

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт электронного обучения
Специальность Информационно-измерительная техника и технологии
Кафедра физических методов и приборов контроля качества

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Разработка лазерного триангуляционного профилометра

УДК 681.786.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1401	Проворова Алина Ильясовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фёдоров Е.М.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов О.Н.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова О.С.			

По разделу «Конструкторско-технологическая часть»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Степанов А.Б.			

По разделу «Надежность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Степанов А.Б.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Суржиков А.П.	Доктор ф.-м.н.		

Томск – 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт электронного обучения
Специальность Информационно-измерительная техника и технологии
Кафедра физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта/работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
З-1401	Проворовой Алине Ильясовне

Тема работы:

Разработка лазерного триангуляционного профилометра

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

Разработка устройства для бесконтактной регистрации поперечного профиля рабочей поверхности головки рельсов с помощью лазерного триангуляционного датчика.

Требуемые характеристики:

Диапазон определения вертикального износа головки рельсов (-2...+12) мм; диапазон определения бокового износа головки рельсов (-5...+18) мм; время сканирования 10-12 сек.; основная погрешность определения контролируемых параметров не более 0,1 мм; наличие интерфейса Wi-fi.

Для лазерного датчика:

Мощность излучения 1мВт; потребляемая мощность (1,5...2) Вт; напряжение питания (9...36) В, диапазон рабочих температур (-10...+60) °С.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	- Аналитический обзор литературных источников; - Выбор элементной базы; - Разработка структурной и принципиальной схемы профилометра; - Разработка конструкции профилометра.
Перечень графического материала	Чертеж принципиальной схемы, схема печатной платы, чертеж направляющей, чертеж корпуса электронного блока.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Доцент Петухов О.Н., к.э.н.
«Социальная ответственность»	Ассистент Кырмакова О.С.
«Конструкторско-технологическая часть»	Старший преподаватель Степанов А.Б.
«Надежность»	Старший преподаватель Степанов А.Б.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фёдоров Е.М.	К.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1401	Проворова Алина Ильясовна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-1401	Проворова Алина Ильясовна

Институт	Электронного обучения	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	специалитет	Направление/специальность	ИИТТ

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Финансовые ресурсы 139000 руб. Человеческие ресурсы – 2 человека
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	1. Формирование плана работ по разработке проекта. 2. Расчет сметы затрат на создание проекта. 3. Оценка эффективности работы.
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. «Портрет» потребителя
2. Оценка конкурентоспособности ИР
3. Матрица SWOT
4. Модель Кано
5. ФСА диаграмма
6. Оценка перспективности нового продукта
7. График разработки и внедрения ИР
8. Инвестиционный план. Бюджет ИП
9. Основные показатели эффективности ИП
10. Риски ИП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов О.Н.	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1401	Проворова Алина Ильясовна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-1401	Проворовой Алине Ильясовне

Институт	Электронного обучения	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	специалитет	Направление/специальность	ИИТ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Лазерный профилометр разработан для регистрации профиля поверхности рельса и будет применяться на открытых железнодорожных путях. Персонал подвергается воздействию вредных и опасных факторов. Существует вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	При производстве работ к вредным производственным факторам относятся: - лазерное излучение, - повышенный уровень шума, - неблагоприятные условия микроклимата. При производстве работ к опасным производственным факторам относятся: - поражение электрическим током
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	Вредного воздействия на окружающую среду не происходит

– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Наиболее типичной ЧС на железнодорожных путях является пожар. Необходимо произвести оценка пожарной безопасности и разработать мероприятия по устранению и предупреждению пожаров.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	К производству работ не допускаются женщины и лица, не достигшие возраста восемнадцати лет. Для работников предусмотрен обязательный медицинский контроль.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова О.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1401	Проворова Алина Ильясовна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 95 с., 29 рис., 21 табл., 33 источников, 4 прил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ДЕФЕКТ, ПРОФИЛЬ РЕЛЬСА, МЕТОД ТРИАНГУЛЯЦИИ, ПРОФИЛОМЕТРИЯ, ЛАЗЕРНЫЙ ДАТЧИК

Объектом исследования является рабочая поверхность головки рельса.

Цель работы – разработка устройства для бесконтактной регистрации профиля рабочей поверхности головки рельса, которое будет сочетать в себе быстроедействие, высокую точность измерения и простоту реализации.

В процессе исследования проводились изучение методов и принципов реализации лазерных измерителей, сравнительные характеристики существующих методов контроля и измерительных устройств.

В результате исследования были выбраны метод контроля и параметры разрабатываемого устройства.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: разработанное устройство содержит минимальный набор элементов и конструкций, что не отражается на эксплуатационных характеристиках.

Степень внедрения: устройство является аналогом зарубежных производителей.

Область применения: разработанное устройство будет применяться для контроля на железнодорожной колее.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2007.

Оглавление

	С.
Введение	10
1 Анализ современной дефектоскопии рельсов	12
1.1 История развития поперечного профиля рельсов	12
1.2 Условия работы рельсов в пути	13
1.3 Причины зарождения и развития дефектов рельсов	15
2 Краткий обзор существующих методов контроля	18
2.1 Методы электромагнитного контроля	18
2.1.1 Метод вихретокового контроля	19
2.2 Методы ультразвуковой дефектоскопии рельсов	21
2.2.1 Эхо-метод	21
2.2.2 Зеркальный метод	24
2.3 Оптические методы контроля	27
2.3.1 Триангуляционный метод	27
3 Классификация профилометров	29
3.1 Профилометр – прибор для измерения шероховатости поверхности	29
3.2 Лазерный профилометр – анализатор тонколистовых материалов	31
4 Описание структурной схемы	33
5 Выбор и расчет элементов схемы	35
5.1 Выбор лазерного сканирующего модуля	35
5.2 Выбор источника питания лазерного сканирующего модуля	39
5.3 Выбор микроконтроллера	42
5.4 Выбор Wi-fi модуля	46
5.5 Выбор интерфейса	48
5.6 Выбор энкодера	50
5.7 Выбор концевых датчиков	52
6 Конструкторско-технологическая часть	54
6.1 Разработка конструкции	54
6.2 Общие требования к изготовлению печатной платы	56
6.3 Конструктивные параметры печатной платы	57
7 Анализ погрешности разрабатываемого устройства	60
8 Расчет надежности	66
9 Техничко-экономическое обоснование НИР	73
9.1 Назначение и характеристика научно-технической продукции	73
9.2 Организация и планирование работ	73

9.2.1 Расчет трудоемкости этапов	75
9.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	78
9.3.1 Затраты на приобретение специального оборудования	78
9.3.2. Основная и дополнительная заработная плата исполнителей работы	79
9.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды	81
9.3.4 Накладные расходы	81
9.3.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы	82
10 Производственная и экологическая безопасность	83
10.1 Техногенная безопасность	83
10.1.1 Характеристика вредных факторов	83
10.1.2 Характеристика опасных факторов	91
10.2 Региональная безопасность	92
10.2.1 Экологическая безопасность	92
10.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности	93
10.4 Особенности законодательного регулирования	94
10.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	95
Заключение	97
Список использованных источников	98
Приложение А ФЮРА.443170.001 Лазерный триангуляционный профилометр. Схема электрическая принципиальная	
Приложение Б ФЮРА.443170.001 Дуга держатель	
Приложение В ФЮРА.443170.001 ВО Корпус. Чертеж общего вида	
Приложение Г ФЮРА.443170.001 СБ Печатная плата. Сборочный чертеж	

Введение

В современных условиях на железных дорогах России из-за контактно-усталостных повреждений и износа головки рельсов происходит 95% отказов. Практика эксплуатации современной рельсовой колеи подтверждает, что свыше 90% разрушений происходит из-за усталости материалов, которые как правило, работают в сложных климатических условиях и под постоянным воздействием динамических и статических нагрузок.

В последнее время наблюдается тенденция увеличения использования железнодорожного транспорта, как правило, увеличиваются скоростные показатели движения пассажирских и грузовых поездов, а также возрастает плотность их движения. Исходя из этого, можно отметить, что при современных условиях эксплуатации требуется более тщательный контроль состояния рельсового пути. Своевременное обнаружение и устранение неполадок позволяют обеспечить безопасность, а также возможность скоростного движения поездов.

Знание физико-механических характеристик материалов рельсов, их природы, предельных пластических показателей, закономерностей изменения этих значений от напряженного состояния рельсов, а также изменение параметров выносливости, надежности их конструкции, выбранной технологии изготовления и условий эксплуатации, не позволяют с высокой достоверностью гарантировать исключение отказов в работе рельсов и нарушение геометрии их взаимного расположения.

Таким образом, создание устройств, для обнаружения нарушения установленных показателей геометрии рельсовой колеи и излома рельсов является современной проблемой и требует своего ускоренного решения.

Целью данной работы является разработка лазерного триангуляционного профилометра, который позволит более быстро и более

точно проводить измерения различных параметров рабочей поверхности рельсов для точного контроля и своевременного обнаружения дефектов.

Профилометр должен выполнять следующие основные функции:

- получение информации о параметрах поперечного профиля рабочей поверхности головки рельса;
- снятие и анализ полного профиля рабочей поверхности головки рельса;
- визуализация на дисплее совмещенных графических изображений фактического и нового поперечных профилей головки рельса.

1 Анализ современной дефектоскопии рельсов

1.1 История развития поперечного профиля рельсов

Долгое время применение рельсовых путей ограничивалось потребностями внутризаводского транспорта. По профилю все варианты рельсов приближались к форме двутавровой балки, по причине необходимости работы на изгиб и влияния высоких динамических нагрузок от колес подвижного состава. Широкое применение получили две конструкции рельсов – двухголовый и широкоподошвенный. Авторы двухголового рельса полагали, что рельс после износа одной стороны головки можно будет перевернуть и использовать другую сторону головки. Но износ верхней головки вследствие воздействия колес подвижного состава сопровождался износом нижней части головки.

В первые годы развития железных дорог русские инженеры отдали свое предпочтение широкоподошвенному рельсу. Такие рельсы, приведенные на рисунке 1, были уложены на линии Санкт-Петербург – Москва.

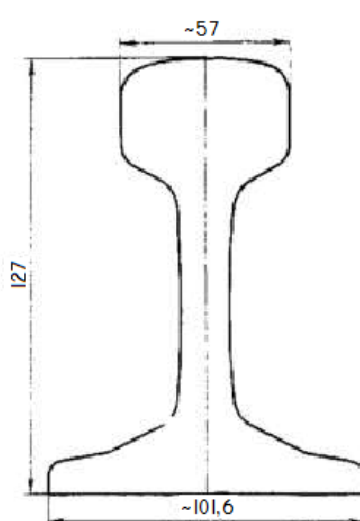


Рисунок 1 – Профиль первого стального рельса дороги Петербург – Москва (1866)

Впоследствии данный профиль рельса нашел свое применение на всех железных дорогах мира.

Материалом для изготовления первых рельсов служил чугун. Позже было установлено, что рельсы, изготовленные из стали изнашиваются меньше и равномернее, чем чугунные. Вскоре на железных дорогах перестали использовать чугунные рельсы. В настоящее время все страны применяют только стальные рельсы, т. к. металл этих рельсов, кроме углерода, содержит кремний, марганец и другие добавки, которые повышают его качество.

Термически упрочненные рельсы нашли широкое распространение, из-за твердости материала и повышенной износоустойчивости. За последние 140 лет профиль рельса претерпел небольшие изменения, но масса его увеличилась с 20 – 24 до 75 – 77 кг/м. Поперечный профиль показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Поперечный профиль рельса

Для дорог широкой колеи в настоящее время наиболее часто используются рельсы массой: 54 – 60 кг/м в Западной Европе, 65 – 75 кг/м в СНГ, 66 – 70 кг/м в США, Канаде, Австралии.

1.2 Условия работы рельсов в пути

При движении поездов на рельсы воздействуют силы, способные вызвать в них значительные напряжения и деформации.

Неудовлетворительное содержание пути является основной причиной повреждений рельсов.

Основным условием нормальной работы рельсов является своевременное обнаружение расстройств и неисправностей пути. Уход за рельсами производится с момента их погрузки и разгрузки с платформ. Сброс рельсов с платформ приводит к удару и способствует их искривлениям. В процессе эксплуатации рельсов необходимо избегать ударов молотками и другими путевыми инструментами, так как острые вмятины становятся причиной возникновения поперечных трещин. Пример поперечных трещин в головке рельса приведен на рисунке 3. Нормальная работа рельсов может быть обеспечена соблюдением технических правил укладки в путь, а также уходом при эксплуатации.

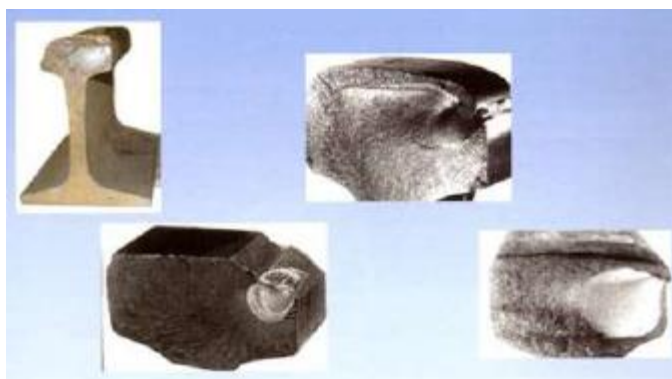


Рисунок 3 – Поперечные трещины в головке рельса

Головка рельса подвержена наибольшему износу ввиду одновременного истирания и смятия металла при трении бандажей колес о поверхность катания рельса.

При эксплуатации железных дорог широкое применение нашли рельсосмазыватели. Смазка рельсов позволяет уменьшить интенсивность их износа в 3 – 4 раза и увеличить пробеги между обточками бандажей.

Также увеличение твердости металла достигается путем наклепа. Он заключается в сплющивании зерен металла на поверхности катания головки под действием сжимающих сил бандажей колес подвижного состава. Стойкость рельсов против износа также можно повысить путем закалки. Закалка увеличивает твердость металла на поверхности головки.

1.3 Причины зарождения и развития дефектов рельсов

Можно выделить две группы причин возникновения и развития дефектов в рельсах:

- эксплуатационные (неудовлетворительное состояние пути и подвижного состава);
- заводские (наличие дефектов, допущенных при изготовлении рельсов).

Можно отметить, что в системе колесо-рельс, последний является одновременно направляющим элементом, опорой и поверхностью катания. При этом на рельс оказывают влияние статические и динамические нагрузки. В грузовых перевозках максимальная осевая нагрузка достигает 23 тонны, в перспективе увеличение нагрузки до 27 тонн, а диапазон высокоскоростного движения начинается со скорости 200 км/час.

Требования, предъявляемые к рельсам в таких условиях работы:

- должны быть гладкими, для минимального сопротивления движению поезда;
- в то же время они должны быть шероховатыми, для того чтобы поезд мог тронуться с места;
- твёрдыми, (износостойкими) для сопротивления износу;
- вязкими (нехрупкими), для восприятия ударно-динамической нагрузки;
- жесткими, для сопротивления изгибу под колесами;
- упругими, для минимального динамического воздействия на нижележащие элементы;
- долговечными;
- технологичными.

Дефект рельса можно охарактеризовать нарушением, которое вызывает любое отклонение его геометрии, как качественных свойств от

нормативных показателей, соблюдение которых гарантирует работоспособное состояние рельса.

К дефектам рельса можно отнести: износ, трещины, механические повреждения, пластические деформации в виде смятия, отслоение и выкрашивание рельсового металла, коррозия. Пример выкрашивания рельсового металла приведен на рисунке 4.

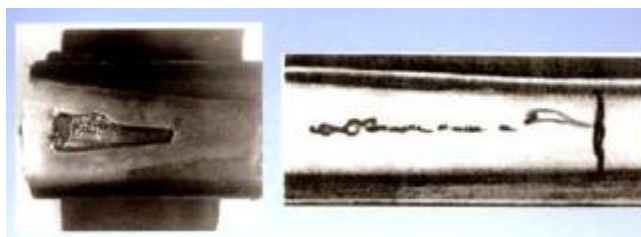


Рисунок 4 – Выкрашивание металла на поверхности катания головки

Дефект может вызвать отказ рельса, при котором возможно запрещение пропуска поездов (полный отказ, например, при изломе рельса) или ограничение скоростей движения поездов (частичный отказ, например, на поверхности катания головки рельса образуются волнообразные неровности).

Под действием колес подвижного состава рельсы могут изнашиваться как по высоте головки, так и по боковой ее грани. В прямых рельсах боковой износ головки невелик, а на упорной нити в кривых рельсах может быть значительным. Приведенный износ характеризует общую оценку вертикального и бокового износов рельсов.

В зависимости от видов повреждения рельсов их можно классифицировать как дефектные и острodefектные.

Дефектный рельс – это рельс, у которого в процессе эксплуатации происходит, как правило, постепенное снижение служебных свойств ниже нормативного уровня. При обнаружении дефектных рельсов обеспечивается безопасный пропуск поездов, но требуется введение ограничения скоростей движения. Такие рельсы заменяются в плановом порядке. Режим эксплуатации данных рельсов до момента устранения дефектов или

планового изъятия решается исходя из конкретных условий, согласно рекомендациям технологической и нормативной документации.

Остродефектный рельс – это рельс, который представляет прямую угрозу безопасности движения, т.к. может разрушиться под поездом или стать причиной схода колес с рельса. После обнаружения остродефектный рельс подлежит немедленному изъятию из пути. В отдельных случаях возможен пропуск поездов с проводником спецмероприятий [1].

Примерами дефектных рельсов могут служить:

- рельсы, имеющие приведенный износ более допустимых величин;
- рельсы, имеющие волнообразный износ или деформацию головки с глубиной впадин более 3 мм;
- выбоксованные рельсы на глубину более 2 мм;
- рельсы, имеющие выкрашивание наплавленного или закаленного слоя на длину более 25 мм и др.

Примерами остродефектных рельсов могут служить:

- рельсы с продольным вертикальным или горизонтальным расслоением головки;
- рельсы с трещинами на поверхности головки, под головкой, по середине шейки;
- рельсы с вертикальным износом, при котором колеса задевают гайки путевых болтов;
- рельсы, имеющие поперечный излом и др.

2 Краткий обзор существующих методов контроля

Современные методы контроля геометрии изделий можно разделить на два больших класса – контактные (координатно–измерительные машины, щуповые приборы, измерительные проекторы и т. д.) и бесконтактные методы измерения геометрии.

К методам рельсовой дефектоскопии можно отнести:

- магнитоэлектрические методы;
- оптические методы;
- методы ультразвуковой дефектоскопии.

При выявлении внутренних дефектов используют ультразвуковые методы и просвечивание. По результатам исследования наиболее эффективным методом обнаружения дефектов в виде структурных неоднородностей является зеркально-теневой метод. Для выявления сосредоточенных несплошностей (пузырей, флокенов) эффективен эхо-метод. Для контроля геометрических параметров рельсов используются оптические методы, такие как триангуляционный.

Далее приведено описание данных методов контроля.

2.1 Магнитоэлектрические методы

Скрытые дефекты рельсовых путей можно обнаружить магнитными и электромагнитными методами. При этом рельсы намагничивают способом приложенного магнитного поля электромагнита или постоянным магнитом.

Метод, основанный на индикации поля рассеяния дефекта при статическом намагничивании рельсов пути, называется магнитным. Метод, основанный на индикации магнитодинамического поля дефекта, называется магнитодинамическим. Вихретоковый метод основан на анализе изменения параметров плоской накладной катушки, которая находится в переменном магнитном поле при помещении ее вблизи дефекта рельса [2].

К преимуществам электромагнитных методов относится возможность ведения бесконтактного контроля в движении. Недостатком методов является малая глубина проникновения электромагнитного поля в металл, что не позволяет обнаруживать дефекты на глубине более 6-8 мм.

2.1.1 Метод вихретокового контроля

Вихретоковый контроль основан на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихревых токов, которые создаются в объекте контроля (ОК) с внешним электромагнитным полем. Источник электромагнитного поля, геометрические и электромагнитные параметры ОК, взаимное расположение источника поля и ОК в совокупности определяют распределение и плотность вихревых токов. Источником электромагнитного поля является индуктивная катушка с синусоидальным током. Данная катушка называется вихретоковым преобразователем (ВТП). Если вблизи объекта контроля поместить данную катушку, то, как правило, в результате действия вихревых токов в объекте контроля изменяются активное R_n , индуктивное X_k и комплексное Z_n сопротивления индуктивной катушки.

Таким образом, о геометрических и электромагнитных параметрах ОК можно судить исходя из изменения активного и индуктивного сопротивления ВТП.

В вихретоковом контроле очень часто используют трансформаторные ВТП, показанный на рисунке 5, одна обмотка из которых – возбуждающая, а другая измерительная. Возбуждающая обмотка служит для создания электромагнитного поля, а следовательно, вихревых токов в объекте контроля. Измерительная обмотка служит для измерения электродвижущей силы (эдс), наводимой в ней результирующим магнитным потоком, который проходит внутри этой катушки. Амплитуда и фаза эдс в измерительной обмотке зависят от параметров объекта контроля.

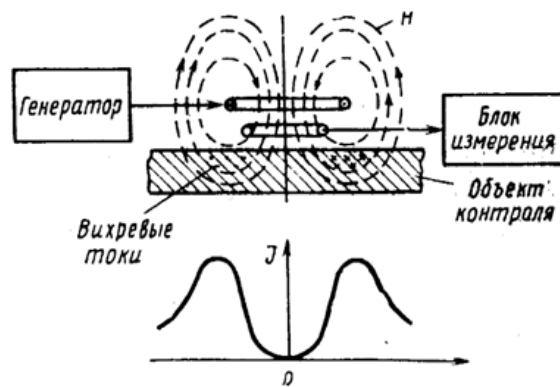


Рисунок 5 – Трансформаторный вихретоковый преобразователь

Электродвижущая сила ВТП вихретокового преобразователя зависит от многих параметров объекта контроля, в том числе и от взаимного их расположения, т. е. информация, получаемая от преобразователя, многопараметровая. Это определяет как преимущества, так и трудности применения вихретокового метода контроля. С одной стороны, данный метод позволяет проводить многопараметровый контроль, а с другой стороны, приходится использовать способы для разделения влияния контролируемых параметров и подавления влияния мешающих факторов.

В настоящее время для обнаружения и определения параметров дефектов вихретоковые приборы используются широко. Примером одного из таких приборов является вихретоковый дефектоскоп Draisine 300, показанный на рисунке 6.

Вихретоковый дефектоскоп DRAISINE с тележкой для ручной диагностики железнодорожного полотна применяется для контроля всех стандартных профилей рельса, стрелок, предварительного и последующего осмотра во время строительства дороги, диагностики труднодоступных дорог.

Дефектоскоп имеет специальный датчик для контроля рельсов, простой датчик для оценки глубины трещин, комбинированные датчики для оценки глубины с высокой разрешающей способностью. Также дефектоскоп оснащен системой автоматической подстройки под изменяющийся рельеф рельсов. Время работы 5-6 часов.



Рисунок 6 – Вихретоковый дефектоскоп Draisine 300

Недостатками данного вида контроля являются:

- наличие большого количества используемых датчиков;
- жидкокристаллический экран;
- не могут быть проконтролированы элементы конструкций и детали с дефектами, плоскости раскрытия, которых параллельны контролируемой поверхности или составляют с ней угол менее 10° ;
- высокая стоимость.

2.2 Методы ультразвуковой дефектоскопии рельсов

2.2.1 Эхо-метод

Эхо-метод ультразвуковой дефектоскопии основан на излучении в контролируемое изделие коротких зондирующих импульсов и регистрации эхосигнала, отражённого от дефекта. Временной интервал между зондирующим и эхоимпульсами пропорционален глубине залегания дефекта, а амплитуда, в определённых пределах, – отражающей способности (размеру) дефекта.

Отличительной особенностью метода является то, что при контроле изделий регистрируются и анализируются практически все сигналы, приходящие из изделия после излучения зондирующих колебаний [3].

При анализе изделий с плоскопараллельными поверхностями возможен приём эхосигналов и от дефекта, и от противоположной поверхности, как это показано на рисунке 7.

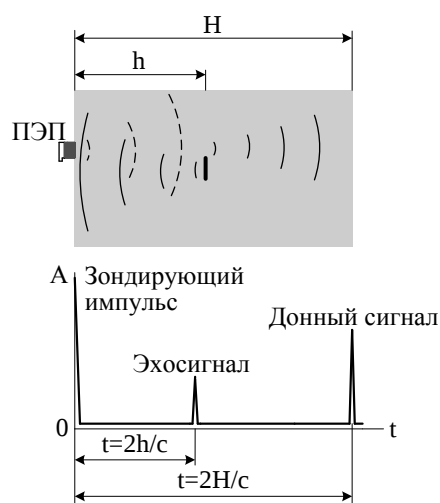


Рисунок 7 – Формирование эхо– и донного сигнала

Величина дефекта и его ориентация, свойства поверхности, затухание ультразвуковой волны в изделии влияют на амплитуду эхоимпульса.

Интервал времени между зондирующим импульсом и эхосигналом от противоположной поверхности пропорционален высоте H изделия.

При известном времени t распространения ультразвуковых колебаний до дефекта и обратно и известной скорости c_1 колебаний в изделии, можно определить глубину h залегания дефекта при условии его обнаружения прямым ($\alpha = 0$) преобразователем по формуле:

$$h = c_1 t / 2 \quad (1)$$

При условии обнаружения наклонным преобразователем по формуле:

$$h = (c_t \cdot t \cdot \cos \alpha) / 2 \quad (2)$$

Преимуществами эхометода являются:

- односторонний доступ к изделию;
- относительно большая чувствительность к внутренним дефектам;
- высокая точность определения координат дефектов.

Недостатками эхометода являются:

- низкая помехоустойчивость к поверхностным отражателям;
- зависимость амплитуды эхосигнала от ориентации дефекта;

- невозможность контроля качества акустического контакта в процессе перемещения пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП), так как при отсутствии дефектов приводит к отсутствию сигналов на выходе [3].

Примером устройства, реализующим эхо-метод можно назвать ультразвуковой дефектоскоп УДС2-73, показанный на рисунке 8.



Рисунок 8 – Ультразвуковой дефектоскоп УДС2-73

Данный дефектоскоп применяется для обнаружения дефектов по всей длине и сечению рельсов в обоих нитях железнодорожного пути. Дефектоскоп имеет возможность электронного документирования результатов контроля по всем каналам, а также позволяет проводить повторную расшифровку и формировать полноценные отчеты.

Для детального анализа обнаруженных сигналов используется отображение информации в виде А-скана. Отличительными особенностями дефектоскопа являются:

- наличие встроенной памяти для сохранения результатов контроля на базе flash-карты;
- возможность определения пройденного пути и скорости движения при сплошном контроле;
- наличие цветного экрана с высоким разрешением;
- возможность работы в режиме сбора информации без участия оператора, с последующим анализом результатов на ЭВМ в лаборатории;

Для достоверного обнаружения дефектов, применяется субъективная оценка при взаимодействии системы: оператор – дефектоскоп. В

применяемых системах ультразвукового контроля используется визуально-звуковой анализ информации оператором, что, не может не привести к пропуску дефектов, особенно на ранней стадии развития.

К недостаткам дефектоскопа можно отнести:

- высокая стоимость
- возможность потери информации при выходе регистратора из строя
- необходимость проведения контроля двумя операторами
- сложность расшифровки дефектограмм.

2.2.2 Зеркальный метод

Контроль одним наклонным преобразователем при выявлении дефектов, перпендикулярно ориентированных к поверхности сканирования, например, контактно-усталостные трещины в головке рельсов, не всегда даёт точные показания.

Это объясняется с тем, что ультразвуковой луч, который падает на дефект, в основном зеркально отражается от его плоскости и практически не попадает на излучаемый пьезоэлектрический преобразователь.

Зеркальный метод реализуется при прозвучивании контролируемого изделия двумя ПЭП. На приёмную пьезопластину поступает сигнал, который переотразился от противоположной поверхности изделия и от плоскости дефекта. Иллюстрация зеркального метода ультразвукового контроля приведена на рисунке 9.

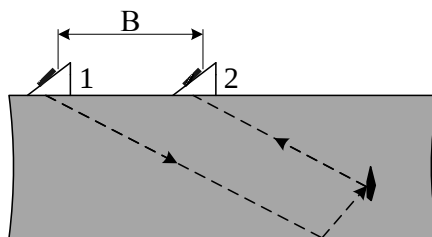


Рисунок 9 – Иллюстрация зеркального метода

В дополнение к первому пьезоэлектрическому преобразователю, работающему в режиме излучения/приёма, устанавливают второй пьезоэлектрический преобразователь на определённом расстоянии B от него. Второй ПЭП в отличие от первого работает только в режиме приёма зеркально отражённых от плоскости дефекта сигналов. В общем случае каждый из ПЭП может работать как в режиме излучения, так и в режиме приёма.

Расстояние между преобразователями выбирается, исходя из условия наилучшего озвучивания участка вероятного образования дефектов. Базовое расстояние B периодически меняют при контроле толстостенных изделий.

При контроле тонкостенных изделий ПЭП размещаются на фиксированном расстоянии друг от друга ($B = \text{const}$). Это способствует озвучиванию практически всего сечения изделия благодаря раскрытию ультразвукового пучка общей зоной, которая охватывается двумя взаимопересекающимися диаграммами направленности. Процесс формирования сигналов при зеркальном методе ультразвукового контроля показан на рисунке 10.

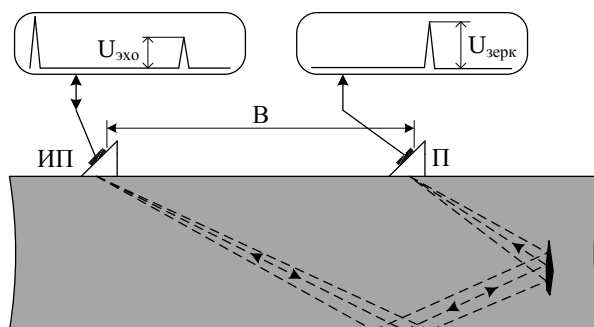


Рисунок 10 – Формирование сигналов при зеркальном методе

Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70 является переносным цифровым дефектоскопом общего назначения, который предназначен контроля продукции на наличие дефектов типа нарушения сплошности и однородности материалов готовых изделий на основе зеркального метода. Дефектоскоп позволяет проводить измерения глубины и координат залегания дефектов, толщины контролируемых изделий, параметров выявленных объектов.

Дефектоскоп имеет возможность настройки в лабораторных условиях заранее, чтобы при выезде на объект, сокращая время замеров выбирать нужные функции. Размер памяти дефектоскопа рассчитан на четыре тысячи значений глубиномера. Для соединения дефектоскопа с компьютером используется порт RS 232. Ультразвуковой дефектоскоп приведен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70

Зеркальный метод в последние годы применяется все реже, ввиду своей невысокой точности. Чувствительность метода, в сравнении с эхо-методом, в 10 – 100 раз ниже [1].

К достоинствам ультразвуковых методов контроля можно отнести высокую проникающую способность.

Недостатком существующих ультразвуковых методов является обязательное наличие физического контакта между пьезоэлектрическим преобразователем и объектом контроля, что является ограничением для создания дистанционных средств дефектоскопии рельсов.

2.3 Оптические методы контроля

2.3.1 Триангуляционный метод

Триангуляционный метод измерения – это перспективный и широко применяемый подход к решению важных измерительных задач в разных областях науки. Данный метод основан на облучении измеряемого объекта зондирующим лазерным излучением, измерении на фотоприемнике отраженного светового сигнала и определении по известным параметрам – базе и углу триангуляции – расстояния до объекта.

Триангуляционный метод контроля позволяет определить искомое расстояние с использованием известных параметров системы через соотношения треугольника. Данный метод называется триангуляцией потому, что камера, лазерный излучатель и сама лазерная точка на поверхности объекта в совокупности образуют треугольник. Расстояние между лазерным излучателем и камерой, которое является одной из сторон треугольника заранее известно. Угол лазерного излучателя тоже является известной величиной, а угол камеры определяется по расположению лазерной точки в поле обзора камеры.

Эти три характеристики, как правило, формируют размер треугольника и указывают на расположение угла лазерной точки. Лазерная триангуляция осуществляется путем проектирования лазерной точки на поверхность объекта, регистрации ее отражения с помощью датчиков, которые располагаются от лазерного источника на известном расстоянии. В результате получаемый угол отражения, интерпретируется как информация о рельефе. Иллюстрация триангуляционного метода приведена на рисунке 12.

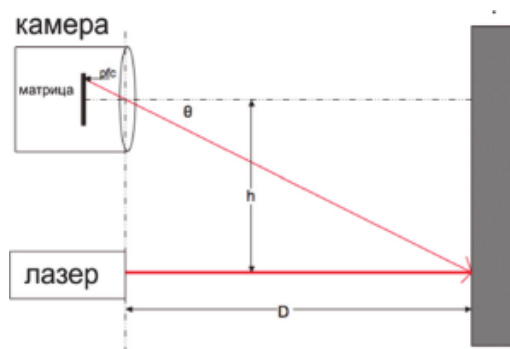


Рисунок 12 – Триангуляционный метод измерения

Проецирование лазерного луча на поверхность объекта происходит в поле зрения камеры. Параллельность этого луча оптической оси камеры является обязательным условием. Таким образом, лазерная точка захватывается вместе с остальным изображением, на котором требуется найти яркое пятно. На фоне более темного объекта точка лазера является более яркой. Расстояние до объекта D , как видно из рисунка 12, может быть рассчитано по формуле:

$$D = \frac{h}{\operatorname{tg} \theta} \quad (3)$$

где h – фиксированное расстояние,

θ – угол наклона плоскости изображения относительно плоскости триангуляции, согласно выражению:

$$\theta = \arctg[(0,1-0,3)\operatorname{tg} \beta] \quad (4)$$

где угол β выбирают в диапазоне (15–35) °.

Метод оптической триангуляции положен в основу современных измерительных устройств, таких как триангуляционные щупы и датчики, лазерные 2D/3D профилометры, лазерные 3D сканеры и другие [4].

К преимуществам данного метода относятся дистанционность (более 1 м) контроля, высокая точность измерений, возможность ведения контроля на высокой скорости.

Недостатками лазерного метода являются высокая стоимость, сложность реализации, влияние шероховатостей.

3 Классификация профилометров

В зависимости от назначения профилометры можно классифицировать следующим образом:

- для лабораторных работ (стационарные);
- цеховые (стационарно–переносные для контроля окончательно обработанных поверхностей);
- цеховые (портативные, предназначенные для межоперационного контроля).

Профилометрия (англ. profilometry) – процесс измерения («снятия») профиля сечения поверхности в плоскости, перпендикулярной к ней и ориентированной в заданном направлении.

Получение профиля поверхностей контролируемых объектов осуществляется с помощью приборов контактного или бесконтактного типа. Приборы, предназначенные для регистрации графического изображения профиля объекта, называются профилометрами или профилографами. В приборах, реализующих контактный метод, профиль объекта регистрируется путем перемещения иглы по исследуемой шероховатой поверхности. К приборам, реализующим бесконтактный метод, относятся оптические и растровые электронные микроскопы, а также приборы, использующие монохроматическое (в частности, лазерное) излучение для сканирования поверхности [5].

Ниже приведено описание некоторых видов профилометров.

3.1 Профилометр – прибор для измерения шероховатости поверхности

Для измерения шероховатости поверхности применяются как контактные, так и бесконтактные профилометры. В контактных приборах, в качестве щупа используется алмазная игла, перемещаемая на исследуемой

поверхности по определенной линии. Механические колебания иглы вызываются неровностями исследуемой поверхности. Эти колебания формируют электрический сигнал, пропорциональный размерам неровностей.

К бесконтактным методам измерения шероховатости поверхности относят оптические (теневой проекции, светового сечения и интерференционные) и лазерные методы.

Количественная оценка шероховатости характеризуется следующими основными параметрами:

- среднее арифметическое значений отклонения профиля от средней линии, R_a ;
- высота неровностей профиля по десяти точкам, R_z ;
- наибольшая высота профиля, R_y ;
- среднеквадратическое отклонение профиля, R_q [6].

Профилометр состоит из измерительного источника сигналов (генератора сигналов), блока обработки сигналов и блока вывода результатов измерений. Объектом является поверхность, шероховатость которой необходимо измерить. В качестве генератора сигналов, используется тонко заточенная алмазная игла. Игла перемещается вдоль поверхности, как это показано на рисунке 13, перпендикулярно её плоскости, таким образом, на шероховатой поверхности возникают колебания иглы. Эти механические колебания являются первичным сигналом, преобразуемым в токовый при помощи индуктивного, ёмкостного или пьезоэлектрического преобразователя. Далее, электрический сигнал поступает на электронный усилитель, после чего интегрируется и визуализируется. Таким образом, на дисплее отображается усредненный параметр, характеризующий не только количественные, но и качественные показатели неровности и шероховатости исследуемой поверхности [7].

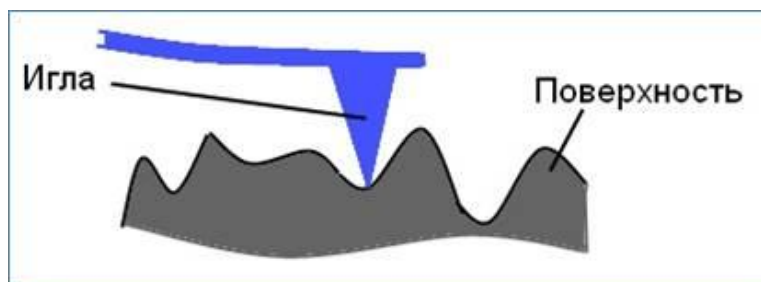


Рисунок 13 – Перемещение иглы по поверхности

3.2 Лазерный профилометр – анализатор тонколистовых материалов

Описываемый ниже прибор относится к дефектоскопам с оптическим зондом. В системах для оценки шероховатости поверхности в качестве оптического зонда используется лазерный пучок, это позволяет бесконтактно оценить микротопографию поверхности.

По сравнению с традиционными профилографами лазерные профилометры обеспечивают более высокую точность измерения.

Профилометр-анализатор «Сапфир», показанный на рисунке 14, предназначен для измерения параметров профиля листовых материалов в графической и табличной формах.

Функционально прибор представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из измерительного блока и рабочей станции, которая снабжена специализированным программным обеспечением.

Измерительный блок представляет собой электромеханическое устройство, которое осуществляет перемещение головки лазерного сканера вдоль измеряемой плоскости листа материала. Блок снабжен встроенным контроллером управления, который осуществляет прием информации от сканера и затем передает ее на рабочую станцию в командно-информационном режиме.

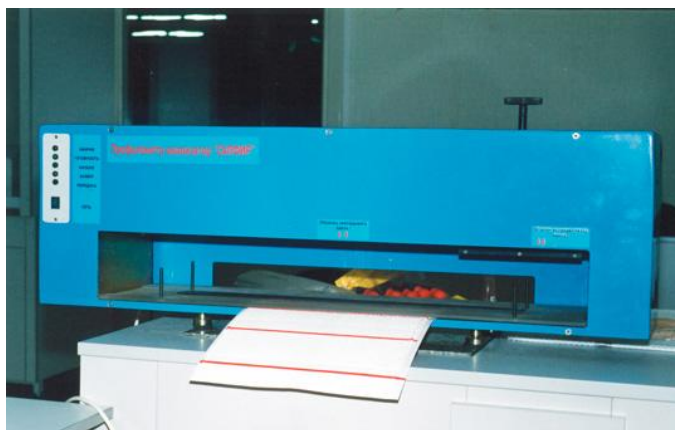


Рисунок 14 – Внешний вид профилометра

Основой сканера является электронно-оптический датчик малых перемещений. Комплект прибора оснащен калибром и специальной оснасткой, позволяющей работать с различными по жесткости материалами. Основные технические данные профилометра приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические данные профилометра

Наименование параметра	Значение
Диапазон измерения профиля, мкм	0–3500
Шаг сканирования, мкм	200
Длина измеряемого сечения, не более, мм	535
Погрешность однократного измерения профиля, не более, мкм	5
Погрешность измерения профиля в динамике, не более, мкм	40
Время сканирования сечения, с	10
Точность позиционирования, не хуже, мкм	400
Класс лазерной безопасности	2

4 Структурная схема

В разработанном устройстве регистрация профиля осуществляется с помощью триангуляционного лазерного датчика, измеряющего в процессе сканирования детали высоту точек контролируемого профиля относительно базовой поверхности датчика.

Датчик включает полупроводниковый лазер, генерирующий излучение видимого диапазона, которое фокусируется линзой на контролируемый объект. В состав датчика также входит приемная оптика, формирующая на CMOS–линейке изображение пятна излучения, рассеянного объектом. Данные с CMOS–линейки считываются микроконтроллером. Контроллер ведет точный расчет угла распределения света на CMOS–линейке и, исходя из этих данных, определяет расстояние до объекта. Величина измеренного расстояния до объекта передается по модулю Wi-fi на мобильное устройство оператора.

Применение микроконтроллера обеспечивает высокую степень линейности и точности выполнения измерений. Совместное применение CMOS–линейки и микроконтроллера позволяет подавить интерферирующие отражения луча и получить точные данные.

Перемещение лазерного датчика контролируется концевыми датчиками и энкодером.

Концевые датчики предназначены для ограничения перемещения датчика для предотвращения перекосов. Энкодер позволяет определить шаг перемещения лазерного датчика.

Управление концевыми датчиками и энкодером осуществляется с помощью микроконтроллера.

Предлагаемая структурная схема устройства приведена на рисунке 15.

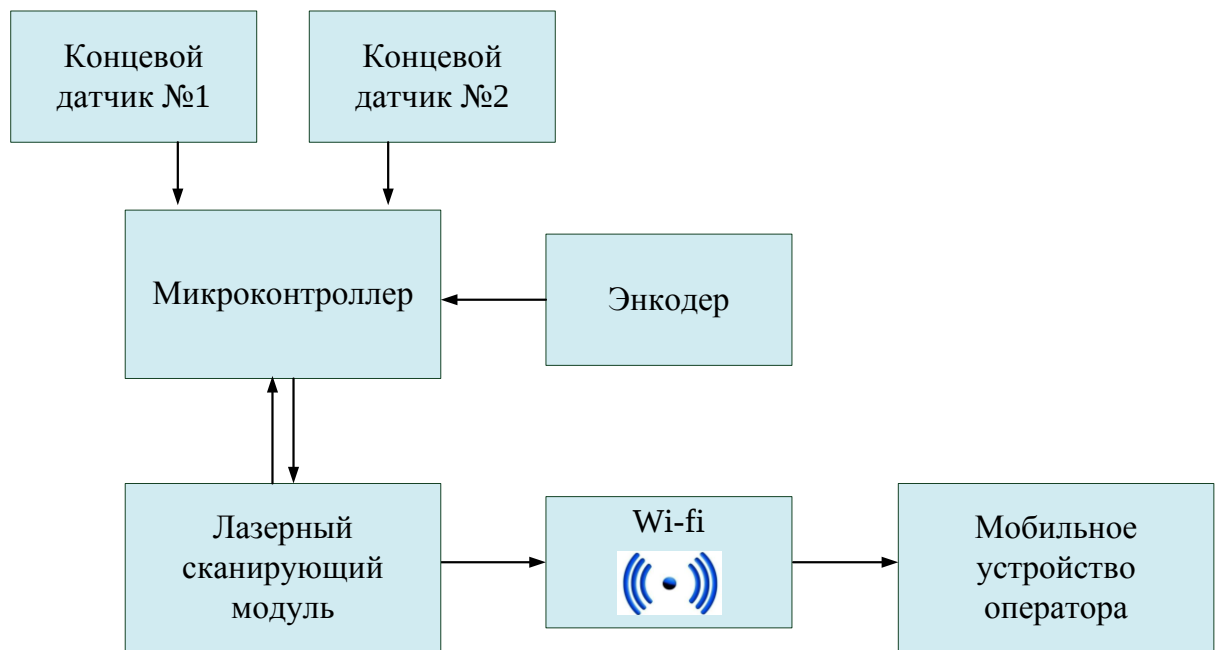


Рисунок 15 – Структурная схема триангуляционного лазерного профилометра

Принципиальная схема лазерного триангуляционного профилометра приведена в приложении А.

5 Выбор элементов структурной схемы

5.1 Выбор лазерного сканирующего модуля

Лазерные датчики применяются для точного позиционирования или обнаружения объектов.

Рабочий диапазон триангуляционных датчиков составляет от долей микрон до нескольких десятков метров. Эти датчики способны работать с объектами любого размера, имеющими различный цвет, сложную структуру поверхности.

В основу работы триангуляционных датчиков положен принцип оптической триангуляции, показанный на рисунке 16. Излучение лазера 1 фокусируется объективом 2 на объекте 6. Рассеянное на объекте излучение объективом 3 собирается на приемнике излучения 4. Процессор сигналов 5 рассчитывает расстояние до объекта по положению изображения светового пятна на приемнике излучения 4. Перемещение объекта 6 – 6' вызывает соответствующее перемещение изображения.

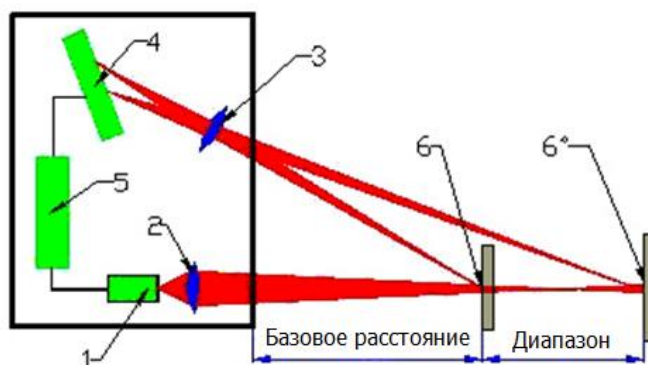


Рисунок 16 – Принцип работы триангуляционного датчика

Интенсивность отраженного излучения, которая регистрируется датчиком, зависит от свойств поверхности контролируемого объекта. Мощность излучения лазера и время накопления излучения, которые падают на приемник излучения, регулируются автоматически для получения оптимального сигнала и достижения максимальной точности измерения.

При выборе триангуляционного датчика, необходимо предусмотреть следующие компоненты: источник излучения, светофильтры, основная линза, фокусирующая оптика, приемник излучения, электронные и механические компоненты. Так как в работе стоит задача бесконтактных измерений, то расстояние от источника света до объекта измерений (в данной работе рабочая поверхность профиля рельса) должно быть определенным. Точность измерения перемещения объекта $b - b'$ будет низкой, если расстояние от источника света до объекта контроля будет больше чем необходимо.

Для того чтобы датчик удовлетворял условиям задачи, источник света должен располагаться на максимальном расстоянии от объекта. На рисунке 17 изображен угол между источником излучения, объектом контроля и приемником излучения (ADF), величина которого составляет 30° , 45° и 60° . Фокусное расстояние главной линзы (E) одинаково для каждого случая.

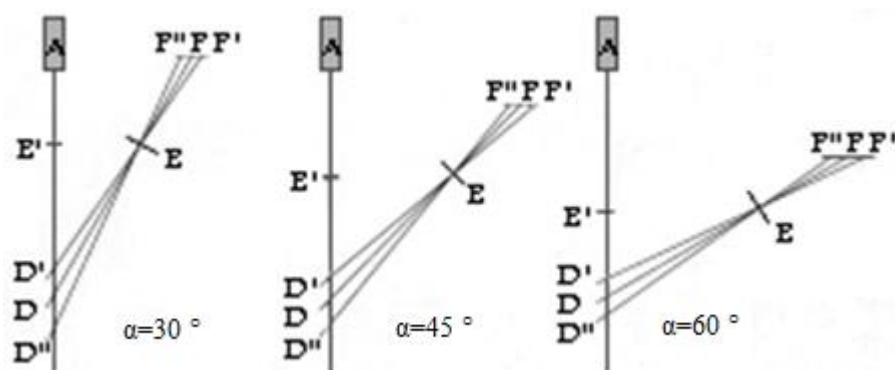


Рисунок 17 – Устройство триангуляционного датчика

Наибольшее расстояние (диапазон измерений) $D'D''$ получается при $\alpha = 30^\circ$, когда угол ADF наименьший, соответственно и расстояние AF будет наименьшим. Расстояние AF определяет минимальные линейные размеры триангуляционного датчика. Величина угла ADF выбирается исходя из расстояния от источника света до измеряемого объекта, диапазона измерений, требований к точности и размерам триангуляционного датчика.

Рекомендуется выбирать угол ADF в диапазоне от 30° до 45° .

Приемник излучения, используемый в триангуляционном датчике, играет важную роль. Различают три типа приемника излучений: позиционно-

чувствительные датчики, КМОП-матрицы (комплементарный металл-оксидный полупроводник) и ПЗС-матрицы (прибор с зарядовой связью).

Позиционно-чувствительный датчик представляет собой фотодиод со светочувствительным элементом в форме полосы. Положение луча на поверхности диода характеризуется коэффициентом двух выходных токов. Основными характеристиками датчиков являются:

- относительно хорошее разрешение на однородных и размытых отражающих материалах;
- недорогая экономичная технология изготовления;
- портативность габаритных размеров датчиков;
- относительно высокая скорость измерений.

КМОП-матрица представляет собой высокоинтегрированный полупроводниковый компонент, который состоит из нескольких "светособирающих" пикселей и схемы обработки данных. Положение объекта контроля определяется распределением яркости света. Основные характеристики КМОП-матриц:

- очень высокое разрешение и точность при работе с любыми материалами;
- высокая надежность измерений даже при сильной контрастности;
- высокая скорость измерений;
- недорогое решение;
- позволяет создавать сравнительно портативные корпуса датчиков.

ПЗС-матрица представляет собой полупроводниковый элемент из собранных в линию фотодиодов. Местоположение светового луча определяется последовательным считыванием данных о яркости. Преимущества ССD элемента:

- высокое разрешение и точность при работе с любыми материалами;
- относительно высокая скорость измерений;

- фотореалистическое сканирование света.

ПЗС-матрица подходит для цифровой фотографии.

КМОП-матрицы подходят для решения сложных производственных задач. Сочетание лазерного источника и КМОП-матрицы, является предпочтительным вариантом, т.к. снижает до минимума влияние внешних условий. КМОП-матрица может определять количество светового потока в каждом пикселе при контролируемой скорости затвора, что позволяет точно определять максимум значения в видимой области.

При выборе датчика также необходимо учесть тот факт, что лазерные датчики пригодны для температурного диапазона от минус 10 до 60 °С. Срок службы датчиков составляет около 50, 000 часов.

В данной работе используется лазерный триангуляционный датчик, который предназначен для бесконтактного измерения и контроля размеров, профиля поверхности рельса и её деформаций. В датчиках установлен полупроводниковый лазер с непрерывным излучением и длиной волны 660 нм. Лазерный триангуляционный датчик показан на рисунке 18.



Рисунок 18 – Лазерный триангуляционный датчик

Технические характеристики датчика:

- мощность излучения 1 мВт;
- напряжение питания 9-39 В;
- потребляемая мощность 1,5-2 Вт;
- максимальная выходная мощность 5 мВт;
- класс защиты IP67;
- выходной интерфейс RS232;
- материал корпуса алюминий.

5.2 Выбор источника питания лазерного сканирующего модуля

Выбор типа аккумулятора зависит от выбора необходимых его характеристик. Применяемые аккумуляторы отличаются по количеству циклов перезарядки, максимальному сроку хранения, отдаваемой емкости, размерам, температурному диапазону работы, возможностям ускоренной зарядки и т. д.

Аккумуляторы могут выполняться в виде одного элемента или нескольких элементов, последовательно включенных и оформленных в одном корпусе - батарее. Некоторые модели аккумуляторов могут иметь в своем составе электронные элементы управления, которые обеспечивают контроль режима заряда и защиту аккумулятора от неправильной эксплуатации.

В общем можно выделить несколько подходов при конструировании разных типов аккумуляторов. Например, свинцово-кислотный аккумулятор состоит из двух электродов, помещенных в электролит (водный раствор серной кислоты). Никелево-кадмиевый элемент содержит скатанные вместе отрицательную и положительную пластины, которые помещены в металлический цилиндр. Никелево-металлогидридный аккумулятор отличается от никелево-кадмиевого аккумулятора другим химическим составом электролита и электродов. Литиево-ионный аккумулятор состоит из электродов и сепаратора (разделитель), которые помещены в электролит из литиевой соли.

Аккумуляторы характеризуются ёмкостью, выражаемой в ампер-часах (А·ч, мА·ч) или ватт-часах (Вт·ч). Это количество энергии, которую батарея отдает в нагрузку за один час. К примеру, аккумуляторная батарея номинальной емкостью 1200 мА·ч отдает в нагрузку в течение одного часа ток равный 1200 мА.

Основные преимущества никелево-кадмиевые (Ni-Cd) аккумуляторов:

- высокая устойчивость к перепадам температур;

- хорошая устойчивость к большим токам заряда и разряда, благодаря малому внутреннему сопротивлению, которое позволяет отдавать большие токи (другие типы аккумуляторов это не устраивает);

- большое количество циклов «заряда-разряда».

Никелево-кадмиевый аккумулятор лучше всего отдает максимальную емкость, обеспечивает большое количество циклов заряда и разряда, если периодически осуществлять глубокие разряды (до 1 В на элемент).

К недостатком никелево-кадмиевого аккумулятора можно отнести:

- наличие так называемого «эффекта памяти»;
- данный тип аккумулятора экологически загрязнен, так как кадмий является высокотоксичным веществом;

- сравнительно низкая удельная емкость.

Никелево-металлогидридные (Ni-MH) аккумуляторы обладают более высокой плотностью энергии по сравнению с Ni-Cd.

Преимущества Ni-MH аккумулятора по сравнению с Ni-Cd:

- большая удельная емкость и меньший вес;
- менее склонен к «эффекту памяти»;
- состав аккумулятора имеет меньшее количество токсичных металлов, поэтому считается экологически чистым.

Недостатками по сравнению с Ni-Cd аккумулятором являются:

- меньшее количество циклов заряда разряда;
- низкая нагрузочная способность, т.е. не может отдавать большие токи;
- саморазряд более чем в 1,5 раза выше, что является важным параметром при хранении;

Литиево-ионные (Li-Ion) аккумуляторные батареи обладают высокой удельной емкостью Li-Ion, которая определяет их преимущество. Литий - очень легкий металл, который имеет самый большой электрохимический потенциал и обеспечивает самое большое содержание энергии. Кроме того, Li-Ion обладает относительно низким саморазрядом и полным отсутствием

«эффекта памяти». Количество циклов «заряда-разряда» немного больше, чем у Ni-MH аккумулятора.

К основным недостаткам литиево-ионных аккумуляторных батарей можно отнести высокую стоимость и малый диапазон рабочих температур.

Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи в отличие от других типов аккумуляторных батарей используются, когда нужна большая емкость.

Достоинства герметичных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей:

- полное отсутствие «эффекта памяти»;
- низкий саморазряд;
- количество циклов может достигать 800-1000, в зависимости от средней глубины разрядки.

К недостаткам этих батарей можно отнести:

- низкая удельная емкость;
- не допустимы глубокие циклы разряда (влияет на сокращение количества циклов «заряда-разряда»).

Для питания лазерного модуля бала выбрана свинцово-кислотная аккумуляторная батарея с напряжением 12 В и емкостью 7 Ач. Положительная пластина состоит из диоксида свинца, а отрицательная пластина из свинца. Данная батарея имеет полностью герметичную конструкцию, утечка электролита невозможна. Свинцово-кислотная аккумуляторная батарея показана на рисунке 20.



Рисунок 20 – Свинцово-кислотный аккумулятор

Технические характеристики батареи:

- саморазряд 3% ёмкости в месяц при 20°C;
- метод заряда: заряд постоянным напряжением;
- максимальный зарядный ток 2,1 А;
- температура эксплуатации от минус 20 до 60 °C;
- Срок службы от трех до пяти лет.

5.3 Выбор микроконтроллера

В настоящее время существует большая номенклатура микроконтроллеров, которая позволяет выбрать оптимальный для тех или иных областей применения. Микроконтроллер представляет собой функционально-сложное программно-управляемое устройство, характеризующееся большим количеством параметров.

Трудность выбора микроконтроллера для конкретной задачи осложняется тем, что для решения подходят практически все существующие типы. В целом можно выделить две группы измерительных устройств, для каждой из которых применяются свои типы микроконтроллеров:

- промышленное оборудование для контроля и управления процессами;

- аппаратуры для лабораторного анализа и исследований.

К характерным чертам первой группы можно отнести:

- работа в реальном масштабе времени;
- преобладание обработки информации с пониженной длиной информационного слова с использованием простейших арифметических и логических команд;
- повышенные требования к надежности, помехозащищенности, простоте обслуживания;

- максимальная загрузка используемой аппаратуры для достижения высоких технико-экономических показателей.

К характерным чертам второй группы можно отнести:

- разделение циклов измерения и обработки;
- вычисления с повышенной точностью и сложных математических преобразований;
- высокая степень перестраиваемости и универсальности.

Успешная разработка измерительной системы во многом зависит от правильного выбора типа микроконтроллера.

Микроконтроллеры семейства AVR имеют особенность, которая отличает их от остальных микроконтроллеров: для AVR не существует понятия машинного цикла, т.к. большинство команд выполняется за один такт. Микроконтроллеры семейства AVR делятся на две группы: Tiny и Mega.

Микроконтроллеры семейства AVR наилучшим образом сочетают в себе высокую производительность в реальном времени, большую степень интеграции и низкое потребление энергии, являясь эталоном 8/16-разрядных микроконтроллеров.

В данной работе выбран микроконтроллер типа ATXMEGA32A4.

Ключевыми особенностями микроконтроллеров AVR XMEGA являются:

- высокоточные аналоговые функции: 12-разрядные аналого-цифровые преобразователи с усилительным каскадом и общей производительностью 4 млн выборок в секунду, быстродействующие 12-разрядные цифроаналоговые преобразователи высокой мощности;
- высокий уровень интеграции: устройства AVR XMEGA объединяют в себе криптоблоки, до 32 выходов широтно-импульсной модуляции (ШИМ), 8 интерфейсов UART, 4 интерфейса TWI (I2C) и 4 канала последовательного периферийного интерфейса, модуль генератора для циклического контроля избыточности и др.;

- библиотека программного обеспечения AVR: полная библиотека драйверов устройств и коммуникационных стеков, что позволяет сэкономить время и усилия для решения более важных задач проектирования;

- подключение устройств USB: полноскоростное функционирование без необходимости во внешних кристаллах, 31 вывод для подключения устройств, а также специальная функция многопакетной передачи, которая позволяет увеличить скорость обмена данными, снизив нагрузку на ЦП.

Микроконтроллер ATXMEGA32A4 является маломощным и высокоэффективным КМОП микроконтроллером с большим набором периферийных устройств. Микроконтроллер выполнен на основе RISC-архитектуры (Reduced Instruction Set Computing, вычисления с сокращенным набором команд), что предполагает наличие набора команд, состоящего из минимума компактных и быстро выполняющихся инструкций. За счет выполнения большинства инструкций за один цикл синхронизации, микроконтроллер достигает высокой производительности, что даёт возможность оптимизации соотношения потребляемой мощности и производительности обработки.

Микроконтроллеры ATXMEGA32A4 являются изделиями общего назначения и могут применяться в широком диапазоне устройств, например, коммуникационное оборудование, измерительные приборы, оптические трансиверы, системы управления электроприводами, приборы с батарейным питанием и т.д.

В данном микроконтроллере используется аналого-цифровой преобразователь (АЦП), обеспечивающий высокую скорость и высокое разрешение. В состав АЦП входит до четырех преобразовательных каналов, конфигурация каждого из которых при необходимости может настраиваться отдельно.

Характеристики АЦП:

- разрешение 12 бит;

- до 2 млн. выборок в секунду на каждый АЦП;
- дифференциальный и несимметричный вход;
- встроенный усилительный каскад и др.

Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) снабжены двумя независимыми каналами, каждый из которых способен производить преобразование на скорости до 1 млн. выборок в секунду.

Характеристики ЦАП:

- разрешение 12 бит;
- до 1 млн. выборок в секунду на канал ЦАП;
- Сила тока на выходе 10 мА.

АЦП и ЦАП микроконтроллера могут использовать и внутренние, и внешние точные источники опорного напряжения.

Центральный процессор в микроконтроллере разработан таким образом, чтобы минимизировать длину кода, но при этом максимально увеличив скорость выполнения команд. Арифметические и логические операции выполняются за один цикл. Регистровый файл имеет возможность быстрого доступа к любому из тридцати двух 8-разрядных рабочих регистров общего назначения. За один тактовый цикл в арифметическое логическое устройство можно загрузить содержимое двух произвольных регистров, выполнить требуемую операцию и записать результат обратно.

Функция сброса по включению питания гарантирует корректность выполнения циклов включения и выключения питания устройства. При очень низком напряжении питания эта функция обеспечивает сброс устройства до того, как произойдет потеря содержимого оперативной памяти и регистров.

Функция обнаружения падений напряжения позволяет отслеживать напряжение питания и осуществлять сброс устройства, при падении напряжения ниже установленного уровня. Уровень напряжения для отслеживания может быть выбран из разных значений между 1,6 и 3,0 В. Это позволяет установить минимальный уровень для конкретного приложения.

Использование таймера сторожевого устройства позволяет отслеживать процесс выполнения программ, и позволяет восстановиться после программных ошибок.

Технические характеристики ATXMEGA32A4 приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики

Параметр	Значение
Размер ядра	8/16-Бит
Скорость, МГц	32
Число вводов/выводов	34
Напряжение источника (Vcc/Vdd), В	1,6 – 3,6
Размер программируемой памяти, Кб	32
Тип программируемой памяти	FLASH
Размер памяти	4К x 8
Рабочая температура, °С	от минус 40 до 85

5.4 Выбор Wi-Fi модуля

В последнее время возросло распространение Wi-Fi-сетей, что позволяет использовать ее в качестве «последней мили» для автоматизации в промышленности. Wi-Fi-сеть позволяет передавать данные в реальном времени на любые современные гаджеты – персональные компьютеры, планшеты, ноутбуки и смартфоны.

До недавнего времени ограничения ее применения во встраиваемых приложениях были связаны с относительной дороговизной и сложностью интеграции Wi-Fi-технологии.

Таким образом, для упрощения работы оператора необходимо выбрать простой Wi-Fi-модуль. В данной работе был выбран Wi-Fi-модуль серии SPWF01SA производства компании STMicroelectronics. Данные модули имеют простоту интеграции и стоимость, соизмеримую со стоимостью радиомодулей Bluetooth.

Wi-Fi модуль SPWF01SA, показанный на рисунке 21, является интеллектуальным модулем преобразователя последовательного интерфейса в беспроводной Wi-Fi.

Интеллектуальный Wi-Fi модуль является готовым к работе встраиваемым или автономным решением стандарта IEEE 802.11 b/g/n, который позволяет добавить функции беспроводного Internet соединения в новые пользовательские продукты.



Рисунок 21 – Wi-fi модуль серии SPWF01SA

Wi-fi модуль разработан на основе однокристального приемопередатчика беспроводной связи стандарта 802.11 с интегрированным усилителем мощности и 32-битного микроконтроллера семейства STM32. Модуль имеет схему тактирования и преобразователь напряжения и встроенную микро-антенну с диапазоном частот 2,45 ГГц. Низкий уровень энергопотребления и компактные размеры позволяют применять модуль в стационарных и мобильных беспроводных устройствах с питанием от аккумуляторной батареи.

Отличительные особенности Wi-fi модуля SPWF01SA:

- приемопередатчик на 2,4 ГГц беспроводной связи с внутренним усилителем мощности;
- микроконтроллер STM32 на базе ядра ARM;
- FLASH-память объемом 1,5 Мбайт и RAM-память объемом 64 Кбайт;
- кварцевый резонатор на 32 кГц для работы в режиме пониженного энергопотребления;

- 16 линий ввода/вывода общего назначения, отладочный интерфейс и последовательный порт с поддержкой интерфейсов UART, SPI, I2C;
- сертифицированы на соответствие требованиям стандартов FCC/CE/IC.

Wi-Fi-модуль работает от единого источника с напряжением 3.6 В. Потребление тока лежит в пределах от 25 мА в режиме сканирования, а в режиме передачи до 250 мА. Выходная мощность модуля 18 дБм и чувствительность до минус 96 дБ. Это позволяют увеличить дальность связи в несколько сотен метров на открытом пространстве. Модуль выполнен в SMD-исполнении (Surface Mounted Device, прибор монтируемый на поверхность) с краевым расположением контактов, это позволяет использовать ручную пайку обычным паяльником. Модули работают в температурном диапазоне от минус 40 до 85 °С.

5.5 Выбор интерфейса

Существующие интерфейсы можно разделить на два класса: последовательные и параллельные. Первыми появились последовательные интерфейсы, которые до настоящего времени являются неотъемлемой частью любого компьютера. Самым широко применяемым последовательным интерфейсом RS-232. Для работы с внешними устройствами, которые требуют высоких скоростей обмена, создали параллельные интерфейсы.

Последовательные интерфейсы превзошли параллельные по многим функциональным параметрам, и в настоящее время они применяются для большинства внешних подключений.

Использование интерфейсов RS-422 и RS-485 сопровождается необходимостью применения дополнительного устройства и программного драйвера, что не всегда может быть удобно.

При выборе интерфейса для измерительного оборудования необходимо обратить внимание на следующие особенности, такие как малые габариты, повышенная устойчивость, низкая стоимость и наличие гальванической развязки.

Интегрированная схема гальванической развязки на базе миниатюрных трансформаторов интерфейса RS-232 позволяет реализовать однокристалльные, изолированные приемопередатчики RS-232, которые подходят под все вышеперечисленные требования.

В разработанном устройстве выбран одноканальный приемопередатчик ADM3251E, который обеспечивает компактное, высокопроизводительное и надежное решение.

Микросхема ADM3251E предназначена для построения гальванически развязанного интерфейса RS-232. Внешний вид микросхемы показан на рисунке 22.



Рисунок 22 – Внешний вид ADM3251E

Приемопередатчик RS-232 изготовлен в корпусе для поверхностного монтажа. Он имеет полную гальваническую развязку линий данных и напряжения питания. Выдерживаемое напряжение питания 2,5 кВ, обеспечивает соответствие требованиям к гальванической развязке, предъявляемые промышленными стандартами. В режиме молчания микросхема потребляет 100мА, в режиме активного общения до 110мА.

Приемопередатчик гарантирует устойчивое функционирование в рабочих условиях с высоким шумом. Корпус приемопередатчика позволяет уменьшить занимаемую площадь на печатной плате по сравнению с традиционными микросхемами. Характеристики ADM3251E представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики микросхемы ADM3251E

Параметр	Значение
Минимальное положительное напряжение питания, В	4,5
Скорость передачи, кбит/с	460
Выдерживаемое напряжение, кВ rms	2,5
Защита от электростатического разряда	15

5.6 Выбор энкодера

Энкодер является контроллером (датчиком) положения который позволяет определить положение вращающейся оси. Энкодер основан на преобразовании механического движения в электрические сигналы, позволяющие установить положение объекта, а также получить информацию об угле поворота направлении вращения и его положения.

Существуют типы энкодеров можно разделить на инкрементальные и абсолютные.

Инкрементальный энкодер позволяет определить угол поворота вращающегося объекта, выдавая импульсный цифровой код. Данный энкодер применяется для определения скорости вращения оси, когда при выключенном питании сохранение значения углового положения не принципиально. Таким образом, если включить энкодер, отсчет поворота угла будет производиться с нуля. Простота, надежность и относительно низкая стоимость отличают инкрементальные энкодеры от абсолютных.

Абсолютный энкодер позволяет определять угол поворота оси посредством выдачи цифрового кода, который отличается для каждого положения объекта. При исчезновении и восстановлении питания объект остается в одном и том же положении. Так как угол поворота всегда известен, то счетчик импульсов в этом случае не нужен.

При выборе энкодера следует учесть следующие требования:

- число импульсов на оборот, данный параметр влияет на точность системы – точность выше при большом числе импульсов;

- вал, отверстие под вал и их диаметр, данный параметр определяет способ передачи вращения;
- выходной сигнал энкодера;
- напряжение питания;
- требования по крепежу; данный параметр определяет устойчивость установки энкодера;
- защита энкодера от влаги и пыли.

В разработанном устройстве выбран инкрементальный энкодер фирмы SICK серии DKS 40, представленный на рисунке 23.



Рисунок 23 – Внешний вид энкодера DKS 40

Данный энкодер выполнен в компактном корпусе диаметром 50 мм. Энкодер поддерживает электрические интерфейсы, имеет возможность подключения с радиальным или осевым отводом кабеля и обеспечивает количество линий от 1 до 2048.

Технические характеристики энкодера DKS 40:

- диаметр вала: 8x13 мм;
- выходной интерфейс: HTL/push pull, открытый коллектор NPN, TTL/RS-422;
- диапазон напряжений: 4,5 – 30 В;
- тип подключения: кабель длиной от 0,5 до 5 м;
- количество шагов на оборот: 1 – 2500;
- степень защиты IP64;
- рабочий диапазон температур 0 – 60 °С.

5.7 Выбор концевых датчиков

Основным источником информации для определения положения механических узлов оборудования в промышленной автоматике можно назвать датчики положения.

Для измерения положения и перемещения объектов самыми распространенными являются оптические датчики, после концевых выключателей. Оптические датчики имеют возможность проводить бесконтактное измерение, а также определять физическое положение объектов, которые перемещаются с большой скоростью. Расстояние обнаружения составляет сотни метров, при этом точность определения положения объекта может достигать десятых долей микрона.

Конструктивно оптические датчики положения состоят из оптического излучателя и фотоприемника. Фотоприемник регистрирует световой поток от излучателя, тем самым вызывая определенное состояние датчика. Если на пути светового луча возникает непрозрачный объект, это приводит к изменению на фотоприемнике светового потока, и соответственно к другому состоянию датчика.

Оптические датчики положения выпускаются в унифицированных и специальных корпусах и имеют стандартные выходные сигналы. Это позволяет заменять ими индуктивные или емкостные датчики, если на производстве происходит изменение и перестроение автоматической линии.

При выборе оптических датчиков следует рассматривать объект измерения и отталкиваться от его свойств. Так, например, блестящие или прозрачные объекты могут детектироваться оптическими сенсорами одного типа, но для датчиков другого типа детектировать подобные объекты будет тяжело.

В данной работе выбран оптический датчик положения фирмы Kingbright серии KTIR0411S. Этот датчик сочетает в себе высокие технические характеристики, приемлемую конструкцию и низкую цену. Внешний вид датчика показан на рисунке 24.

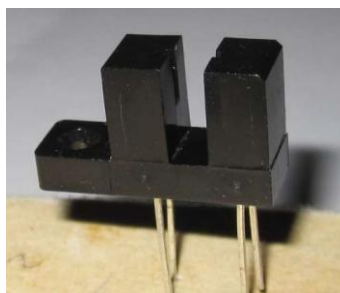


Рисунок 24 – Оптический датчик KTIR0411S

Датчик выполнен в пластиковом литом корпусе, в котором находятся оптический излучатель и оптический приемник. Между излучателем и приемником находится щель шириной 3 мм. Датчик показывает наличие или отсутствие в этой щели светонепроницаемого предмета.

Технические характеристики оптического датчика KTIR0411S:

для входного светодиода:

- прямое напряжение на светодиоде 1,2 – 1,5 В;
- обратный ток светодиода 10 мкА;

для выходного транзистора:

- напряжение насыщения коллектор-эмиттер 0,4 В;
- ток закрытого транзистора 100 нА;

для передаточной характеристики:

- коэффициент передачи тока (напряжение коллектор-эмиттер 5 В, ток светодиода 20 мА) 38 %;
- время отклика на положительный фронт (напряжение коллектор-эмиттер 2 В, ток коллектора 2 мА) 5 – 25 мкс;
- время отклика на отрицательный фронт (напряжение коллектор-эмиттер 2 В, ток коллектора 2 мА) 4 – 20 мкс.

6 Конструкторско-технологическая часть

6.1 Разработка конструкции

При разработке лазерного триангуляционного профилометра для бесконтактной регистрации профиля рабочей поверхности рельса, были приняты во внимание следующие технологические требования:

- минимальное количество деталей;
- надежность применяемых деталей;
- удобство эксплуатации;
- малая потребляемая мощность;
- высокая чувствительность;
- минимальная погрешность.

Разрабатываемый профилометр предназначен для работы на железнодорожных путях в полевых условиях.

Конструктивно профилометр состоит из трех узлов:

- каркас устройства;
- каретка;
- электронный блок.

Каркас устройства является механизмом крепления лазерного сканирующего модуля на рельсовую колею. На каркасе устройства установлена дуга-держатель, с перемещаемой кареткой от привода. Привод предназначен для осуществления перемещения и крепится на каретке винтом крепления. Чертеж дуги-держателя приведен в приложении Б.

На каретке закреплен лазерный сканирующий модуль с возможностью его перемещения. Модуль предназначен для бесконтактной регистрации профиля рабочей поверхности рельса. Модуль устанавливается таким образом, чтобы контролируемый объект располагался в зоне рабочего диапазона модуля. Лазерный модуль содержит излучатель и приемник

отраженного сигнала, который установлен под углом, симметрично относительно оптической оси лазерного излучателя.

Электронный блок включает с себя печатную плату и аккумулятор для лазерного модуля. Электронный блок установлен в герметичном пластиковом корпусе, который показан на рисунке 25.



Рисунок 25 – Корпус электронного блока

Внутренняя часть основания корпуса имеет отливы для горизонтального крепления печатной платы, подсоединения клемм и др. Отливы имеют отверстия с запрессованными латунными резьбовыми втулками. Крепление крышки осуществляется немагнитными винтами М4, которые вкручиваются в латунные резьбовые втулки. Герметизация корпуса по классу IP65 и обеспечивается соединением типа «выступ-паз» на крышке и корпусе и наличием неопренового уплотнителя. Габаритные размеры составляют: по длине 160 мм, по ширине 80 мм и по высоте 55 мм. Габаритный чертеж корпуса приведен в приложении В.

Конструкция профилометра выполнена согласно вышеприведенным требованиям. С целью повышения ремонтопригодности, все элементы, размещенные на печатных платах, расположены маркировкой наружу и имеют буквенное обозначение на плате.

Общий вид профилометра приведен на рисунке 26.

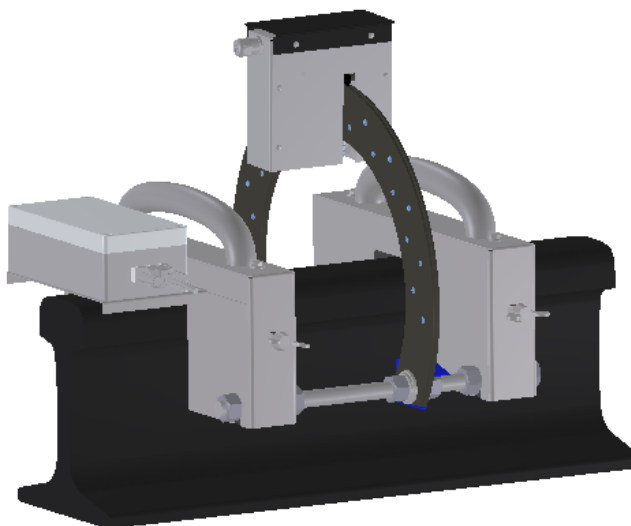


Рисунок 26 – Общий вид профилометра

6.2 Общие требования к изготовлению печатной платы

Печатная плата (ПП) является основной конструктивной базой современных радиоэлектронных средств. На печатной плате устанавливаются все радиоэлектронные компоненты. Печатная плата, являясь несущей конструкцией, объединяет электрорадиоэлементы в функциональные узлы различного назначения и сложности при помощи электрического печатного монтажа.

Основание ПП должно быть однородным без посторонних включений, расслоений материала основания, трещин и загрязнений. Контуры печатной платы, пазов и вырезов должны быть выполнены без заусенцев и зазубрин. Материал основания ПП должен быть прочным, чтобы при обработке не образовывались трещины, отслоения и другие неблагоприятные явления, которые влияют на эксплуатационные свойства и на электрические параметры платы. Элементы проводящего рисунка должны иметь ровные края, без разрывов, темных пятен, вздутий и отслоений.

Качество и надёжность печатной схемы платы определяется прочностью сцепления печатных проводников с основанием ПП. Радиоэлементы с гибкими выводами (резисторы, конденсаторы и т.п.),

должны выдерживать не менее 5 одиночных перепаек. Печатные платы, которые предназначены для установки многовыводных элементов (микросхемы и т.п.) должны выдерживать не менее 3 перепаек. Устойчивость при механических воздействиях и прочность печатной платы должна обеспечиваться конструкцией блока.

6.3 Конструктивные параметры печатной платы

При проектировании печатной платы необходимо минимизировать её стоимость и, соответственно, число проводящих слоев.

На качество проектирования печатных плат влияют степень сложности, способ изготовления, назначение изделия, условия эксплуатации, диапазон частот и рабочих напряжений.

В общем случае можно выделить следующие процедуры проектирования ПП:

- выбор типа ПП, ее габаритов и материала основания;
- выбор и расчёт элементов печатного рисунка;
- размещение электрорадиоэлементов;
- трассировка печатных элементов;
- выбор конструкционных покрытий;
- анализ показателей надежности.

Одной из характеристик печатной платы, определяющей номинальные, минимальные, максимальные и точностные значения элементов печатного рисунка и параметров печатных плат является класс точности.

При проектировании ПП выделяют 5 классов точности в соответствии ГОСТ 23752-79. Исходя из рекомендуемых характеристик, выберем ПП с классом точности 3. Данный класс точности подходит для печатных плат с интегральными микросхемами и высокой плотностью монтажа (3 и 4-я

группы сложности). Влияние класса точности на параметры ПП представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры печатной платы

Минимально допустимые геометрические параметры печатных плат			
Ширина проводника t , мм	Расстояние между проводниками S , мм	Ширина гарантийного пояса b , мм	Относительная толщина платы J , мм
0,25	0,25	0,10	0,33

Материал основания печатной платы выбирается в соответствии с электрическими характеристиками, климатическими воздействиями, стойкостью к механическим воздействиям, типом печатной платы (количество слоев) и способа ее изготовления. Материалом основания разработанной печатной платы является стеклотекстолит фольгированный марки СФ-1 ГОСТ 10316–78.

На такие свойства печатной платы, как жесткость и теплопроводность, кроме материала основания оказывает влияние и его толщина. Толщина печатной платы зависит от используемой элементной базы и воздействующими механическими нагрузками. В данном устройстве толщина печатной платы была выбрана равной 1,5 мм.

Независимо от способа задания габаритов предварительно определяется необходимая площадь печатной платы.

Площадь, занимаемая элементами вычисляется как сумма установочных площадей элементов S_i . Расчетная площадь печатной платы S_p , необходимая для расположения n -го количества элементов (рабочая или монтажная зона), определяется по формуле:

$$S_p = (\sum S_i) / k_z \quad (5)$$

где k_z – коэффициент заполнения по площади, принимается равным 0,6–0,7.

Контур площадки, занимаемой на печатной плате i -м навесным элементом, называют установочной площадью, которая для большинства элементов рассчитывается по формуле:

$$S_{уст} = 1,25 \times B \times L \quad (6)$$

где В - ширина элемента;

L - длина элемента.

Численные значения размеров длины и ширины печатной платы выбираются в соответствии с ОСТ 4.010.020–83. Рекомендуется разрабатывать печатные платы с соотношением сторон не более 3:1. Разработанная плата имеет размеры 70х150 мм.

При вычислении габаритов ПП учитывается расстояние от края платы до центра крепежного отверстия, которое должно быть не менее 5 мм.

Монтажные отверстия необходимо располагать в зоне контактных площадок. Металлизированные отверстия должны иметь контактные площадки с двух сторон печатной платы. Контактные площадки имеют круглую форму диаметром 3,5 мм. Контактные площадки для установки микросхем имеют квадратную форму. Диаметры отверстий выбраны равными 0,9 мм, а не металлизированные отверстия диаметром 3,5мм.

При размещении элементов на печатной плате необходимо учитывать:

- возможность легкого доступа к элементам;
- возможность конвективной теплоотдачи в зоне расположения теплонагруженных элементов;
- размещение массивных и крупногабаритных элементов вблизи элементов крепления платы [8].

Для повышения качества и надёжности проводников применяются гальванические покрытия. Они обеспечивают защиту проводников от коррозии, увеличивают сопротивление механическому износу и позволяют повысить предельно допустимые токи в схеме.

Пайка элементов и проводников производится припоем ПОС-61 ГОСТ 21931-76. Маркировка элементов производилась шрифтом 2,5 по Н0.010.007, белой краской по ТУ 029-02-859-78.

Разводка печатной платы выполнялась при помощи программы P-CAD 2001. Сборочный чертеж печатной платы приведен в приложении Г.

7 Анализ погрешности разрабатываемого устройства

Результат измерений всегда отличается от истинного значения измеряемой величины, даже при рационально спланированной методике измерения и тщательности выполнения измерительных операций. Погрешностью называется отклонение результата измерений от истинного значения измеряемой величины.

Величина погрешности характеризует точность, которая является основной оценкой качества любой измерительной системы.

В общем случае погрешность измерения характеризуется рядом влияющих факторов.

Для корректной оценки погрешности измерений необходимо провести расчет характеристик всех составляющих погрешности на основе имеющейся исходной информации, и после этого определить ее суммарное значение.

По характеру проявления и по способу обнаружения погрешности измерений подразделяются на систематические и случайные.

Составляющую погрешности измерения, которая остается постоянной или изменяется по определенному закону при повторных измерениях одной и той же величины называют систематической погрешностью. Это объясняется тем, что причины, вызывающие систематическую погрешность, остаются постоянными или изменяются определенным образом и имеется строгая функциональная зависимость, которая связывает эти причины с погрешностью.

Как правило, систематические погрешности могут быть скомпенсированы введением соответствующих поправок, если причины и вид функциональной зависимости заведомо известны. Однако вследствие неточности поправок и погрешностей средств измерений величин, значения которых используются для вычисления поправок, в большинстве случаев удастся скомпенсировать лишь какую-то часть систематической

погрешности. Оставшуюся некомпенсированную часть называют неисключенным остатком систематической погрешности.

В отличие от систематических погрешностей случайные погрешности невозможно исключить из результатов измерений путем введения поправок, даже при известных причинах и источниках, которые их вызывают. Как правило, для уменьшения их влияния на результаты измерений может быть достигнуто путем увеличения числа измерений.

Составляющая погрешности измерений, которая изменяется случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины называется случайной погрешностью.

Случайные погрешности характеризуются случайным характером проявления физических процессов, происходящих в работающем приборе (трением, случайным дрейфом характеристик элементов, шумами) и случайными изменениями условий измерений.

Для характеристики качества измерений применяют также такие термины, как точность, правильность, сходимость (повторяемость) и воспроизводимость измерения.

Точность измерений – качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям всех видов, как систематических, так и случайных.

Правильность измерений – качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в их результатах. Когда результаты измерений не искажаются систематическими погрешностями, они являются правильными. И чем меньше систематические погрешности, тем правильнее результаты.

Сходимость измерений (повторяемость) – такое их качество, которое отражает близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях.

Воспроизводимость измерений – это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в различных местах, разными методами и средствами) [9].

Разработанная схема лазерного триангуляционного профилометра позволяет полностью контролировать процесс измерений, управлять лазерным датчиком, шаговым двигателем и получать информацию с CMOS-матрицы.

Главными источниками погрешности измерений разработанного профилометра являются:

- погрешность алгоритма распознавания координат луча на CMOS-матрице;
- погрешность датчика механических перемещений (каретка с CMOS-матрицей и излучателем);
- методические погрешности, связанные с использованием глянцевых материалов поверхностей изделий, а также попытки измерения координат поверхностей отверстий и внутренних полостей, расположенных практически по касательной к линии распространения сканирующего луча.

Задачи контроля изделий, имеющих сложную конфигурацию профиля, а также разработка методов и систем контроля на сегодняшний день являются актуальными в различных отраслях промышленности.

Можно отметить, что массовое применение лазерных триангуляционных профилометров ограничено, ввиду того, что приборы рассчитаны на работу с поверхностями, которые имеют равномерное рассеяние и расположены ортогонально зондирующему лазерному пучку. Измеряемая поверхность всегда имеет шероховатость, царапины, ржавчину, отверстия. Погрешность измерения разработанного устройства составляет 10 мкм.

Профилометр определяет изменение формы контролируемого объекта при смещении сфокусированной точки лазерного излучения на поверхности

объекта. Тригонометрические соотношения в треугольнике, который образуется осветительным и измерительным лучом, а также расстоянием между приемником и источником излучения, позволяют определить смещение пятна подсвета в плоскости CMOS-матрицы. Для анализа погрешности измерений профилометра на рисунке 27, покажем его схему. Обозначения, приведенные на рисунке 0: 1 – лазер, 2 – плоскость регистрации изображения, 3 – проекционный объектив, 4, 5 – положения плоскостей объекта, 6 – формирующая оптическая система.

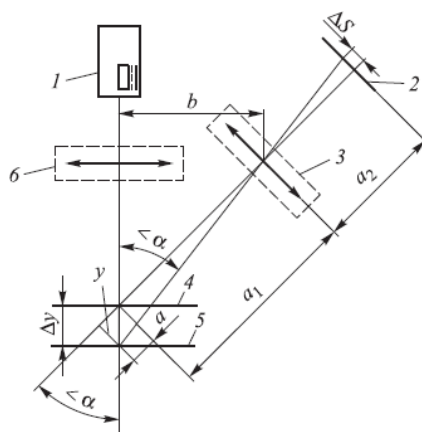


Рисунок 27 – Схема лазерного триангуляционного профилометра

Смещение энергетического центра зондирующего пятна подсвета в плоскости камеры (ΔS), обусловленное смещением объекта контроля (Δy) можно рассчитать по формуле:

$$\Delta y = \frac{\Delta S a_1}{a_2 \sin \alpha - \Delta S \cos \alpha} \quad (7)$$

где α – угол триангуляции между оптическими осями приемника и излучателя;

a_1 , a_2 – расстояния от источника излучения до линзы и от линзы до плоскости регистрации изображения.

Анализ формулы (7) позволяет определить степень влияния конструктивных параметров (база, угол триангуляции, габариты, определяемые отрезками a_1 и a_2) на точностные характеристики профилометра.

Таким образом, оценка среднеквадратической ошибки измерения в зависимости от распределенных ошибок, которые определяют конструктивные характеристики профилометра, определяется по формуле:

$$\sigma_{\Delta y} = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta y}{\partial \alpha}\right)_{\alpha}^2 (\partial \alpha)^2 + \left(\frac{\partial \Delta y}{\partial a_1}\right)_{a_1}^2 (\partial a_1)^2 + \left(\frac{\partial \Delta y}{\partial a_2}\right)_{a_2}^2 (\partial a_2)^2} \quad (8)$$

где $\frac{\partial \Delta y}{\partial \alpha}, \frac{\partial \Delta y}{\partial a_1}, \frac{\partial \Delta y}{\partial a_2}$ – частные производные;

$\partial \alpha, \partial a_1, \partial a_2$ – погрешности измерения конструктивных параметров профилометра.

Можно сделать вывод, что достижение минимальной погрешности измерения возможно при угле триангуляции 90° , но данное условие не подходит для реализации триангуляционного профилометра. Для достижения требуемой погрешности измерения $0,01$ мм, необходимо сместить образец на 5 мм при угле триангуляции 45° .

Экспериментальным методом можно провести анализ погрешности измерения триангуляционного метода в случаях различной угловой ориентации β контролируемого объекта, различной угловой ориентации γ поверхности объекта относительно плоскости падения освещающего пучка и разных углов триангуляции α в зависимости от величины смещения Δy объекта.

Погрешность δ_{yi} измеренного i -го смещения объекта контроля определяется разностью измеренного и истинного смещений по формуле:

$$\delta_{yi} = \Delta y_{изм i} - \Delta y_{ист i} \quad (9)$$

Для уменьшения погрешности измеренного смещения $\Delta y_{изм}$ контролируемого объекта необходимо определить угол триангуляции α и параметры a_1 и a_2 . Если провести серию измерений смещений ΔS_i ($i = 1, 2, 3$) пятна в плоскости CMOS-матрицы при точно известных смещениях $\Delta y_{ист i}$ контролируемого объекта, то получим систему уравнений:

$$\Delta y_{ист 1} = a_1 \cdot \Delta S_1 / (a_2 \cdot \sin \alpha - \Delta S_1 \cdot \cos \alpha),$$

$$\Delta y_{ист 2} = a_1 \cdot \Delta S_2 / (a_2 \cdot \sin \alpha - \Delta S_2 \cdot \cos \alpha),$$

$$\Delta y_{\text{ист3}} = a_1 \cdot \Delta S_3 / (a_2 \cdot \sin \alpha - \Delta S_3 \cdot \cos \alpha).$$

Рассчитанные параметры a_1 , a_2 и α используются для расчета формулы (7) триангуляционного метода измерений.

В качестве высокоточной линейной каретки используется каретка с погрешность перемещения 0,005 мм. Проекционный объектив имеет фокусное расстояние $f=25$ мм.

Для расчетов угол ориентации β_i профиля шероховатости примем равным 0; 45 и 90 °. За угловой наклон γ_i контролируемого объекта примем значения 0; 5; 10 и 15 °. Линейное смещение Δy объекта вдоль оптической оси пучка подсвета имеет значения 0, 5; 1; 15 и 20 мм.

Таким образом, при углах наклона объекта γ равно 0 и 10° и при горизонтальной ориентации профиля шероховатой поверхности ($\beta = 0$) максимальная погрешность измерения меньше, чем при вертикальной ориентации профиля ($\beta = 90^\circ$). Увеличение погрешности измерения при вертикальной ориентации профиля обусловлено эффектом рассеяния излучения на ориентированной структуре поверхности.

Можно отметить, что низкие и постоянные значения погрешностей $\delta_{\Delta y}$ меньше 0,02 мм при углах наклонов γ объекта контроля 0 и 10° для смещений ΔS равных 5; 10; 15 и 20 мм лежат в диапазоне значений углов триангуляции α от 30 до 40 ° [10].

Вследствие этого выбранный угол триангуляции α для разработанного прибора составляет 30°. Таким образом, погрешность лазерного триангуляционного профилометра при диапазоне измерений ширины (20 – 250) мм, составляет 0,1 % от диапазона, а при диапазоне измерений дальности (50 – 400) мм составляет 0, 2 %.

Полученные значения погрешности профилометра удовлетворяют требованиям технического задания.

8 Расчет надежности

Повышение надежности радиоэлектронной аппаратуры является одной из важнейших проблем радиоэлектроники и измерительной техники.

Надежность – одно из важнейших свойств изделий, которая определяет их эксплуатационную пригодность. Показатели надежности считаются основными техническими параметрами изделия, так же как и точность, массогабаритные характеристики и т.д.

Надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования в соответствии с ГОСТ 27.002-89.

Признаки, оценивающие надежность технического устройства, называются критериями. Основными критериями надежности являются:

- безотказность;
- долговечность;
- ремонтпригодность;
- сохраняемость.

Надежность является комплексным свойством технического устройства. На практике с количественной стороны надежность оценивается рядом критериев, которые получили название Критерии, характеризующие количественную оценку надежности, называются показателями надежности. Основные единичные и комплексные показатели приведены в таблице 5.

Как правило, понятие надежности для любого технического устройства связано с отказами.

Событие, которое заключается в нарушении работоспособного состояния объекта, называется отказом.

Работоспособностью характеризует состояние изделия или устройства, при котором оно способно выполнять заданные функции с

параметрами, которые установлены требованиями технической документации.

Отказы для радиоэлектронных устройств классифицируются следующим образом:

- характер возникновения отказа: внезапные и постепенные;
- времена существования отказа: постоянный, временной и перемежающийся (временные отказы, которые следуют один за другим);
- характер проявления отказа: явный и неявный;
- зависимость отказов между собой: зависимый и независимый;
- причина возникновения отказа: конструктивный, производственный, эксплуатационный и деградационный [11].

Таблица 5 – Показатели надежности

Свойства	Показатель
Безотказность	-вероятность безотказной работы -интенсивность отказов -средняя наработка до отказа -параметр потока отказов -средняя наработка на отказ
Ремонтопригодность	-вероятность восстановления -интенсивность восстановления -среднее время восстановления
Безотказность и ремонтпригодность	-коэффициент готовности -коэффициент простоя -коэффициент технического использования -коэффициент оперативной готовности
Долговечность	-назначенный ресурс -средний ресурс между капитальными (средними) ремонтами -средний срок службы
Сохраняемость	-средний срок сохраняемости

Расчёт надежности проектируемой технической системы заключается в определении показателей надежности системы по известным характеристикам надежности составляющих элементов конструкции и компонентов системы с учетом условий эксплуатации.

Вероятность безотказной работы $P(\tau)$ считается основным показателем безотказности изделия. Вероятность безотказной работы $P(\tau)$ – это безразмерная величина, которая зависит от времени наработки τ и изменяется в пределах от 0 до 1.

Для нерезервированных систем на основном временном участке работы, при окончании срока приработки изделия и устранении выявленных дефектов, вероятность безотказной работы вычисляется по формуле:

$$P(\tau) = \exp\left(-\sum_{i=1}^m (\lambda_i \tau)\right) \quad (10)$$

где λ_i – интенсивность отказа i – элемента,
 m – число элементов.

Таким образом, вероятность безотказной работы со временем уменьшается по экспоненциальному закону от значения 1. Тогда интенсивность отказа системы определяется по формуле:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (11)$$

Интенсивность отказа элементов и компонентов проектируемой системы или устройства можно определить по формуле:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} * K1 * K2 * K3 * K4 * a_i(t_k, K_H) \quad (12)$$

где λ_{0i} – номинальная интенсивность отказа i -го элемента или компонента,
 $K1, K2$ – поправочные коэффициенты на воздействие механических факторов,

$K3$ – поправочный коэффициент на воздействие влажности,

$K4$ – поправочный коэффициент на давление воздуха,

$a_i(t_k, K_H)$ – поправочный коэффициент на температуру поверхности компонента (t_k) и коэффициента электрической нагрузки (K_H).

Значения коэффициентов $a_i(t_k, K_H)$ определяют по графикам из справочников для соответствующих компонентов [12].

Коэффициенты электрической нагрузки K_H компонентов определяются исходя из отношения значений контролируемого параметра (тока, напряжения или мощности) к максимально возможному

(допустимому) значению этого параметра по техническим условиям. Контролируемым параметром для конкретного компонента является тот, от которого надежность данного компонента зависит в наибольшей степени.

Значения номинальной интенсивности отказов компонентов λ_{0i} являются справочными, если они не указаны в характеристиках данного компонента. В таблице 6 приведены значения интенсивности отказов всех используемых компонентов.

Таблица 6 – Интенсивность отказов компонентов

Элемент	Обозначение	Номинальная интенсивность отказов, $\lambda_{0i} \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$
Конденсаторы	C1-C30, C33	1,4
	C31, C32, C34	2,2
Микросхемы	DD1-DD14	0,01
	DA1-DA3	0,03
Транзисторы	VT1, VT2	0,044
Резисторы	R1-R34	0,05
Диоды	VD1-VD14	0,025
Кварцевый резонатор	ZQ1	0,026
Переключатель	SW1	0,06
Соединители	XT1-XT6	0,0041
Паяные соединения		0,004

В таблице 7 приведены значения отдельных поправочных коэффициентов K_1 и K_2 , учитывающих влияние механических воздействий.

Таблица 7 – Поправочные коэффициенты влияния механических воздействий

Условия эксплуатации аппаратуры	Вибрация, k_1	Ударные нагрузки, k_2	Суммарное воздействие, k_Σ
Лабораторные	1,0	1,0	1,0
Стационарные (полевые)	1,04	1,03	1,07
Автофургонные	1,35	1,08	1,46
Железнодорожные	1,4	1,1	1,54

Для разрабатываемого прибора $K_\Sigma = 1,54$.

В таблице 8 приведены значения поправочного коэффициента K_3 , учитывающего влияние влажности.

Таблица 8 – Поправочный коэффициент на воздействие влажности

Влажность, %	Температура, °C	Поправочный коэффициент k_3
60...70	20...40	1,0
90...98	20...25	2,0
90...98	30...40	2,5

Для разрабатываемого прибора $K_3 = 1$.

Результаты по определению коэффициента нагрузки сведены в таблице 9.

Таблица 9 – Коэффициенты электрической нагрузки элементов

Элемент	Обозначение элемента	Номинальное значение параметра	Рабочее значение параметра	Коэффициент нагрузки, k_n
Конденсаторы	C1- C30, C33, C35	50 В	25 В	0,5
	C31, C32, C34	16 В	10 В	0,6
Микросхемы	DD1-DD14	-	-	1
	DA1-DA3	-	-	1
Резисторы	R1-R34	0, 25 Вт	0,22 Вт	0,88
Диоды	VD1-VD14	0,3 А	0,15 А	0,5
Транзисторы	VT1, VT2	0,33 Вт	0,20 Вт	0,6

Результаты расчета надежности устройства представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Интенсивность отказов компонентов проектируемого устройства

Элемент	Обозначение	Кол-во элементов	Коэффициент нагрузки,	Поправочный коэффициент	Интенсивность отказов в рабочем режиме,	Суммарная интенсивность отказов,
			К _н	$a_i(t_k, K_n)$	$\lambda_i \cdot 10^{-5}$ 1/ч	$\lambda_{\Sigma} \cdot 10^{-6}$ 1/ч
Конденсаторы	C1-C30, C33	31	0,5	0,5	1,078	33,418
	C31, C32, C34	3	0,6	0,9	3,0492	9,1476
Микросхемы	DD1-DD14	14	1	-	0,0154	0,2156
	DA1-DA3	3	1	-	0,0462	0,1386
Транзисторы	VT1, VT2	2	0,6	1,8	0,121968	0,243936
Резисторы	R1-R34	34	0,88	0,9	0,0693	2,3562
Диоды	VD1-VD14	14	0,5	4	0,154	2,156
Кварцевый резонатор	ZQ1	1	1	-	0,04004	0,04004
Переключатель	SW1	1	1	-	0,0924	0,0924
Соединители	XT1-XT6	6	1	-	0,006314	0,037884
Паяные соединения		452	1	0,004	0,00616	2,78432
Итого	50,63058 · 10 ⁻⁶					

Среднее время наработки до отказа является обратной величиной λ_c и рассчитывается по формуле:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_c} \quad (13)$$

Произведя расчеты, среднее время безотказной работы:

$$T_{cp} = 19751 \text{ (час)}$$

Вероятность безотказной работы устройства в течение 1000 часов рассчитывается по формуле и будет составлять:

$$P_c(t) = e^{-\frac{t}{T_{cp}}} = e^{-\frac{1000}{19751}} = 0,95$$

Произведенные расчеты показывают, что разработанное устройство удовлетворяет условиям технического задания по требованиям к показателям надежности.

9 Технико-экономическое обоснование НИР

9.1 Назначение и характеристика научно-технической продукции

Данная выпускная квалификационная работа заключается в разработке лазерного триангуляционного профилометра. Исполнителем является инженер-разработчик. Целью данной дипломной работы является проектирование прибора для бесконтактной регистрации профиля рабочей поверхности рельса триангуляционным методом с наименьшими экономическими и физическими затратами на его производство.

На сегодняшний день уже существуют приборы аналоги, но они очень дорогостоящие. Данная работа заключается в создании устройства, которое позволит проводить бесконтактные измерения и в реальном времени получать точное представление о профиле рельса, т.е. данные будут сниматься автоматически и сразу же обрабатываются программно, оператору необходимо координировать работу прибора и делать выводы о качестве изделия.

Целью экономических расчетов является определение себестоимости работы и порядка распределения бюджетных средств.

9.2 Организация и планирование работ

Планирование выпускной квалификационной работы заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной задачи; определении исполнителей каждой работы; установлении продолжительности в рабочих днях; построения линейного графика и его оптимизации.

Для определения затрат на проведение конкретной научно-исследовательской работы необходимо разбить всю работу на определенные этапы, количество и содержание которых будет определяться её спецификой.

В таблице 11 приведен перечень этапов, на которые разделена выпускная работа.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Подготовительный	1	Принятие решения о разработке, постановка целей и задач, получение исходных данных	Руководитель, студент-дипломник
	2	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель, студент-дипломник
	3	Подбор и изучение материалов по тематике	Руководитель, студент-дипломник
Исследование и анализ предметной области	4	Анализ исходных данных	Студент-дипломник
	5	Изучение существующих технологий	Руководитель, студент-дипломник
Проектирование и оценка результатов	6	Выбор инструментальных средств для разработки прибора	Руководитель, студент-дипломник
	7	Разработка структурной и принципиальной схем	Студент-дипломник
	8	Разработка конструкции прибора	Студент-дипломник
	9	Анализ результатов работы	Руководитель, студент-дипломник
Оформление документации	10	Подготовка отчета о работе	Руководитель, студент-дипломник
	11	Оформление графического материала	Студент-дипломник

9.2.1 Расчет трудоемкости этапов

Под трудоемкостью работ понимают максимально допустимые затраты труда в человеко-днях на выполнение НИР с учетом организационно-технических мероприятий, обеспечивающих наиболее рациональное использование выделенных ресурсов. В данном случае удобно использовать опытно-статистический метод.

Трудоемкость работ определяется по сумме трудоемкости этапов и видов работ, оцениваемых экспериментальным путем в человеко-днях. Трудоемкость имеет вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов, поэтому ожидаемое значение трудоемкости $t_{ож}$ рассчитывается по формуле:

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5} \quad (14)$$

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

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (15)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.,

$t_{ож i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.,

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k \quad (16)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} \quad (17)$$

где $T_{кг}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вд}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пд}$ – количество праздничных дней в году.

Произведя вычисления, определим коэффициент календарности, который равен 1,48. Расчетную величину продолжительности работ T_k нужно округлить до целых чисел.

Полученные результаты вычислений занесем в таблицу 12.

Таблица 12 - Перечень работ и оценка трудоёмкости

№ Раб.	Исполнители	Продолжительность работ				
		$t_{\min}$ чел-дн.	$t_{\max}$ чел-дн	$t_{ож}$ чел-дн	T_p Раб.дн	T_k Кал.дн
1	Руководитель, студент-дипломник	1	2	1,4	0,7	1
2	Руководитель, студент-дипломник	1	2	1,4	0,7	1
3	Руководитель, студент-дипломник	4	5	4,4	2,2	3
4	Студент-дипломник	7	9	7,8	7,8	11
5	Руководитель, студент-дипломник	7	8	7,4	3,7	5
6	Руководитель, студент-дипломник	2	3	2,4	1,2	2
7	Студент-дипломник	14	15	14,4	14,4	21
8	Студент-дипломник	14	15	14,4	14,4	21
9	Руководитель, студент-дипломник	5	6	5,4	2,7	3
10	Руководитель, студент-дипломник	9	10	9,4	4,7	7
11	Студент-дипломник	5	6	5,4	5,4	8

При построении линейного графика необходимо охватить весь спектр работ по исследуемой теме. Как правило, студент-дипломник выступает в качестве основного исполнителя. Таким образом, на графике должны отсутствовать перерывы в работе дипломника. При выполнении отдельных видов работ одновременно участвуют как руководитель проекта, так и студент-дипломник. В таблице 13 это будет показано в виде параллельных линий.

Таблица 13 – Календарный план проведения НИР

Этапы	Вид работ	Исполнители	T _к	Март	Апрель	Май
1	Принятие решения о разработке, постановка целей и задач, получение исходных данных	Руководитель, студент-дипломник	1			
2	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель, студент-дипломник	1			
3	Подбор и изучение материалов по тематике	Руководитель, студент-дипломник	3			
4	Анализ исходных данных	Студент-дипломник	11			
5	Изучение существующих технологий	Руководитель, студент-дипломник	5			
6	Выбор инструментальных средств для разработки прибора	Руководитель, студент-дипломник	2			
7	Разработка структурной и принципиальной схем	Студент-дипломник	21			
8	Разработка конструкции прибора	Студент-дипломник	21			
9	Анализ результатов работы	Руководитель, студент-дипломник	3			
10	Подготовка отчета о работе	Руководитель, студент-дипломник	7			
11	Оформление графического материала	Студент-дипломник	8			

9.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

9.3.1 Затраты на приобретение специального оборудования

К данной статье относится стоимость специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по исследуемой теме, включая расходы на их приобретение и доставку (транспортно-заготовительные расходы можно принимать в пределах 15% от его стоимости).

Произведем расчет дополнительных затрат для лазерного триангуляционного датчика, и полученные результаты занесем в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Триангуляционный лазерный датчик	1	30000	34500
2	Источник питания лазерного датчика	1	1000	1150
3	Зарядное устройство 12 В для лазерного датчика	1	2000	2300
4	Интерфейс RS-232	1	500	575
5	Wi-fi модуль	1	3000	3450
Итого				41975

9.3.2 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей работы

В данной статье расходов планируется и учитывается основная заработная плата инженерно-технических работников, которые участвуют в разработке.

Как правило, в состав основной заработной платы входит премия, которая выплачивается ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 - 30 % от тарифа или оклада. В таблице 15 сведены расчеты основной заработной платы.

Основную заработную плату будет составлять заработная плата руководителя проекта и студента-дипломника (техника). Месячный оклад руководителя составляет 300000 руб. Месячный оклад техника составляет 20000 руб.

Средняя заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\text{Дневная з/плата} = \text{Месячный оклад} / 28 \text{ дней} \quad (18)$$

Соответственно дневной оклад руководителя составляет 1071,43 руб., техника – 714,29 руб.

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работали руководитель и техник. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 89,29 руб., а техник 62,5 руб. (рабочий день 8 часов).

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} \quad (19)$$

где, $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{\text{осн}}$).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (20)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Исходя из этого, заработная плата руководителя будет составлять 33600 руб., техника 22400 руб.

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Вид работ	Исполнители	Трудоем- кость, чел.- дн	Заработная плата, приходящаяся на один чел.- дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.
1	Принятие решения о разработке, постановка целей и задач, получение исходных данных	Руководитель, студент-дипломник	1	1,7	1,7
2	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель, студент-дипломник	1	1,7	1,7
3	Подбор и изучение материалов по тематике	Руководитель, студент-дипломник	3	1,7	5,1
4	Анализ исходных данных	Студент-дипломник	11	0,7	7,7
5	Изучение существующих технологий	Руководитель, студент-дипломник	5	1,7	8,5
6	Выбор инструментальных средств для разработки прибора	Руководитель, студент-дипломник	2	1,7	3,4
7	Разработка структурной и принципиальной схем	Студент-дипломник	21	0,7	14,7
8	Разработка конструкции прибора	Студент-дипломник	21	0,7	14,7
9	Анализ результатов работы	Руководитель, студент-дипломник	3	1,7	5,1
10	Подготовка отчета о работе	Руководитель, студент-дипломник	7	1,7	11,9
11	Оформление графического материала	Студент-дипломник	8	0,7	5,6
Итого					80,1

9.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды

Данный элемент затрат включают в себя отчисления в различные фонды (пенсионный, обязательного медицинского страхования и др.). На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. В таблице 16 представлены данные об отчислениях во внебюджетные фонды.

Величина отчислений во внебюджетные фонды рассчитывается по формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (21)$$

где, $k_{внеб}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 16 – Отчисления во внебюджетный фонд

Исполнитель	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб
Руководитель	30000	3600
Студент-дипломник	20000	2400
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого	16800	

9.3.4 Накладные расходы

В статье «накладные расходы» учитывают затраты на административно-управленческие управление и охрану труда, они составляют 16% от суммы основной и дополнительной заработной платы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = \left(\sum \text{статей} \right) \cdot k_{нр} \quad (22)$$

где $k_{нр}$ - коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Таким образом, накладные расходы будут составлять:

$$З_{накл} = 114875 \cdot 0,16 = 23180.$$

9.3.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы

Полная смета затрат на проведение НИР приведена в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Затраты на специальное оборудование	41975	Пункт 9.3.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	80100	Пункт 9.3.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6000	Пункт 9.3.2
4. Отчисления во внебюджетные фонды	16800	Пункт 9.3.3
5. Накладные расходы	23180	16 % от суммы ст. 1 – 4
6. Бюджет затрат НИИ	138055	Сумма ст. 1 – 5

10 Производственная и экологическая безопасность

Обеспечение сохранения жизни и здоровья работников является основным направлением государственной политики в области охраны труда. Безопасность работника в условиях любого современного производства обеспечивается правовой, социально–экономической, организационно–технической, санитарно–гигиенической и лечебно–профилактической защитой.

Специфичность условий функционирования железнодорожного транспорта, особенности производственных процессов данной отрасли, быстродействие современных машин и механизмов, сложность и определенная опасность процессов их обслуживания заставляют уделять особое место идеологии безопасности труда, определяют задачи и направленность охраны труда в этой отрасли.

В данной выпускной квалификационной работе разработан лазерный триангуляционный профилометр, который будет использоваться на железнодорожных путях в открытой местности. Как правило в таких условиях обслуживающий персонал будет подвергаться повышенной опасности влияния вредного воздействия шума, вибрации, электромагнитных полей, излучения, загрязненного атмосферного воздуха, а также механического и электротравматизма.

10.1 Техногенная безопасность

10.1.1 Характеристика вредных факторов

Железнодорожный транспорт как среда, в которой формируются факторы повышенной опасности и вредности, создает для работников на их рабочих местах комплексы негативных воздействий, определяя их сочетанное влияние на человека [13].

Стоит отметить, что вредный фактор при длительном воздействии на организм человека приводит к нарушению состояния здоровья, ухудшению самочувствия, снижению работоспособности, развитию болезней и даже смерти. В зависимости от продолжительности действия, а также уровня доз или концентрации вредных веществ или соединений они могут стать опасными.

Во время работы железнодорожных путей на работниках могут воздействовать опасные и вредные производственные факторы, такие как:

- движущийся подвижной состав и другие транспортные средства;
- повышенная запыленность, загазованность и задымленность воздуха рабочей зоны;
- пониженная или повышенная температура, влажность и подвижность воздуха рабочей зоны;
- пониженная или повышенная температура поверхностей оборудования, инструмента и металлических частей верхнего строения железнодорожного пути;
- повышенный уровень шума и вибрации;
- физические перегрузки при перемещении тяжестей вручную;
- электромагнитные и ионизирующие излучения.

Лазерное излучение

При работе с лазерными установками обслуживающий персонал может подвергаться воздействию прямого, рассеянного и отраженного излучений. Необходимо отметить, что при эксплуатации лазеров в закрытых помещениях на персонал, как правило, действуют рассеянное и отраженное излучения; в условиях открытого пространства возникает реальная опасность воздействия прямых лучей.

За счет монохроматичности лазерного луча и его малой расходимости (высокой степени коллиминированности) создаются исключительно высокие энергетические экспозиции, позволяющие получить локальный термоэффект. Путем подбора тех или иных веществ в качестве активной среды лазера

можно индуцировать излучение практически на всех длинах волн, начиная с ультрафиолетовых и кончая длинноволновыми инфракрасными [14].

Лазерное излучение обладает способностью распространения на значительные расстояния и отражения от границы раздела двух сред. Это свойство позволяет применять лазерное излучение для различных целей, в том числе и для контроля геометрии сложной формы.

В данной выпускной квалификационной работе в разрабатываемом устройстве предлагается использовать лазерный датчик, в котором установлен полупроводниковый лазер с непрерывным излучением и длиной волны 660 нм. Максимальная выходная мощность 1 мВт.

Согласно СанПиН 5408-91 биологические эффекты воздействия лазерного излучения на организм определяются механизмами взаимодействия излучения с тканями (тепловой, фотохимический, ударно-акустический и др.) и зависят от длины волны излучения, длительности импульса (воздействия), частоты следования импульсов, площади облучаемого участка, а также от биологических и физико-химических особенностей облучаемых тканей и органов.

Лазерное излучение с длиной волны от 380 до 1400 нм наибольшую опасность представляет для сетчатой оболочки глаза, а излучение с длиной волны от 180 до 380 нм и свыше 1400 нм - для передних сред глаза.

Повреждение кожи может быть вызвано лазерным излучением любой длины волны рассматриваемого спектрального диапазона.

Предельно допустимые уровни лазерного излучения устанавливаются для двух условий облучения – однократного и хронического для трех диапазонов длин волн, в соответствии с СанПиН 5804-91:

- 1) $180 < \lambda < 380$ нм;
- 2) $380 < \lambda < 1400$ нм;
- 3) $1400 < \lambda < 105$ нм.

Однократное воздействие соответствует случайному воздействию излучения с длительностью, не превышающей $3 \cdot 10^4$ с. Такое воздействие

считается безопасным, если существует незначительная вероятность возникновения обратимых отклонений в организме работающего.

Хроническое воздействие отвечает систематическому повторению воздействия лазерного излучения.

Соотношения для определения предельно допустимого уровня энергии W_{ndy} при однократном воздействии на глаза лазерного излучения длительностью воздействия менее 1 с, приведены в таблице 18. Соотношения для определения предельно допустимого уровня мощности P_{ndy} при однократном воздействии на глаза лазерного излучения длительностью воздействия более 1 с, приведены в таблице 19.

Таблица 18 – Соотношения для определения W_{ndy} при однократном воздействии на глаза лазерного излучения

Спектральный интервал λ , нм	Длительность облучения t , с	Энергия W_{ndy} , Дж
$600 < \lambda \leq 750$	$t \leq 6,5 \cdot 10^{-11}$	$\sqrt[3]{t^2}$
	$6,5 \cdot 10^{-11} < t \leq 5,0 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$
	$5,0 \cdot 10^{-5} < t \leq 1,0$	$1,2 \cdot 10^{-4} \sqrt[3]{t^2}$

Таблица 19 – Соотношения для определения P_{ndy} при однократном воздействии на глаза лазерного излучения

Спектральный интервал λ , нм	Длительность облучения t , с	Мощность P_{ndy} , Вт
$600 < \lambda \leq 700$	$1,0 < t \leq 2,2 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^{-4} / \sqrt[3]{t}$
	$2,2 \cdot 10^3 < t \leq 10^4$	$2,0 \cdot 10^{-2} / t$
	$t > 10^4$	$2,0 \cdot 10^{-6}$

Для определения предельно допустимых значений W_{ndy} и P_{ndy} лазерного излучения в диапазоне 2 при хроническом воздействии на глаза необходимо уменьшить в 10 раз предельные значения, приведенные в таблицах 18, 19.

Соотношения для определения предельных значений энергетической экспозиции H_{ndy} и облученности E_{ndy} , а также W_{ndy} и P_{ndy} при однократном

воздействии на кожу лазерного излучения в спектральном диапазоне $380 < \lambda \leq 1400$ нм приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Соотношения для определения H_{ndy} , E_{ndy} и W_{ndy} , P_{ndy} при однократном воздействии на кожу лазерного излучения

Спектральный интервал λ , нм	Длительность облучения t , с	H_{ndy} , Дж·м ⁻² ; E_{ndy} , Вт·м ⁻²
$500 < \lambda \leq 900$	$10^{-10} < t \leq 3$	$H_{ndy} = 7,0 \cdot 10^3 \sqrt[5]{t}$
	$3 < t \leq 10^2$	$E_{ndy} = 5,0 \cdot 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$E_{ndy} = 5,0 \cdot 10^2$
	$W_{ndy} = 10^{-6} \cdot H_{ndy}$; $P_{ndy} = 10^{-6} \cdot E_{ndy}$	

Для определения предельно допустимых значений H_{ndy} , E_{ndy} и W_{ndy} , P_{ndy} при хроническом воздействии на кожу лазерного излучения в диапазоне $380 < \lambda \leq 1400$ нм необходимо уменьшить в 10 раз предельные значения, указанные в таблице 20.

Согласно СанПиН 5804-91 при воздействии лазерного излучения работник должен пользоваться средствами коллективной и индивидуальной защиты. Средства коллективной и индивидуальной защиты должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.4.011.

Средства защиты работающих должны обеспечивать предотвращение или уменьшение действия опасных и вредных производственных факторов.

К средствам коллективной защиты от повышенного уровня лазерного излучения можно отнести: оградительные устройства, предохранительные устройства, устройства автоматического контроля и сигнализации, знаки безопасности.

К средствам индивидуальной защиты от лазерного излучения относятся средства защиты глаз и кожи. К средствам защиты глаз относятся защитные очки. К средствам защиты кожи относятся специальная защитная одежда (костюм, комбинезон, жилет и др.) и перчатки.

Производственный шум

Акустический шум это физическое явление, которое обуславливает распространение в воздухе беспорядочных звуковых колебаний различной природы. Данные колебания характеризуются различными частотами колебаний (20 Гц – 20 кГц и выше) и случайной величиной амплитуды. Шум, как физиологическое явление, всякий неблагоприятно воспринимаемый звук. На производстве шумом принято считать всякий нежелательный для человека звук, который не несет полезной информации.

Воздух является наиболее распространенной средой для передачи звука. Окружающая среда звука имеет свойство сжатия и разрежения при механических колебаниях самого источника звука.

Диапазон слышимости характеризует диапазон частот, различаемый слушателем. Верхняя и нижняя границы данного диапазона представляют предел слышимости. Частота 16 Гц является нижним пределом, а частота 20000 Гц верхним пределом.

Разрабатываемый профилометр будет применяться на открытых железнодорожных путях, что повлечет за собой увеличение производственного шума, действующего на персонал.

Для любого производственного процесса характерны беспорядочные звуковые колебания, которые оказывают вредное влияние на организм персонала. По данным Всемирной организации здравоохранения, реакция со стороны нервной системы на звуковые колебания начинается при уровне 49дБ. Нарушение сна может наблюдаться при уровне 35 дБ. При 70 дБ происходят глубокие изменения в нервной системе, вплоть до психического заболевания, а также заболевания органов зрения, слуха и т.д.

Согласно ГОСТ 12.1.003 повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его органах и системах. Длительное воздействие такого шума способно привести к развитию у работника потери слуха, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-

сосудистой, нервной системы и др. При этом специфическим клиническим проявлением вредного действия шума является стойкое нарушение слуха (тугоухость), рассматриваемое как профессиональное заболевание.

Шумовыми характеристиками для потоков железнодорожных поездов являются эквивалентный уровень звука $LA_{экв}$, дБА, и максимальный уровень звука LA_{max} , дБА, на расстоянии 25 м от оси ближнего к расчетной точке пути.

Источники шума, воздействующие на работника, а также уровень их звука приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Источники шума железнодорожного транспорта

Источник шума	Расстояние, м	Уровень звука, дБА
Движение поезда по мосту со скоростью 60-80 км/ч	25	80-90
Движение подвижного состава при скоростях 150-200 км/ч	25	85-95
Электровозы	25	75-80
Тепловозы	25	80-95
Путевые машины вибрационного действия	25	80-95
Соударение вагонов	30	95-100
Звуковые сигналы локомотивов и электроподвижного состава	25	100-110
Тяговые подстанции	30	45-50
Сортировочные станции	100-150	70-85

Зоны с уровнем звука или эквивалентным уровнем звука выше 80 дБ А должны быть обозначены знаками безопасности по ГОСТ 12.4.026. Работая в этих зонах администрация обязана снабжать средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051 и применять средства и методы коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029.

Применяемые средства коллективной защиты от шума в зависимости от принципа действия подразделяются на средства звукоизоляции и средства звукопоглощения.

Средства звукоизоляции подразделяются на звукоизолирующие кожухи, звукоизолирующие кабины, акустические экраны и выгородки.

Средства звукопоглощения подразделяются на звукопоглощающие облицовки и объемные (штучные) поглотители звука.

Применяемые средства индивидуальной защиты от шума в зависимости от конструктивного исполнения подразделяются на противошумные наушники, противошумные вкладыши, противошумные шлемы и каски.

Микроклимат

Метеоусловия (или климатические) определяются в основном следующими физическими факторами атмосферы: температурой, относительной влажностью, скоростью движения воздуха и тепловым излучением. Эти факторы определяют погоду (на открытом воздухе) или микроклимат на рабочих местах и в производственных помещениях. Все погодные факторы влияют на теплоощущение человека и определяют его баланс с окружающей средой [15].

В процессе выполнения трудовой деятельности в организме человека происходит обмен веществ, связанный с тяжестью и напряженностью труда. Параметры микроклимата, такие как температура, влажность, скорость движения воздуха в рабочей зоне и наличие тепловых потоков влияют на интенсивность теплообмена организма.

Как правило, высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работника, может привести к тепловому удару или перегреву организма. Низкая температура воздуха способствует местному и (или) общему охлаждению организма, может стать причиной простудного заболевания или обморожения.

Терморегуляция организма работника во многом зависит от влажности воздуха. При высокой температуре воздуха высокая относительная влажность способствует перегреванию организма. При низкой температуре воздуха повышенная влажность может привести к

переохлаждению организма, вследствие усиления теплоотдачи с поверхности кожи.

Длительное воздействие на человека неблагоприятных метеорологических условий резко ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда, приводит к профессиональным заболеваниям и к появлению причин для возможных несчастных случаев на производстве.

Производство работ на железнодорожных путях не допускается при сильном ветре (6 баллов и более (в горных местностях при скорости ветра свыше 8,5 м/с, а в равнинных местностях свыше 11 м/с)), густом тумане (видимость менее 50 м), ливневом дожде и снегопаде. При приближении грозы должны быть прекращены все работы на железнодорожных путях.

10.1.2 Характеристика опасных факторов

Поражение электрическим током

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электрического поля и статического электричества [14].

При работе с профилометром на открытых железнодорожных путях источниками возможного поражения персонала электрическим током могут стать неисправности в сетях электроснабжения, в оборудовании, незнание или несоблюдение правил электробезопасности.

Для исключения опасности поражения электрическим током устройство должно быть сконструировано таким образом, чтобы гарантировать защиту персонала при эксплуатации. Элементы конструкции, с которыми соприкасается персонал во время работы, рекомендуется выполнять из диэлектрического материала или наносить на них защитное диэлектрическое покрытие. В случае неисправности должна быть предусмотрена возможность немедленного отключения устройства от

первичного источника питания.

При производстве работ на электрифицированном участке железной дороги, приступать к работе можно только после отключения электропитания.

К основным средствам и способам защиты от поражения электрическим током можно отнести:

- недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения;
- защитное заземление, зануление или отключение;
- вывешивание предупреждающих надписей;
- контроль за состоянием изоляции электрических установок;
- использование дополнительных средств защиты (бот, резиновых перчаток и т.д.).

Одной из наиболее часто встречающихся мер защиты людей от поражения электрическим током является защитное заземление. Заземление служит для снижения шагового напряжения и напряжения прикосновения.

10.2 Региональная безопасность

10.2.1 Экологическая безопасность

В настоящее время проблема защиты окружающей среды наиболее актуальна. Решение данной проблемы является общим делом для всех участников хозяйственной деятельности. Для этого, в первую очередь, необходима разработка и внедрение безопасных и экологически чистых производственных технологий всех видов.

Разрабатываемый прибор предназначен для бесконтактной регистрации профиля рабочей поверхности рельса. Своевременное обнаружение дефектов и изломов способствует устранению ряда аварий на железной дороге.

При выполнении данной работы вредных выбросов в атмосферу, почву и водные источники не производилось, радиационного заражения не произошло, следовательно, существенных воздействий на окружающую среду не оказывалось.

10.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Организация рабочего места

Все работы на железнодорожных путях должны выполняться в технологические окна и без закрытия перегона. Рабочее место должно быть ограждено сигнальными знаками «С» (о подаче свистка), места установки сигнальных знаков "С" определяются исходя из местных условий видимости и слышимости звуковых сигналов. На электрифицированных участках пути работы должны производиться только после снятия напряжения с контактной сети и ее заземления. При производстве работ на железнодорожных путях персонал должен иметь в наличии носимые радиостанции, при необходимости могут использоваться устройства мобильной (сотовой спутниковой) радиосвязи.

Во время прохода поезда работник необходимо отойти в заранее определенное безопасное место, на расстояние не менее 2,5 м от крайнего рельса. При получении сообщения от сигналиста о приближении поезда все работы должны быть прекращены, пути должны быть приведены в состояние, обеспечивающее безопасный пропуск поезда, должна быть произведена уборка путевого инструмента и материалов за пределы габарита железнодорожного состава.

Предупреждающие знаки для лазерной аппаратуры

Каждая лазерная аппаратура должна иметь знак предупреждения о лазерной опасности. Знаки должны быть надежно укрепленными, четкими и хорошо видимыми во время работы. Каждая лазерная аппаратура класса 2 должна иметь прикрепленный предупреждающий знак, показанный на

рисунке 28 и пояснительный знак, показанный на рисунке 29, с надписью: ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, НЕ СМОТРИТЕ В ПУЧОК, ЛАЗЕРНАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 2.



Рисунок 28 – Предупреждающий знак – обозначение опасности



Рисунок 29 – Пояснительный знак

10.4 Особенности законодательного регулирования

К работе на железнодорожных путях с вредными и опасными условиями труда не должны допускаться женщины и лица, не достигшие возраста восемнадцати лет.

При выполнении работ и нахождении на железнодорожных путях все работники должны быть обеспечены сертифицированной специальной одеждой, обувью и средствами индивидуальной защиты. Работники должны иметь сигнальные жилеты со световозвращающими полосами с нанесенным трафаретом.

При работе на открытом воздухе в холодное время года должны быть предусмотрены кратковременные перерывы для обогрева работников в пунктах обогрева (модульных пунктах).

Работники, связанные с работой на железнодорожных путях, подвергающиеся воздействию опасных и вредных производственных факторов, должны проходить предварительные и периодические медицинские осмотры. При производстве работ связанных с лазерным

излучением и воздействием повышенного шума, при необходимости должны назначаться дополнительные осмотры у соответствующих специалистов.

Работникам, занятым на работах, связанных с вредными и (или) опасными условиями труда устанавливают компенсации (сокращенная продолжительность рабочего времени, ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск, повышение оплаты труда).

10.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Стихийные бедствия, промышленные аварии и катастрофы на транспорте создают ситуации, опасные для жизни и здоровья значительных групп населения. Все указанные явления принято объединять понятием чрезвычайной ситуации (ЧС).

Пожаро- и взрывоопасность являются одной из вероятных чрезвычайных ситуаций при работе на железной дороге.

Опасность, связанная с пожарами и взрывами, вызвана следующими обстоятельствами:

- на железнодорожных объектах сосредоточено большое количество пожаро- и взрывоопасных веществ и материалов;
- по сети железных дорог перевозятся разнообразные грузы, которые могут самовозгораться при нарушении нормативного давления или температурного режима.

Основными причинами возникновения пожаров и взрывов является:

- неосторожное обращение с огнём;
- искры локомотивов, котлов отопления пассажирских вагонов, а также технические неисправности;
- несоблюдение правил пожарной безопасности при эксплуатации бытовых электрических приборов, газовых и других устройств;
- перегрузка электрических сетей, несоответствие электрической защиты;

- нарушение правил устройства электроустановок;
- самовозгорание веществ и материалов.

Мероприятия по повышению пожарной безопасности:

- технические: соблюдение противопожарных норм при производстве работ; установление автоматических пожарных извещателей; использование первичных средств пожаротушения;
- эксплуатационные: правильная эксплуатация оборудования;
- организационные: назначение ответственного лица за обучение персонала правилам пожарной безопасности; разработка действий персонала при возникновении пожара;
- режимные: проведение профилактических осмотров; наблюдение за наличием и исправностью технических средств противопожарной защиты.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был разработан прибор для бесконтактной регистрации профиля рабочей поверхности головки рельса с погрешностью измерения не более 0,1%, с диапазоном определения износа головки рельсов (-5...+18) мм.

Используя лазерный датчик, реализующий метод триангуляции, прибор достаточно быстро и точно определяет геометрию рельсовой колеи.

Точность используемого метода, а также удовлетворительная степень достоверности, позволяют рекомендовать прибор для широкого применения.

Список использованных источников

- 1 Катен-Ярцев А.С. Методы рельсовой дефектоскопии: учебное пособие – Хабаровск Изд-во ДВГУПС, 2011. – 69 с
- 2 Гурвич А.К., Довнар Б.П., Козлов В.Б., Круг Г.А., Кузьмина Л.И., Матвеев А.Н. Неразрушающий контроль рельсов при их эксплуатации и ремонте / Под ред. А.К. Гурвича. – М.: Транспорт, 1983. – 318 с.
- 3 Марков А.А., Шпагин Д.А. Ультразвуковая дефектоскопия рельсов. – СПб.: «Образование – Культура», 1999. – 230 с.
- 4 Гужов В.И. Методы измерения 3D-профиля объектов. Контактные, триангуляционные системы и методы структурированного освещения: учеб. пособие / В.И. Гужов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – 82 с.
- 5 Лазерный профилометр анализатор тонколистовых материалов. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ua.automation.com/content/lazernyj-profilometr-analizator-tonkolistovykh-materialov>, свободный. – Загл. с экрана.
- 6 Профилометры. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ntsexpert.ru/vic/profilometry>, свободный. – Загл. с экрана.
- 7 Приборы шероховатости. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.штангель.рф/info/articles/Pribori_sherohovatosti.htm, свободный. – Загл. с экрана.
- 8 Кофанов, Ю. Н. Автоматизация проектирования РЭС. Топологическое проектирование печатных плат. Электрон. учеб. пособие/ Ю. Н. Кофанов, А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 225 с.
- 9 Богомоллов Ю.А., Медовикова Н.Я., Рейх Н.Н. Оценивание погрешностей измерений: Конспект лекций. – М.: АСМС, 2004. – 57 с.
- 10 Барышников Н.В., Денисов Д.Г., Животовский И.В., Менделеев В.Я. Экспериментальный анализ погрешности измерения триангуляционного

метода в задачах технологического контроля профиля поверхности сложной формы. Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 9.

11 Надежность технических систем: Справочник / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др.;/ Под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

12 Белянин Л.Н. Конструирование печатного узла и печатной платы. Расчет надежности: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 77 с.

13 Руководство к практическим занятиям по гигиене труда: учебное пособие для вузов/ Под ред. В.Ф. Кириллова. – 2008. – 416 с.

14 Ушаков К.З. Безопасность жизнедеятельности. – М.: МГГУ, 2002.

15 Бакаева Т.Н., Фролов А.В. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда: учеб. пособие для вузов/ Под общ. ред. А. В. Фролова. – Ростов н/Д.: Феникс, 2008. – 750 с.

16 Компэл. Электронные компоненты. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.compel.ru/infosheet/ST/SPWF01SA.11>, свободный. – Загл. с экрана.

17 Проблемы выбора интерфейсов. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01_06/stat_68.htm, свободный. – Загл. с экрана.

18 Компоненты и технологии. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://kit-e.ru/articles/interface/2012_10_56.php, свободный. – Загл. с экрана.

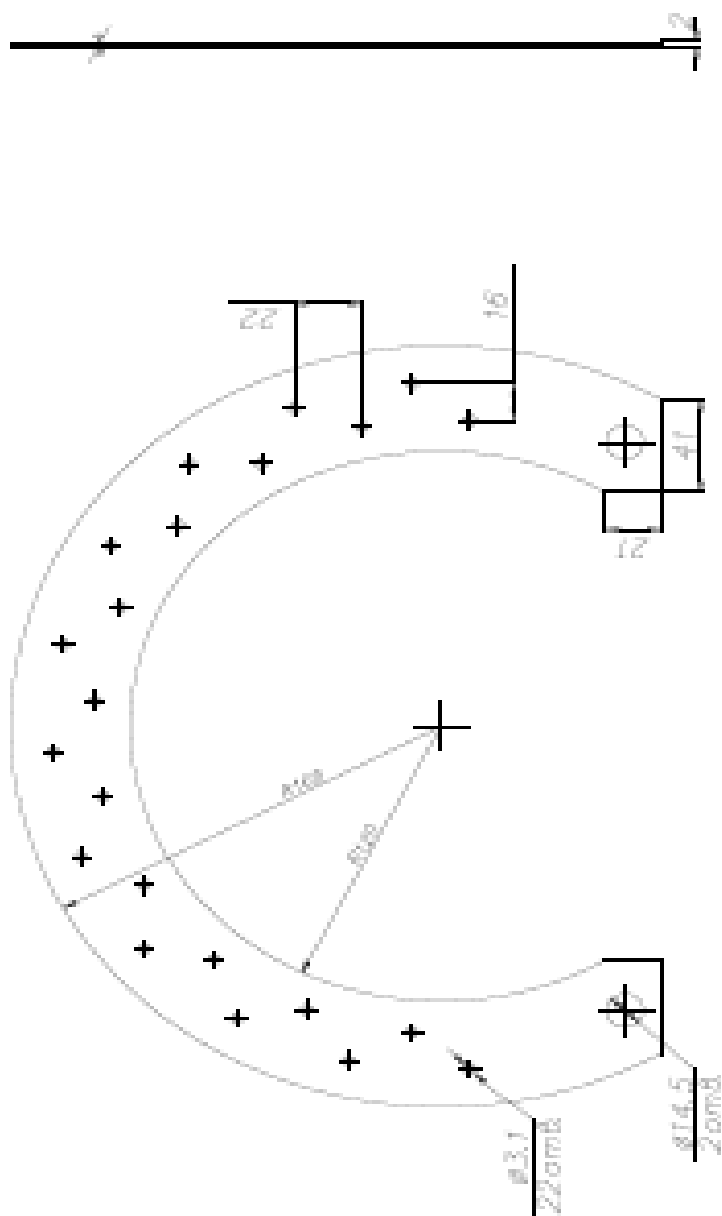
19 Device search. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.devicesearch.ru/article/enkodery>, свободный. – Загл. с экрана.

20 Боровиков С.М., Троян Ф.Д., Цырельчук И.Н. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств: Учебно-методическое пособие – Минск: БГУИР, 2010. – 68 с.

21 Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие/ Под ред. М.Г. Карпунина, Б.И. Майданчика. – М.: Энергия, 1980. – 175 с.

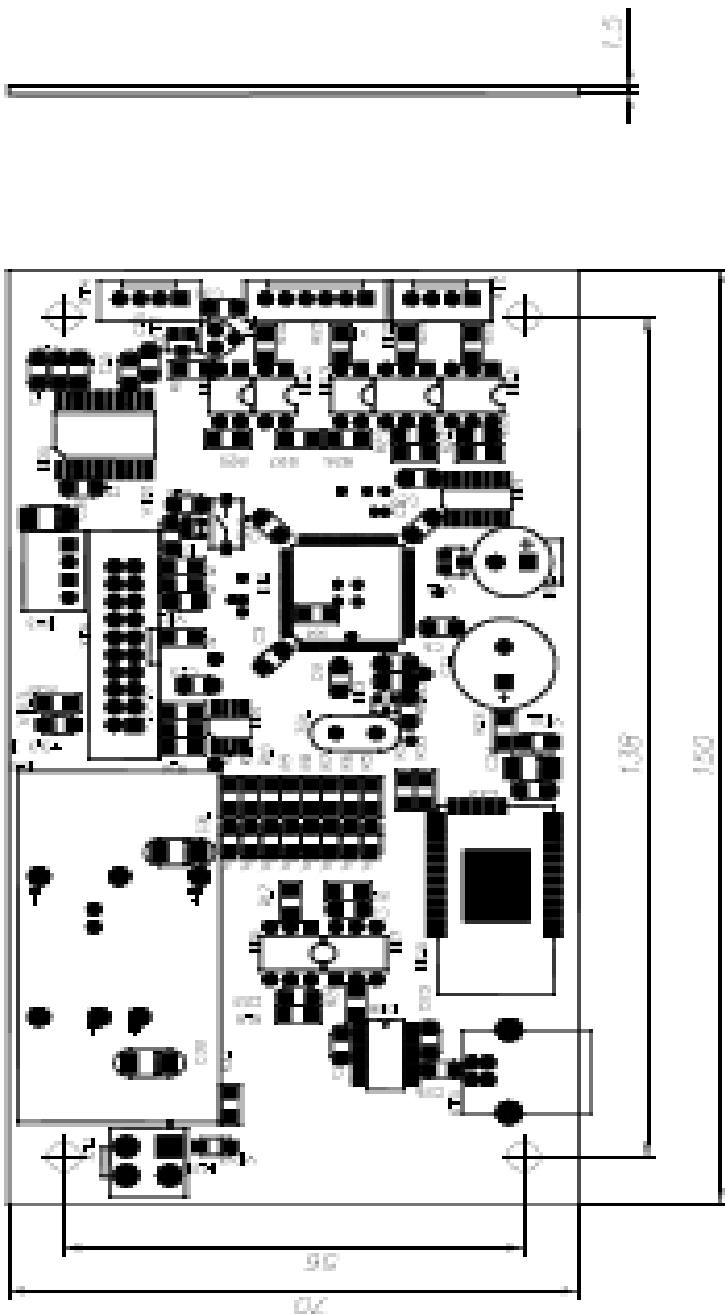
- 22 Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
- 23 Бакаева Т.Н., Фролов А.В. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда: учеб. пособие для вузов/ Под общ. ред. А. В. Фролова. – Ростов н/Д.: Феникс, 2008. – 750 с.
- 24 Клочкова Е.А. Охрана труда на железнодорожном транспорте: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. – М.: Маршрут, 2004. – 412 с.
- 25 Булаев В.Г., Саблин В.С. Защита от шума железнодорожного транспорта: методические указания. – Екатеринбург: УрГУПС, 2008. – 52 с.
- 26 Биофайл Научно-информационный журнал. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://biofile.ru/bio/11218.html>, свободный. – Загл. с экрана.
- 27 Охрана труда и БЖД. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ohrana-bgd.narod.ru/bgdps.html>, свободный. – Загл. с экрана.
- 28 ГОСТ 31581-2012 Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий. – М.: Стандартинформ, 2013. – 20 с.
- 29 ГОСТ 12.4.011-89 Средства защиты работающих общие требования и классификация. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 8 с.
- 30 27 ГОСТ 12.1.003-2014 Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2015. – 24 с.
- 31 ГОСТ 12.1.029-80 Средства и методы защиты от шума. Классификация. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 4 с.
- 32 ГОСТ Р 12.1.019-2009 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ, 2010. – 28 с.
- 33 ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1). – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1991. – 29 с.

✓ R24D



ФЮРА 443170.001	Дан	Масса	Материал
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	Р	1:2	
Дуга держатель	Дан	Деталь	
Нержавеющая сталь	ТВУ И-50		
ОВИП № ГОСТ 5582-75	ар. 3-1401		

06-09-443722-007 OS



QJPA 443170.00105

ПРИЛОЖЕНИЕ Г Расчетная плата	Плат	Адрес	Возраст

00-1 POC 12,315-28 00-1 POC 12,315-28 00-1 POC 12,315-28	TV MAG pg. 3-1401
--	----------------------

0697

[illegible]

Source of funding	Other than self
-------------------	-----------------

---	--	---	---

Page 10 of 10

Year	Population	Population	Population
1990	100	100	100
1991	100	100	100
1992	100	100	100
1993	100	100	100
1994	100	100	100
1995	100	100	100
1996	100	100	100
1997	100	100	100
1998	100	100	100
1999	100	100	100
2000	100	100	100
2001	100	100	100
2002	100	100	100
2003	100	100	100
2004	100	100	100
2005	100	100	100
2006	100	100	100
2007	100	100	100
2008	100	100	100
2009	100	100	100
2010	100	100	100
2011	100	100	100
2012	100	100	100
2013	100	100	100
2014	100	100	100
2015	100	100	100
2016	100	100	100
2017	100	100	100
2018	100	100	100
2019	100	100	100
2020	100	100	100
2021	100	100	100
2022	100	100	100
2023	100	100	100
2024	100	100	100
2025	100	100	100
2026	100	100	100
2027	100	100	100
2028	100	100	100
2029	100	100	100
2030	100	100	100
2031	100	100	100
2032	100	100	100
2033	100	100	100
2034	100	100	100
2035	100	100	100
2036	100	100	100
2037	100	100	100
2038	100	100	100
2039	100	100	100
2040	100	100	100
2041	100	100	100
2042	100	100	100
2043	100	100	100
2044	100	100	100
2045	100	100	100
2046	100	100	100
2047	100	100	100
2048	100	100	100
2049	100	100	100
2050	100	100	100
2051	100	100	100
2052	100	100	100
2053	100	100	100
2054	100	100	100
2055	100	100	100
2056	100	100	100
2057	100	100	100
2058	100	100	100
2059	100	100	100
2060	100	100	100
2061	100	100	100
2062	100	100	100
2063	100	100	100
2064	100	100	100
2065	100	100	100
2066	100	100	100
2067	100	100	100
2068	100	100	100
2069	100	100	100
2070	100	100	100
2071	100	100	100
2072	100	100	100
2073	100	100	100
2074	100	100	100
2075	100	100	100
2076	100	100	100
2077	100	100	100
2078	100	100	100
2079	100	100	100
2080	100	100	100
2081	100	100	100

10/10/2014