составило 8. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 16 чел-дней, для студента-исполнителя составила 60 чел-дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 114 календарных дней.

### 5.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета научного исследования используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты научного исследования;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;

- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

### 5.3.1 Расчет материальных затрат научного исследования

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

Некоторые материалы: монтажное оборудование, паяльники, датчики являются собственностью лаборатории НИИ ТПУ, поэтому в расчет показателей затрат не берутся.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расхi}, \quad (5)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;  $N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);  $C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);  $k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Основные работы для ВКР проводились за установкой в лаборатории и на ПК. Эксперименты проводились 13 дней по 3 часа (39 часов), мощность установки 10 кВт/час.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} \quad (6)$$

где  $C_{эл}$  – тариф на промышленную электроэнергию (4 руб. за 1 кВт·ч);  $P$  – мощность оборудования, кВт;  $F_{об}$  – время использования оборудования, ч.

$$C_{эл} = 4 \cdot 10 \cdot 13 = 520 \text{ руб.}$$

Материальные затраты находятся по формуле:

$$C_m = C_{эл} + C_{вд} + C_{материал}, \quad (7)$$

Расчет затрат представлен в таблице 5.9.

Таблица 5.9

Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы ( $Z_m$ ), руб.
Электроэнергия	кВт/ч	130	4	520
Бумага формата А4	Упаковка	1	200	200
Картридж	Штука	1	600	600
Ручка	Штука	1	30	30
Тетрадь	Штука	1	50	50
Итого				1400

*Экспертная оценка стоимости спец. оборудования.*

В данной работе было рассмотрено несколько вариантов сборки оборудования, это текущий проект с лазерным триангуляционным датчиком «Призма» и позиционером фирмы «Standa», проект с лазерным сканером «Riftek» и позиционером фирмы «Standa», и установка «MakerBot Digitizer

Desktop». Все они представлены в следующей таблице экспертной оценки стоимости спец. оборудования.

Таблица 5.10

Экспертная оценка стоимость спец. оборудования

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.
Лазерный датчик «Призма»	1	70 000
Поворотный стол «Standa»	1	70 000
Лазерный сканер «Riftek»	1	90 000
Установка «MakerBot Digitizer Desktop»	1	95 000

### 5.3.2 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (табл. 5.11).

Таблица 5.11

Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	P1	Спрос	2	3	Средний	Повышение качества	

2	P2	Конкуренция	4	4	Высокий	Снижение стоимости	Внедрение на рынок конкурентов
3	P3	Финансирование	2	2	Низкий	Внедрение финансов	Остановка финансирования
4	P4	Спрос	3	4	Высокий	Расширение области использования	Расширение рынка

P1. Отсутствие спроса на новые технологии производства

P2. Развитая конкуренция технологий производства.

P3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства

P4. Малый рынок сбыта

## 5.4 Определение ресурсной эффективности

### 5.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчёта интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

### 5.4.2 Интегральный финансовый показатель эффективности

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяются как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (8)$$

Где  $I_{\Phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта

Для данной работы для сравнения был взят: текущий проект с лазерным триангуляционным датчиком «Призма» и позиционером фирмы «Standa», проект с лазерным сканером «Riftek» и позиционером фирмы «Standa», и установка «MakerBot Digitizer Desktop».

Таблица 5.12

Интегральный финансовый показатель

	«Призма» + «Standa»	«Riftek» + «Standa»	«MakerBot Digitizer Desktop»
Стоимость	70 000 р + 70 000 р	90 000 р + 70 000 р	95 000 р
$\Phi_{pi}$	140 000	160 000	95 000
$\Phi_{max}$	160 000		
$I_{\Phi}^p$	0,87	1	0,6

#### 5.4.3 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (9)$$

Где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a; b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности проведён в форме таблицы 5.13:

Таблица 5.13

Интегральный показатель ресурсоэффективности

Критерии	Весовой коэффициент параметра	«Призма» + «Standa»	«Riftek» + «Standa»	«MakerBot Digitizer Desktop»
1 Возможность модернизации	0,5	5	3	0
2 Удобство в эксплуатации	0,1	5	5	1
3 Точность сканирования	0,1	4	4	5
4 Компактность	0,1	3	3	5
5 Регулировка дальности сканирования	0,2	5	4	1
ИТОГО	1	22	19	12

$$\text{«Призма» + «Standa»} = 5 * 0,5 + 5 * 0,1 + 4 * 0,1 + 3 * 0,1 + 5 * 0,2 = 4,7$$

$$\text{«Riftek» + «Standa»} = 3 * 0,5 + 5 * 0,1 + 4 * 0,1 + 3 * 0,1 + 4 * 0,2 = 3,5$$

$$\text{«MakerBot D. D.»} = 0 * 0,5 + 1 * 0,1 + 5 * 0,1 + 5 * 0,1 + 1 * 0,2 = 1,3$$

#### 5.4.4 Интегральный показатель эффективности разработки

Интегральный показатель эффективности разработки  $I_{\text{финр}}^p$  и аналога  $I_{\text{финр}}^a$  определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}, \quad I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a} \quad (10)$$

Исходя из этого получаем следующие результаты интегрального показателя эффективности разработки:

$$\text{«Призма»} + \text{«Standa»} = \frac{4,7}{0,87} = 5,4$$

$$\text{«Riftek»} + \text{«Standa»} = \frac{3,5}{1} = 3,5$$

$$\text{«MakerBot D. D.»} = \frac{1,3}{0,6} = 2,16$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} \quad (11)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  – сравнительная эффективность проекта;  $I_{\text{финр}}^p$  – интегральный показатель разработки;  $I_{\text{финр}}^a$  – максимальный интегральный технико-экономический показатель из представленных.

Исходя из этого получаем следующие результаты:

$$\text{«Призма»} + \text{«Standa»} = \frac{5,4}{5,4} = 1$$

$$\text{«Riftek»} + \text{«Standa»} = \frac{3,5}{5,4} = 0,64$$

$$\text{«MakerBot D. D.»} = \frac{1,3}{5,4} = 0,24$$

Таблица 5.14

Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	«Призма» + «Standa»	«Riftek» + «Standa»	«MakerBot Digitizer Desktop»
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,87	1	0,6
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	3,5	1,3
3	Интегральный показатель эффективности	5,4	3,5	2,16
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,64	0,24

Отсюда следует что самый дорогой вариант проекта с лазерным сканером «Riftek» и позиционером фирмы «Standa» (160 000р), интегральный показатель которого равен 1, а самый дешёвый вариант сканер «MakerBot Digitizer Desktop» (95 000р), интегральный показатель равен 0,6. Однако «MakerBot Digitizer Desktop» не удовлетворяет потребностям дальнейшей модернизации установки для лаборатории, основной задачей которой и является данная научно-исследовательская работа. А, следовательно, для данной работы целесообразно использовать вариант триангуляционным датчиком «Призма» и позиционером фирмы «Standa» (140 000р), интегральный показатель которого равен 0,87. Это и показано в таблице 11 интегральный показатель ресурсоэффективности проекта с лазерным

триангуляционным датчиком «Призма» и позиционером фирмы «Standa» равен 0,87, а установка «MakerBot Digitizer Desktop» равна 0,6.

Проведя анализ сравнительная эффективность разработки и составив по нему таблицу 12 можно сделать следующий вывод:

Данная разработка на основе лазерного триангуляционного датчика «Призма» и позиционера «Standa», лучший вариант из рассмотренных, и в дальнейшем позволит модернизировать установку для проведения лабораторных работ.

### **Выводы:**

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи:

1. Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования на примере SWOT-анализа, результат которого показал большой потенциал применения установки, а также возможность быстрого выхода на внутренний рынок обеспечены актуальностью данной аппаратуры.

2. Определена структура работ и количество исполнительской работы. Разработан календарный план-график для проведения НИР. Общее число работ составило 8. Определена трудоемкость проведения работ. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 16 чел-дней, для студента-исполнителя составила 60 чел-дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 114 календарных дней.

3. Проведена сравнительная оценка эффективности исследования в виде интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя.

Следует отметить важность для проекта в целом проведенных в данной главе работ, которые позволили объективно оценить эффективность проводимой научно-технической разработки.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Дата	Название мероприятия. Место прохождения. Степень участия.
9.10.17	Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: Взгляд в будущее. г.Томск. ТПУ. Докладчик.
5.06.18	Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: Взгляд в будущее. г.Томск. ТПУ. Докладчик.
9.10.18	Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: Взгляд в будущее. г.Томск. ТПУ. Докладчик.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## Раздел 1

### **Theoretical bases and examples of technical implementation of plants for optical 3-d scanning**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ72	Кожевников Владислав Викторович		

Консультант школы отделения (НОЦ) \_\_\_\_\_ (аббревиатура школы, отделения (НОЦ)) \_\_\_\_\_ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Федоров Евгений Михайлович	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы \_\_\_\_\_ (аббревиатура отделения (НОЦ) школы) \_\_\_\_\_ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Смирнова Ульяна Александровна	к.п.н.		