

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**
 Отделение **электронной инженерии**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка драйвера управления бесколлекторными двигателями для установки шлифовки и полировки кристаллов

УДК 004.454-047.84:621.313.13:621.923

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM02	Быков Александр Витальевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	В.С. Иванова	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Т.Б. Якимова	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	А.И. Сечин	Д.Т.Н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭИ	А.Е. Кулагин	К.ф.-М.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	А.И. Солдатов	Д.Т.Н.		

Планируемые результаты освоения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач
ОПК(У)-4	Способен разрабатывать и применять специализированное программно-математическое обеспечение для проведения исследований и решения инженерных задач
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач
ПК(У)-2	Способен разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию
ПК(У)-3	Готов осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени
ПК(У)-4	Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
ПК(У)-5	Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения
ПК(У)-6	Способен анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников
ПК(У)-7	Готов определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ
ПК(У)-8	Способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований
ПК(У)-9	Способен разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями

ПК(У)-10	Способен разрабатывать программные и аппаратные средства передачи цифровых данных
ПК(У)-11	Способен организовывать работу коллективов исполнителей проводить технико-экономический и функционально-стоимостной анализ рыночной эффективности создаваемого продукта
ПК(У)-12	Способен проводить лабораторные и практические занятия со студентами бакалавриата
ПК(У)-13	Способен овладевать навыками разработки учебно-методических материалов для студентов по отдельным видам учебных занятий
Профессиональные компетенции университета	
ДПК (У)-1	Способен проектировать интеллектуальные цифровые электронные системы обработки и анализа сигналов систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний технологических процессов и производств общепромышленного и специального назначения для различных отраслей национального хозяйства.

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

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ А.И. Солдатов
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1AM02	Быкову Александру Витальевичу

Тема работы:

Разработка драйвера управления бесколлекторными двигателями для установки шлифовки и полировки кристаллов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	363-33/с от 29.12.21

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является плата драйвера для управления бесколлекторными двигателями.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) тип используемых двигателей – биполярные шаговые; 2) напряжение питания двигателей – 12 – 35 В ±5 %; 3) ток двигателей – до 1 А; 4) частота вращения двигателей – от 300 до 600 об/мин; 5) время вращения двигателей – от 0 до 180 с; 6) температура окружающей среды – 10-35 °С; 7) относительная влажность – до 80 %; 8) условия эксплуатации – производственное помещение; 9) массогабаритные параметры – выбрать исходя из требований минимизации и эргономики; <p><i>Работа устройства не должна наносить вред окружающей среде и людям, находящимся в непосредственной близости от него.</i></p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><i>Аналитический обзор рынка установок шлифовки-полировки полупроводниковых материалов; разработка структурной схемы для реализации требований технического задания; разработка принципиальной схемы устройства; трассировка печатной платы; разработка корпуса устройства; сборка макета устройства, проверка работоспособности, настройка и проведение экспериментальных исследований.</i></p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Схема электрическая принципиальная, чертеж печатной платы, сборочный чертеж корпуса</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Т.Б. Якимова</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>А.И. Сечин</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Анализ исходных данных</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>30.12.2021</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель / консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОЭИ</p>	<p>В.С. Иванова</p>	<p>к.т.н</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>1АМ02</p>	<p>Быков Александр Витальевич</p>		

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

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**
 Уровень образования **магистратура**
 Отделение **электронной инженерии**
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация
 (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.12.2021	Определение темы и получение задания на выполнение ВКР	-
10.01.2022	Проведение обзора рынка установок шлифовки-полировки, анализ исходных данных для проектирования	10
07.02.2022	Разработка структурной и принципиальной схем устройства	30
15.02.2022	Получение задания по разделам «Финансовый менеджмент» и «Социальная ответственность»	-
28.03.2022	Проектирование печатной платы	20
25.04.2022	Разработка корпуса устройства	10
11.05.2022	Проверка работоспособности макета, отладка устройства	20
30.05.2022	Оформление расчетно-пояснительной записки	10
21.06.2022	Защита магистерской диссертации	-
	Итого	100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	В.С. Иванова	к.т.н		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	А.И. Солдатов	д.т.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1AM02	Быков Александр Витальевич

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей в соответствии со штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- районный коэффициент- 1,3; - коэффициент дополнительной заработной платы -1,1; - накладные расходы – 20%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Определение потенциальных потребителей. SWOT-анализ проекта. Оценка готовности проекта к коммерциализации.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Планирование работ; построение иерархической структуры ВКР
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование научно-технического проекта. Инициализация проекта. Организационная структура проекта. Разработка графика проведения научного исследования. Расчет бюджета затрат на проектирование. Расчет капитальных затрат на оборудование
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Расчёт интегрального показателя эффективности НИР, за счёт определения его основных составляющих: финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. Календарный план-график проведения НИР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.02.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н.		15.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM02	Быков Александр Витальевич		15.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
1AM02		Быков Александр Витальевич	
Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	Отделение (НОЦ)	Отделение электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	Электроника и нанoeлектроника 11.04.04

Тема ВКР:

Разработка драйвера управления бесколлекторными двигателями для установки шлифовки и полировки кристаллов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения.

Объект исследования: плата драйвера для управления бесколлекторными двигателями.

Область применения: производство электронных компонентов.

Рабочая зона: производственное помещение.

Размеры помещения: 6*8 м.

Количество и наименование оборудования рабочей зоны: осциллограф цифровой, мультиметр, источник питания лабораторный, персональный компьютер.

Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: компьютерное моделирование, сборка, проверка работоспособности объекта исследования.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ
ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя

2. Производственная безопасность при разработке проектного решения

- Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов.
- Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора.

Опасные факторы:

1. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека;
2. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.

Вредные факторы:

	<p>1. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</p> <p>2. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;</p> <p>3. Вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха.</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: системы общеобменной и местной вытяжной вентиляции, средства индивидуальной защиты в соответствии с действующими Нормами выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты.</p> <p>Расчет: расчет системы воздухообмена.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</p>	<p>Воздействие на литосферу: загрязнение твердыми отходами производства.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</p>	<p>Возможные ЧС: Природные катастрофы (наводнения, ураган и т. д.); Геологические воздействия (землетрясения, провалы территории и т. д.); Техногенные аварии (пожар). Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП ТПУ	Сечин Александр Иванович	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ02	Быков Александр Витальевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 113 с., 24 рис., 25 табл., 32 источника, 7 прил.

Ключевые слова: шлифовка кристаллов, полировка кристаллов, драйвер управления двигателем, шаговый двигатель, печатная плата.

Целью магистерской диссертации является разработка драйвера управления бесколлекторными двигателями для установки шлифовки и полировки кристаллов.

Объектом исследования является плата драйвера для управления бесколлекторными двигателями.

Предмет исследования – процесс управления бесколлекторными двигателями с помощью драйвера.

В процессе исследования проводилась разработка структурной и принципиальной схем устройства, подбор компонентов для реализации, проектирование печатной платы и корпуса устройства, проверка работоспособности и отладка макетного образца.

В результате исследования была получена принципиальная схема, чертеж печатной платы, сборочный чертеж корпуса.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: устройство предназначено для работы с шаговыми двигателями, позволяет реализовать режим их работы, необходимый для операции шлифовки-полировки.

Степень внедрения: разработана конструкторская документация, проверена работоспособность макетного образца. Область применения: оборудование для производства электронных компонентов.

В будущем планируется изготовить печатную плату и корпус устройства, произвести сборку и испытания опытного образца. В случае соответствия устройства заявленным требованиям планируется внедрение в производственных процесс.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие сокращения:

ЛАТР - лабораторный автотрансформатор регулируемый;

ПП – печатная плата.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ Р 1.5 – 2012. Стандартизация в Российской Федерации.

Стандарты Национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения;

2. ГОСТ Р 2.105 – 95. Единая система конструкторской документации.

Общие требования к текстовым документам;

3. ГОСТ Р 2.106 – 96. Единая система конструкторской документации.

Текстовые документы;

4. ГОСТ Р 2.316 – 2008. Единая система конструкторской

документации. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц;

5. ГОСТ Р 7.05 – 2008. Система стандартов по информации,

библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.

Оглавление

Введение	15
1 Анализ исходных данных	17
1.1 Технические характеристики установки шлифовки-полировки кристаллов	17
1.2 Выявленные недостатки установок шлифовки-полировки.....	20
1.3 Требования к обновленной установке.....	21
1.4 Анализ представленных на рынке установок	22
1.4.1 Станок AC microLine	23
1.4.2 Установка односторонней шлифовки и полировки AMSL/P-400F....	23
1.4.3 Установка шлифовки и полировки PM6	24
1.4.4 Сравнение характеристик рассмотренных установок	25
2 Разработка структурной и принципиальной схемы драйвера	27
2.1 Разработка структурной схемы.....	27
2.2 Разработка принципиальной схемы	28
2.2.1 Блок управления	29
2.2.2 Блок индикации	30
2.2.3 Блок коммутации	32
2.2.4 Блок управления двигателем.....	32
2.2.5 Микроконтроллер	35
2.2.6 Блок питания	36
3 Конструирование печатного узла и корпуса драйвера.....	38
3.1 Трассировка печатной платы	38
3.2 Разработка корпуса драйвера.....	43
4 Проверка работоспособности макетного образца	45
4.1 Настройка блока управления двигателем	45
4.2 Отладка блока управления и индикации.....	49
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	51

5.1	Предпроектный анализ.....	51
5.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	51
5.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	53
5.1.3	SWOT-анализ	55
5.1.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации	57
5.1.5	Метод коммерциализации научно-технического исследования	58
5.2	Инициация проекта	59
5.2.1	Цели и результаты проекта	59
5.2.2	Организационная структура проекта.....	60
5.2.3	Ограничения и допущения проекта	61
5.3	Планирование управления научно-техническим проектом	62
5.3.1	План проекта	62
5.4	Бюджет научного исследования	63
5.4.1	Сырье, материалы, специальное оборудование, покупные изделия... ..	63
5.4.2	Специальное оборудование для научных работ	64
5.4.3	Основная заработная плата	65
	Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	72
6	Социальная ответственность	73
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	73
6.1.1	Специальные (характерные для рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	74
6.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны....	74
6.2	Производственная безопасность.....	75
6.2.1	Анализ электробезопасности рабочей зоны	76

6.2.2 Анализ воздушной среды рабочей зоны	77
6.2.3 Повышенная температура поверхности изделия, оборудования, инструмента и расплавов припоев.....	79
6.2.4 Анализ освещенности рабочей зоны	79
6.2.5 Анализ микроклимата	80
6.3 Экологическая безопасность.....	81
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	82
Выводы по разделу «Социальная ответственность»	84
Заключение.....	85
Список использованных источников	86
Приложение А Initial data analysis	90
Приложение Б Схема электрическая принципиальная	100
Приложение В Перечень элементов.....	102
Приложение Г Чертеж печатной платы	105
Приложение Д Сборочный чертеж	107
Приложение Е Спецификация.....	109
Приложение Ж Календарный план проекта	111

Введение

При производстве инфракрасных светодиодов, которые применяются в системах связи, медицинской технике, системах ночного видения, навигационных и охранных системах, а также в военной продукции, важно добиться высокой эффективности световывода из кристалла и правильного пространственного распределение потока излучения. Эти параметры в значительной степени зависят от геометрической формы кристалла. Получение нужной формы достигается в процессе операции шлифовки и полировки кристалла [1].

В данный момент в АО «НИИПП», г. Томск существует производственный участок шлифовки-полировки, где производится формирование сферической поверхности светодиода в процессе шлифовки и повышение чистоты поверхности в процессе полировки. Ввиду роста спроса на светодиоды, требуется увеличить производительность установок, расположенных на этом участке, и повысить точность настройки и ремонтпригодность. Для этого могут быть использованы бесколлекторные шаговые двигатели, на валах которых будут установлены шлифовальные поверхности и драйвера для управления этими двигателями.

Следует обеспечить необходимый для производства режим работы бесколлекторных шаговых двигателей в установках шлифовки-полировки. Для решения этой проблемы необходимо разработать драйвер, который будет регулировать работу двигателей.

Целью магистерской диссертации является разработка драйвера управления бесколлекторными двигателями для установки шлифовки и полировки кристаллов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- Проанализировать представленные на предприятии установки, выделить их особенности;

- Провести анализ установок для шлифовки и полировки, представленных на рынке;
- Разработать структурную схему драйвера;
- Разработать принципиальную схему драйвера;
- Спроектировать печатный узел устройства;
- Спроектировать корпус устройства;
- Проверить работоспособность макетного образца.

Объектом исследования является плата драйвера для управления бесколлекторными двигателями.

Предмет исследования – процесс управления бесколлекторными двигателями с помощью драйвера.

Практическая значимость – разработан драйвер для управления двигателями установки шлифовки-полировки. Полученная конструкторская документация может быть использована для изготовления прототипа устройства и внедрения устройства в производственный процесс.

1 Анализ исходных данных

1.1 Технические характеристики установки шлифовки-полировки кристаллов

В начале процесса разработки драйвера для обновления установок шлифовки-полировки необходимо исследовать строение имеющихся в производственном подразделении «Цех № 2» установок, описать их технические характеристики и на основе этого выделить недостатки, подлежащие устранению.

Внешний вид установки для шлифовки-полировки представлен на Рисунке 1.1.

Включение установки осуществляется оператором с помощью двух тумблеров: один тумблер запускает вращение каретки, другой – вращение шпинделей.



Рисунок 1.1 – Установка шлифовки-полировки кристаллов

На Рисунке 1.2 представлена рабочая область установки.



Рисунок 1.2 – Рабочая область установки

Рабочая область представляет собой круглую каретку, в которую установлены девять шпинделей. На валу каждого шпинделя располагается колпачок для шлифовки одного кристалла.

Каретка вращается с частотой до 1 об/мин, шпиндели с частотой до 600 об/мин. Частота вращения каретки и шпинделей может регулироваться оператором с помощью поворотных регуляторов, установленных на передней панели установки.

Структурная схема установки шлифовки-полировки представлена на Рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Структурная схема установки

Питание установки осуществляется от электросети ~ 220 В. Затем напряжение питания понижается с помощью двух ЛАТРов РНО-250-2. Они предназначены для плавного регулирования напряжения в обмотке возбуждения двигателей постоянного тока. Для преобразования переменного тока в пульсирующий постоянный используются диодные мосты на выходе автотрансформаторов. Вращая регуляторы ЛАТРов, оператор может установить нужное число оборотов для каретки или шпинделей.

Для осуществления вращения каретки и шпинделей используются два двигателя ПЛ-072. Вращение шпинделей производится с помощью ременной передачи. Вращение каретки производится с использованием двух червячных редукторов. Использование подобных редукторов обусловлено расположением двигателя относительно каретки.

Установки рассчитаны на эксплуатацию при температуре окружающей среды от +10 до +35 °С, относительной влажности воздуха не более 80% при температуре +20 °С и атмосферном давлении 750 ± 30 мм.рт.ст. Заявленная производительность полуавтомата – 120 шт/ч.

1.2 Выявленные недостатки установок шлифовки-полировки

После исследования строения представленных установок и описания их технических характеристик было выявлено, что конструкция установки имеет ряд недостатков.

С помощью ЛАТРов нельзя регулировать частоту вращения шпинделей и каретки с высокой точностью. ЛАТРы РНО-250-2, использующиеся в конструкции установки, не имеют блока индикации, по которому можно было бы достоверно судить о напряжении, выставленном на выходе автотрансформатора. Регулировка частоты вращения производится с помощью регулятора ЛАТРа вручную оператором, что влечет за собой появление погрешности. Установить более точное значение частоты вращения возможно после проведения дополнительных операций по измерению частоты.

С используемыми в установке коллекторными двигателями ПЛ-072 возникает проблема износа щеток. В случае такой неисправности возникает неспособность развития двигателем полных оборотов и выхода на полную мощность, а также тяжёлый старт двигателя. Нестабильность в работе двигателя приводит к нестабильности обработки кристаллов, к появлению брака.

Для вращения шпинделей используется ременная передача, которая имеет следующие проблемы: проскальзывание ремня при ослаблении, которое вызвано износом ремня, что ведет к нестабильности работы, или обрывы ремня при чрезмерном натяжении, что ведет к выходу из строя всей установки.

При вращении шпинделей наблюдается частое их подклинивание, что создает неравномерность вращения. Используемые для понижения частоты

вращения и повышения момента червячные редукторы имеют низкую ремонтпригодность из-за больших габаритов и массы. Во всех установках наблюдается высокий износ электрических соединений, смазочных материалов.

Исходя из выявленных недостатков, можно провести анализ требований к обновлению установок.

1.3 Требования к обновленной установке

В рассмотренной установке присутствуют части, вызывающие наиболее частые ситуации нестабильной работы или выход из строя установки. Исходя из выявленных проблем, необходимо исключить из конструкции установки или заместить червячные редукторы, ременную передачу и коллекторные двигатели.

Необходимо сделать процесс более точным и придать ему большую повторяемость, а именно, дать возможность установить точное время и количество оборотов для обработки кристалла. Также для отображения этой информации необходим блок индикации.

Вместо одного двигателя, приводящего в движение шпиндели необходимо использовать отдельный двигатель для каждого обрабатываемого образца. Драйвер должен обеспечивать работу гибридных биполярных шаговых двигатели с током до 1 А, и рабочим напряжением до 35 В.

Желательно, чтобы каждый из девяти двигателей мог запускаться вне зависимости от остальных по приходу внешнего сигнала. Это может быть сигнал с датчика, информирующий о том, что обрабатываемое устройство находится на рабочем месте или сигнал с кнопки, нажатие на которую производит оператор установки.

Каждый двигатель после сигнала запуска должен плавно начать вращать шлифовальную поверхность, установленную на вал, и делать это определенный отрезок времени, который был ранее установлен пользователем установки.

Должен присутствовать блок управления для настройки количества оборотов вращения двигателя. Частота вращения вала двигателя при работе на данной установке лежит в диапазоне от 300 до 600 оборотов в минуту. Также драйвер должен иметь функцию изменения времени вращения вала. Время вращения регулируется в диапазоне от 0 до 180 с. Возможность изменять данные параметры потребуется в том случае, если партии сырья, обрабатываемого на установке, будут отличаться по характеристикам.

Установка должна иметь индикатор, который будет отображать установленные на данный момент время вращения и число оборотов.

Каждый двигатель установки должен управляться отдельным драйвером для обеспечения большей вариативности подключения (подключение более 9 двигателей), и для обеспечения большей надежности установки, так как при отказе одного драйвера остальные восемь будут полностью работоспособны.

Технические характеристики установки представлены в Таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Требования к техническим характеристикам установки

Параметр	Значение
Кол-во двигателей	9
Тип двигателей	Биполярные шаговые
Ток двигателей	До 1 А
Рабочее напряжение двигателей	До 35 В
Частота вращения	От 300 до 600 об/мин
Время вращения	От 0 до 180 с

После анализа требований необходимо провести обзор существующих на рынке установок шлифовки и полировки, выделить их преимущества и недостатки, определить наличие или отсутствие такой, которая удовлетворяла бы требованиям.

1.4 Анализ представленных на рынке установок

В ходе анализа рынка были выбраны и рассмотрены несколько установок для шлифовки и полировки полупроводниковых материалов.

1.4.1 Станок AC microLine

Двухдисковые шлифовальные станки немецкой компании Peter Wolters серии AC microLine применяются для высокоточного шлифования, притирки, доводки, полирования.



Рисунок 1.4 – Станок AC microLine

На станках серии AC microLine можно обрабатывать образцы различной формы, т.е. круглые (например, п/п пластины, стеклянные пластины и др.), прямоугольные или нестандартной формы, обрабатывать как всю поверхность образца, так и отдельный сегмент или участок поверхности. Станки серии AC microLine служат для обработки тонких и хрупких образцов, таких как стекло, полупроводниковые пластины: кремниевые пластины, пластины из структур GaAs, GaN и др., пластины из сапфира, керамики и др. Станок имеет защитное ограждение вокруг зоны шлифовки [2].

1.4.2 Установка односторонней шлифовки и полировки AMSL/P-400F

Установка односторонней шлифовки и полировки AMSL/P-400F производства корейской компании Amssec.



Рисунок 1.5 - Установка односторонней шлифовки и полировки AMSL/P-400F

Установка предназначена для обработки пластин Si, SiC, GaAs, GaN, InP, карбида вольфрама, твердых металлов, бронзы, алюминия, кварца, хрусталя, сапфира, оптического стекла, керамических подложек, циркония, пластиков и композитов, пьезоматериалов, ферритов. Эта установка обладает компактным размером, рабочая зона защищена специальным шкафом. Установка AMSL/P-400F имеет цифровой таймер и счетчик скорости (оборотов в минуту), мягкий пуск и остановку [3].

1.4.3 Установка шлифовки и полировки PM6

Еще одним вариантом, представленным на рынке, является настольная установка шлифовки и полировки PM6. Производство Logitech Ltd, Великобритания.



Рисунок 1.6 – Установка шлифовки и полировки РМ6

Установка РМ6 является настольной установкой шлифовки и полировки для исследовательского производства, способной обрабатывать пластины размером до четырех дюймов с небольшой производительностью.

Установка может обрабатывать пластины из полупроводниковых материалов, оптического стекла, керамики, и других материалов [4].

1.4.4 Сравнение характеристик рассмотренных установок

Необходимо установить, подходят ли рассмотренные установки для совершения операции шлифовки и полировки кристаллов при производстве светодиодов. Характеристики рассмотренных установок представлены в Таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Сравнение характеристик рассмотренных установок

Параметры	АС microLine	AMSL/P-400F	PM6
Производитель	Германия	Корея	Великобритания
Скорость вращения	5-320 об/мин	5-150 об/мин	5-100 об/мин
Обрабатываемый материал	Si, GaAs, GaN и др., пластины из сапфира, керамики	Si, SiC, GaAs, GaN, InP, кварц, хрусталь, сапфира, оптическое стекла, керамические подложки	Si, SiC, GaAs, GaN, керамические пластины, оптическое стекло
Размеры рабочей области (диаметр)	534 мм	150 мм	300 мм
Форма обрабатываемого образца	Пластины	Пластины	Пластины
Мягкий пуск и остановка	Имеется	Имеется	Имеется
Регулировка количества оборотов и времени обработки	Имеется	Имеется	Имеется

Исходя из данных Таблицы 1.2, можно сделать вывод, что установки, представленные на рынке, не подходят для выполнения операции в производстве светодиодов. Все рассмотренные установки могут работать с арсенидом галлия, но обладают рядом существенных недостатков.

Основными недостатками рассмотренных установок являются то, что установки работают исключительно с пластинами, а для производства светодиодов требуется обработка в форме полусферы. Также все установки произведены зарубежными фирмами, что делает их приобретение затруднительным.

Таким образом, следует использовать выделенные преимущества данных установок в модернизации существующих, а именно, обеспечить свою установку возможностью регулировки количества оборотов и времени обработки, а также мягким пуском и остановкой.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Раздел финансового менеджмента необходим для оценки коммерческой ценности (потенциала) разработки. Этот процесс является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью магистерской диссертации является разработка драйвера управления бесколлекторными двигателями для установки шлифовки и полировки кристаллов. Следовательно, объект исследования - плата драйвера для управления бесколлекторными двигателями. Область применения разрабатываемой платы – производство электронных компонентов, а именно светодиодов инфракрасного диапазона.

В данном разделе представлен предпроектный анализ, а также результаты этапов управления научным проектом, таких как инициализация проекта, его планирование и исполнение.

5.1 Предпроектный анализ

Предпроектный анализ направлен на сбор информации, которая описывает требования к разрабатываемому продукту, коммерческий и инновационный потенциал выполненного научно-технического исследования.

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Разработка и исследование драйвера для управления бесколлекторными двигателями проводится на базе АО «НИИ ПП» и преследует цели модернизации и обновления оборудования, представленного на предприятии.

Следовательно, потенциальным потребителем продукта исследования является АО «НИИ ПП», а именно, производственное подразделение «Цех № 2», специализирующийся на производстве светотехнической продукции.

Стоит также отметить, что бесколлекторные шаговые двигатели применяются в разнообразных промышленных установках, ЧПУ станках, 3D принтера. Следовательно, целевым рынком для разработанного драйвера является не только НИИ ПП, а также другие научно-исследовательские центры и промышленные предприятия.

Для анализа потенциальных потребителей результатов было проведено исследование целевого рынка и выполнено его сегментирование. Карта сегментирования рынка представлена в Таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

	Применение драйвера		
	ЧПУ станки	Промышленные установки	3D принтеры
Научно – исследовательские центры			
Промышленные предприятия			
Физические лица			

	Сегмент освоен
	Сегмент освоен слабо
	Сегмент не освоен или информация не найдена

Из приведенной выше карты сегментирования рынка следует, что разрабатываемое устройство может занять такие сегменты рынка, как промышленные установки и 3D принтеры для научно-исследовательских центров, промышленных предприятий и частных лиц. Данные сегменты рынка на данный момент освоены слабо, либо не освоены совсем.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, для ее составления необходимо отобрать несколько конкурентных разработок. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок) представлена в Таблице 5.2.

В качестве устройств, конкурирующих на рынке с разрабатываемым звуковым преобразователем, были отобраны:

- Драйвер одноканальный для шаговых двигателей EP-442 ($B_{к1}$ и $K_{к1}$);
- Одноканальный драйвер шаговых двигателей DM860H ($B_{к2}$ и $K_{к2}$);
- Драйвер Leadshine DM542 ($B_{к3}$ и $K_{к3}$).

Собственная разработка обозначена буквами B_p и K_p .

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкуренто-способность			
		Б _р	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _р	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1.Повышение производительности труда пользователя	0,09	5	3	4	4	0,45	0,27	0,36	0,36
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,09	5	2	5	5	0,45	0,18	0,45	0,45
3. Помехоустойчивость	0,04	4	3	5	5	0,16	0,12	0,2	0,2
4. Энергоэкономичность	0,04	4	4	4	4	0,16	0,16	0,16	0,16
5. Надежность	0,09	4	2	4	4	0,36	0,18	0,36	0,36
6. Уровень шума	0,02	4	4	4	4	0,08	0,08	0,08	0,08
7. Безопасность	0,04	4	3	4	5	0,16	0,12	0,16	0,2
8. Потребность в ресурсах памяти	0,02	5	3	3	3	0,1	0,06	0,06	0,06
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	5	2	4	5	0,25	0,1	0,2	0,25
10. Простота эксплуатации	0,05	4	3	5	5	0,2	0,15	0,25	0,25
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	5	3	4	4	0,25	0,15	0,2	0,2
12. Возможность подключения к ПК	0,03	5	2	2	2	0,15	0,06	0,06	0,06
Экономические критерии оценки эффективности									
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	2	4	4	0,16	0,08	0,16	0,16
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	1	4	4	4	0,03	0,12	0,12	0,12
3. Цена	0,04	3	5	3	3	0,12	0,2	0,12	0,12
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	3	5	5	0,28	0,21	0,35	0,35
5. Послепродажное обслуживание	0,07	4	4	4	4	0,28	0,28	0,28	0,28
6. Финансирование научной разработки	0,02	3	4	4	4	0,06	0,08	0,08	0,08
7. Срок выхода на рынок	0,09	2	5	5	5	0,18	0,45	0,45	0,45
8. Наличие сертификации разработки	0,03	5	4	4	4	0,15	0,12	0,12	0,12
Итого	1	80	65	81	83	4,03	3,17	4,22	4,31

Из оценочной карты для сравнения конкурентных технических разработок следует, что разрабатываемый драйвер на данном этапе недостаточно конкурентоспособен, уверенно конкурирует только с устройствами с относительно дешевыми устройствами, не обладающими большим набором функций. Особо негативное влияние на конкурентоспособность оказывает низкий уровень проникновения на рынок и большой срок выхода на рынок.

Также из оценочной карты следует, что в технической части разрабатываемый проект является перспективным, так как по некоторым критериям превосходит уже имеющиеся у конкурентов разработки. Конкурентными преимуществами продукта является его функциональная мощность и возможность подключения к персональному компьютеру. Необходимо развивать технические характеристики проекта, параллельно выводя продукт на рынок для укрепления конкурентоспособности.

5.1.3 SWOT-анализ

В данном подразделе проведен комплексный анализ научно-исследовательского проекта, а именно SWOT – анализ. Он служит для исследования внешней и внутренней среды проекта. SWOT – анализ был проведен в несколько этапов.

В первом этапе SWOT – анализа были описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в Таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны: С1. Повышение автоматизации труда и производительности С2. Гибкая система настройки производственного процесса С3. Высокая надежность устройства С4. Низкое энергопотребление</p>	<p>Слабые стороны: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Зависимость от иностранных производителя элементной базы Сл3. Сложность организации процесса массового производства</p>
<p>Возможности: В1. Разработка новых функций драйвера В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Привлечение специалистов из ТПУ для работы над проектом В4. Замена иностранной компонентной базы на отечественную В5. Подключение устройства к ПК с помощью специализированного интерфейса</p>	<p>Сильные стороны проекта могут спровоцировать дополнительный спрос на устройство. Для удовлетворения этого спроса необходимо привлекать новых специалистов и разрабатывать новые функции, которые, в дальнейшем, пополнят список сильных сторон.</p>	<p>Слабые стороны проекта, такие как зависимость от иностранной компонентной базы и сложность организации процесса массового производства должны мотивировать разработчиков привлекать новые кадры для работы над проектом и заменить иностранную компонентную базу на отечественную.</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на устройство У2. Повышение стоимости компонентной базы У3. Несвоевременное финансирование проекта У4. Введение дополнительных государственных требований и сертификации продукции</p>	<p>Сильные стороны проекта либо позволяют противостоять большинству внешних угроз, либо не зависят от них.</p>	<p>Наиболее опасная угроза – повышение стоимости компонентной базы совместно с несвоевременным финансированием проекта влечет за собой невозможность решить технические проблемы и задерживает запуск массового производства.</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в Таблице 5.3.

5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

При разработке устройства необходимо оценивать степень его готовности к коммерциализации и выявить возможность ее самостоятельного проведения или завершения. Для проведения оценки необходимо заполнить специальную форму оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации. В Таблице 5.4 представлен перечень вопросов, по которым необходимо произвести оценку.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации определяется по формуле:

$$B_{\text{СУМ}} = \sum B_i, \quad (5.2)$$

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

B_i – балл по i -му показателю.

Таблица 5.4 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1. Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2. Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
3. Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4. Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5. Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4

Продолжение таблицы 5.4

6.Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	1
7.Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8.Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	2
9.Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	3
10.Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	2
11.Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13.Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14.Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.Проработан механизм реализации научного проекта	4	3
ИТОГО БАЛЛОВ	43	37

Из данных, представленных в Таблице 5.4, следует, что перспективность проекта средняя, проект не готов к коммерциализации, так как имеет ряд недоработок. Их необходимо устранить в ходе более глубоких исследований в области маркетинга.

5.1.5 Метод коммерциализации научно-технического исследования

Методом коммерциализации был выбран инжиниринг. Он предполагает предоставление одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

5.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

5.2.1 Цели и результаты проекта

В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

В Таблице 5.5 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 5.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Научный руководитель	В результате экспериментальных исследований получить необходимые требования к устройству. Обучение студента.
Инженер	Повышение уровня квалификации благодаря работе в научной сфере
Организация заказчик	Использование результатов проекта в производстве

В Таблице 5.6 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 5.6 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка и исследование драйвера управления бесколлекторными двигателями для установки шлифовки-полировки
Ожидаемые результаты проекта:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка конструкторской документации устройства 2. Сборка опытного образца 3. Проведение экспериментальных исследований 4. Изготовление драйверов для оснащения установок
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособное устройство, технические характеристики которого соответствуют требованиям технического задания
Требования к результату проекта:	Требование:
	Напряжение питания: 12-35 В
	Ток двигателя: до 2 А
	Стабильность оборотов и времени шлифовки

На данном этапе определены заинтересованные стороны проекта, определены цели и ожидаемые результаты проекта, а также критерии приемки результатов проекта заинтересованной стороной. В дальнейшем это позволит не допустить перерасход средств и избежать конфликтов между участниками проекта.

5.2.2 Организационная структура проекта

В ходе организации структуры проекта были исследованы следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в данном проекте, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Информация о рабочей группе проекта приведена в Таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Иванова Вероника Сергеевна, кандидат технических наук, доцент отделения электронной инженерии ТПУ	Научный руководитель от ТПУ	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта, участие в обсуждениях по результатам работы	120
2	Пашков Владимир Александрович, начальник группы механика, АО «НИИ ПП», цех №2	Научный руководитель от предприятия	Консультирование исполнителя проекта в области электроники, участие в обсуждениях по результатам работы, проведение экспериментов с макетом разработки,	240
3	Быков Александр Витальевич	Инженер	Обзор литературы, разработка принципиальной и структурной схемы драйвера, разработка печатной платы и корпуса устройства, составление конструкторской документации, проведение экспериментов с макетным образцом	805
ИТОГО:				1165

5.2.3 Ограничения и допущения проекта

Существуют факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры

проекта, которые не будут реализовываться в рамках данного проекта. Данные об ограничениях и допущениях проекта представлены в Таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
1. Бюджет проекта	150000 р.
1.1. Источник финансирования	АО «НИИ ПП»
2. Сроки проекта	10.01.2022-21.06.2022
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	10.01.2022
2.2. Дата завершения проекта	21.06.2022
Фактор	Ограничения/допущения
3. Прочие ограничения и допущения	Ограниченное время работы за ПК, связанное напряжением визуальных анализаторов, ограниченное время работы при монтаже макета, связанное с вредными факторами пайки

5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

5.3.1 План проекта

Планирование управления научно-техническим проектом заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной цели, определение сроков их выполнения.

Планирование этапов работ включает в себя составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по всем видам работ. В Таблице Ж.1 приведены основные этапы и содержание работ с распределением ответственных исполнителей.

Целесообразно применить линейное планирование с построением диаграммы Ганта, представленной в Таблице Ж.2 График построен с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Для удобства построения графика длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведены в календарные дни по формуле.

$$T_{\kappa_i} = T_{p_i} k_{\text{кал}} \quad (5.3)$$

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

T_{κ_i} – продолжительность одной работы в календарных днях, дн.;

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

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле.

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней году, дн.;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году, дн.;

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

Тогда $k_{\text{кал}} = 365/(365-118) = 1,47$.

5.4 Бюджет научного исследования

Планирование бюджета научного исследования произведено путем составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов.

5.4.1 Сырье, материалы, специальное оборудование, покупные изделия

Стоимость всех видов и материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ сформирована исходя из приобретения и платы за транспортировку. Транспортно-заготовительные расходы приняты в пределах 5 % от цены материалов. Стоимость сырья, материалов, комплектующих изделий приведена в Таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Микроконтроллер Atmega	1	2670	2670
Кварцевый генератор	1	63	63
Индикатор	1	720	720
Набор конденсаторов	1	620	620
Набор резисторов	1	700	700
Энкодеры	2	240	480
Стабилизатор импульсный	1	870	870
Диод Шоттки	1	210	210
Разъемы	3	100	300
Драйвер индикатора	1	560	560
Модуль А4988	1	480	480
Припой канифолью	1	200	200
Флюс	1	250	250
Плата печатная	1	580	580
Бумага для принтера	1	700	700
Всего за материалы			9403
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			470
Итого по статье С _м			9873

5.4.2 Специальное оборудование для научных работ

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения экспериментальных работ. Затраты по доставке и монтажу заложены в цену оборудования.

В Таблице 5.10 представлены расчеты затрат на специальное оборудование, необходимое для проведения научных исследований. Так как амортизация не начисляется на оборудование стоимостью менее 100000 т.р., в проект включена полная стоимость.

Таблица 5.10 – Расчет затрат по статье «Специальное оборудование для научных работ».

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, тыс. руб	Общая стоимость оборудования, тыс. руб
Принтер	1	6,5	6,5
Паяльная станция	1	10	10
Мультиметр	1	5	5
Источник питания	1	25	25
Осциллограф	1	52	52
Итого по статье			98,5

5.4.3 Основная заработная плата

В статью включена основная заработная плата работников, непосредственно участвующих в выполнении работ. Величина расходов по заработной плате определена исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, включая премии, доплаты и дополнительную заработную плату. Заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$C_{ЗП} = Z_{ОСН} + Z_{ДОП}, \quad (5.5)$$

где $Z_{ОСН}$ – основная заработная плата;

$Z_{ДОП}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{ОСН} = Z_{ДН} \cdot T_{РАБ}, \quad (5.6)$$

где $Z_{ОСН}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{РАБ}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней.

$Z_{ДН}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (5.7)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение периода выполнения проекта (6 месяцев);

$F_{\text{д}}$ – действительный фонд рабочего времени научно-технического персонала в период выполнения проекта, раб. дней.

Таблица 5.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель от предприятия	Научный руководитель от ТПУ	Инженер
Календарное число дней (длительность проекта с 10.01.22 по 21.06.22)	162	162	162
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	53	53	53
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	109	109	109

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (5.8)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в Таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$, руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Научный руководитель от ТПУ	37700	1,3	49010	2697	30	80910
Научный руководитель от предприятия	17000	1,3	22100	1216	75	91200
Инженер	14000	1,3	18200	1001	109	109109

5.4.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде. Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта:

$$З_{ДОП} = k_{ДОП} \cdot З_{ОСН}, \quad (5.9)$$

где $З_{ДОП}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{ДОП}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$З_{ОСН}$ – основная заработная плата, руб.

В Таблице 5.13 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.13 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Научный руководитель от предприятия	Научный руководитель от ТПУ	Инженер
Основная зарплата	91200	80910	109109
Дополнительная зарплата	9120	8091	10910
Зарплата исполнителей	100320	89001	120019
Итого по статье $C_{зп}$	309340		

5.4.5 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{ВНЕБ} = k_{ВНЕБ} \cdot (З_{ОСН} + З_{ДОП}), \quad (5.10)$$

где $k_{ВНЕБ}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Итого 30,2% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР:

$$C_{внеб} = 0,302 \cdot 309340 = 98988$$

Отчисления на социальные нужды составляют 98988 рубля.

5.4.6 Накладные расходы

В данную статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, содержание, эксплуатацию, ремонт оборудования, производственного инструмента и инвентаря.

Коэффициент накладных расходов составляет 20 % от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта.

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{\text{НАКЛ}} = k_{\text{НАКЛ}} \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}}), \quad (5.11)$$

где $k_{\text{НАКЛ}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,2 \cdot 309340 = 61868$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательской работы. Калькуляция плановой себестоимости представлена в Таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Основные и вспомогательные материалы	9873
Затраты на специальное оборудование	98500
Основная заработная плата	281219
Дополнительная заработная плата	28121
Отчисления на социальные нужды	98988
Накладные расходы	61868
Итого себестоимость НИР	578509

5.5 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (5.13)$$

где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

$$\begin{aligned} I_m^a &= \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \\ I_m^p &= \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \end{aligned} \quad (5.12)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен в Таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2	Аналог 3	$I_{пп}$	$I_{ан1}$	$I_{ан2}$	$I_{ан3}$
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,3	5	3	3	3	1,5	0,9	0,9	0,9
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	3	4	5	0,5	0,3	0,4	0,5
3. Помехоустойчивость	0,1	4	3	4	4	0,4	0,3	0,4	0,4
4. Энергосбережение	0,1	4	4	4	4	0,4	0,4	0,4	0,4
5. Надежность	0,3	4	3	4	5	1,2	0,9	1,2	1,5
6. Материалоемкость	0,1	4	3	4	4	0,4	0,3	0,4	0,4
ИТОГО	1	26	19	23	25	4,4	3,1	3,7	4,1

Из результатов расчета, представленных в Таблице 5.15 следует, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта выше, чем у предлагаемых аналогов. Таким образом, разработанный драйвер является более ресурсоэффективной разработкой относительно аналогов.

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального финансового показателя по формулам.

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} \quad (5.13)$$

$$I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} \quad (5.14)$$

Сравнения интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Данный показатель рассчитывается по формуле (5.15):

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a}, \quad (5.15)$$

Все полученные параметры сравнительного анализа представлены в Таблице 5.16. Сравнительная эффективность вариантов исполнения была рассчитана для наиболее конкурентноспособных Аналогов 2 и 3.

Таблица 5.16 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог 2	Разработка	Аналог 3
Интегральный показатель финансовой эффективности	0,9	0,8	0,95
Интегральный показатель ресурсоэффективности	3,7	4,4	4,1
Интегральный показатель эффективности	4,1	5,5	4,3
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,34		1,27

Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В ходе выполнения данного раздела был проведен предпроектный анализ, в котором были установлены потенциальные потребители результатов исследования. Основным потребителем разрабатываемого устройства является АО «НИИ ПП», а также другие промышленные предприятия.

Также в ходе предпроектного анализа было установлено, что проект не готов к коммерциализации. Необходимо уделить внимание проработке вопросов, связанных с маркетингом.

Затем в ходе инициации проекта были конкретизированы цели, результаты и организационная структура проекта.

После планирования научно-исследовательской работы, был проведен расчет заработной платы и общего бюджета проекта. Стоимость сырья, оборудования и материалов - 108373 руб. Размер окладов и выплат исполнителям проекта - 309340 руб. Общий бюджет проекта - 578509 руб. Основную долю расходов составляет заработная плата, отчисления на социальные нужды и накладные расходы.

После расчета себестоимости была выполнена оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный показатель эффективности исследования выше, чем у рассмотренных аналогов.

6 Социальная ответственность

Целью магистерской диссертации является разработка драйвера управления бесколлекторными двигателями для установки шлифовки и полировки кристаллов. Следовательно, объект исследования – плата драйвера для управления бесколлекторными двигателями.

Область применения разрабатываемой платы – производство электронных компонентов, а именно, светодиодов инфракрасного диапазона. Потенциальным потребителем является АО «НИИ ПП», производственное подразделение «Цех № 2», на базе которого ведется разработка устройства.

Рабочее место располагается на втором этаже в производственном помещении, которое относится к подразделению «Цех № 2». Помещение представляет собой комнату размером 6 на 8 м, высотой 2,5 м. В помещении расположены рабочие места инженерно-технических работников цеха в количестве 4 человек. Помещение оборудовано тремя персональными компьютерами, различной измерительной аппаратурой (мультиметры, осциллографы), лабораторными источниками питания.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данном подразделе рассмотрены специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства, а также организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Основные положения отношений между организацией и сотрудниками, включая оплату и нормирование труда, выходных, отпуска и так далее, содержатся в Трудовом Кодексе РФ.

Рабочая зона оборудована рабочими местами, соответствующими требованиям охраны труда, работники обеспечены средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя согласно ТК РФ, N 197-ФЗ [17].

Согласно трудовому договору установлен режим работы по графику пятидневной рабочей недели продолжительностью сорок часов.

В соответствии с трудовым договором предусмотрена рациональная организация труда в течение смены, которая предусматривает:

- длительность рабочей смены не более 8 часов;
- установление двух регламентируемых перерывов (в 10:00 и в 15:00 длительностью 15 минут);
- перерыв для отдыха и питания с 12:00 до 13:00 (в рабочее время не включается).

Выполнение данных положений обеспечивает работу при оптимальных условиях внешней производственной среды и при оптимальной величине физической, умственной и нервно-эмоциональной нагрузки.

6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Каждое рабочее место в рассматриваемом помещении занимает площадь около 5 м², объем рабочего места не менее 12 м³ на одного человека.

Необходимо установить, соответствует ли место выполнения работ, находящееся в рассматриваемом производственном помещении, требованиям ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя».

Высота рабочей поверхности стола соответствует рекомендованной при легких работах (монтаже крупных деталей, конторских работах, станочных работах, не требующие высокой точности, и др.) и составляет 750 мм [18]. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура - 695 мм. Рабочий стол имеет ширину 980 мм и длину 1600 мм. Имеется пространство для ног высотой 695 мм, шириной 550 мм, глубиной на уровне колен 450 мм и на уровне вытянутых ног 650 мм.

Монитор расположен на уровне глаз на расстоянии 500–600 мм. Угол наблюдения в горизонтальной плоскости составляет 30°, то есть не более 45° к нормали экрана. Имеется возможность выбора уровня контрастности и яркости изображения на экране.

Рабочий стол устойчивый, имеет однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул имеет дизайн, исключая онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Рабочее место сотрудника соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя», следовательно, дополнительных мероприятий по компоновке рабочей зоны не требуется.

6.2 Производственная безопасность

При разработке проектного решения на сотрудника могут воздействовать вредные и опасные производственные факторы, которые необходимо выявить и проанализировать. Выявленные факторы классифицируются согласно «ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.

Классификация». Вредные и опасные факторы, воздействующие на сотрудника при проектировании драйвера представлены в Таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные производственные факторы при проектировании драйвера

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [19]
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [20]
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [21]
Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой (повышенная температура поверхности изделия, оборудования, инструмента и расплавов припоев)	+	+		ТИ Р М-075-2003 Межотраслевая типовая инструкция по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником [22]
Вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [23]

6.2.1 Анализ электробезопасности рабочей зоны

Воздействие производственные фактора, связанного с электрическим током, под действие которого попадает работающий, может наблюдаться на всех этапах: при разработке, изготовлении и эксплуатации проектного решения.

Помещение рабочей зоны, в котором проводится проектирование драйвера, относится к помещениям без повышенной опасности, то есть к таким, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность поражения людей электрическим током, а именно:

- работа происходит при нормальной температуре 22-24°C и относительной влажности воздуха до 75% (согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ);

- напольные покрытия изготовлены из не токопроводящих материалов (линолеум);

- отсутствуют сложные металлические конструкции;

- в воздухе и на поверхностях не присутствует токопроводящая пыль;

- присутствует электроаппаратура с напряжением исключительно менее 0,23 кВ [24].

Также для обеспечения электробезопасности и предотвращения воздействия производственных факторов, связанных с электрическим током, под действие которого попадает работающий, в рабочей зоне контролируется целостность основной изоляции, имеется система защитного отключения, знаки безопасности, а также электрозащитные средства и другие средства индивидуальной защиты.

6.2.2 Анализ воздушной среды рабочей зоны

Чрезмерное загрязнение рабочей зоны является причиной усугубления хронических заболеваний, а также влияет на общее самочувствие и эффективность труда. Необходимо провести расчет воздухообмена для очистки воздуха для выявления возможного превышения предельно допустимой концентрации вредных веществ.

В общественных помещениях постоянным вредным выделением является выдыхаемый людьми углекислый газ (CO₂). В помещении, в котором

проводится проектирование, одновременно находятся 4 работника. Данные работники являются взрослыми, выполняющими легкую работу, следовательно, количество CO₂, выделяемое каждым, равно 45 л/ч или 68 г/ч.

Определение требуемого воздухообмена производится по количеству углекислого газа, выделяемого работниками и по его допустимой концентрации. После определения требуемого воздухообмена необходимо рассчитать кратность воздухообмена, которая должна быть больше 10.

Требуемый воздухообмен определяется по формуле:

$$L = 1000G / (x_g - x_n), \text{ м}^3/\text{ч} \quad (6.1)$$

где L , м³/ч – требуемый воздухообмен;

G , г/ч – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения;

x_g , мг/м³ – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88 ПДК, CO₂ в воздухе рабочей зоны – 9000 мг/м³ [25];

x_n , мг/м³ – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест по СанПиН 1.2.3685-21, для больших городов (свыше 300 тыс. жителей) – 1000 мг/м³ [26].

Количество CO₂, выделяемое всеми работниками:

$$G = N_{\text{людей}} g_{\text{CO}_2} \quad (6.2)$$

Из формулы следует, что 4 работника выделяют $G = 272$ г/ч.

Для производственного помещения, в котором производится проектирование, $L = 34$.

Кратность воздухообмена определяется по формуле:

$$n = L/V, \text{ ч}^{-1} \quad (6.3)$$

где V – внутренний объем помещения, м³.

Объем помещения равен 120 м³.

Согласно СП 2.2.3670-20, кратность воздухообмена $n > 10$ недопустима [27]. Для помещения, в котором производится проектирование,

$n = 0,32$. Следовательно, превышения предельно допустимой концентрации вредных веществ не имеется.

6.2.3 Повышенная температура поверхности изделия, оборудования, инструмента и расплавов припоев

Источником воздействия этого фактора является работа с паяльной станцией в процессе сборки устройства. Воздействие данного фактора на человека может быть выражено возникновением ожогов до 4 степени тяжести. В соответствии с ТИ Р М075-2003 «Межотраслевая типовая инструкция по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником» в рабочей зоне к выполнению работ по пайке паяльником допускаются работники в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие обучение, инструктаж и проверку знаний по охране труда, освоившие безопасные методы и приемы выполнения работ [22].

Все работники, выполняющие пайку паяльником, имеют II группу по электробезопасности. Также работники, занятые пайкой паяльником, обеспечиваются средствами индивидуальной защиты.

6.2.4 Анализ освещенности рабочей зоны

В производственном помещении имеется естественное боковое одностороннее освещение, а также искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы мониторы ПК были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа составляет 300-500 лк. При работе с ПК и измерительной аппаратурой освещение не создает бликов на поверхности экрана.

Освещенность поверхности экрана не более 300 лк. Параметры освещения в помещении рабочей зоны организованы согласно «СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение» [20].

6.2.5 Анализ микроклимата

Аномальные показатели микроклимата в производственных помещениях могут возникать перепадов температур в теплый или холодный период года, из-за недостаточной вентиляции воздуха, недостаточного отопления или увлажнения воздуха производственных помещений. Отклонения показаний микроклимата в производственных помещениях обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» производственное помещение относится категории I а. В нем производятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (профессии на предприятиях точного приборо- и машиностроения) [21]

В Таблице 6.2 представлены оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений категории I а согласно СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Таблица 6.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Катег. работ по уровню энер-гозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Ia	23-25	22-26	40-60	0,1

Микроклиматические условия рабочей зоны соответствуют допустимым нормам. Для минимизации влияния аномальных показателей микроклимата проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работ в теплый период, присутствует водяное отопление в холодный период. Также в помещении имеется термогигрометр для отслеживания температуры и влажности и поддержания оптимальных условий работы.

6.3 Экологическая безопасность

В процессе разработки, изготовления и эксплуатации проектного решения могут появляться различные твердые отходы, например, вышедшие из строя микросхемы, платы, иные электронные компоненты, измерительная аппаратура или компьютерная техника. Данные отходы могут содержать бериллий, кадмий, мышьяк, поливинилхлорид, ртуть, свинец, фталаты, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы, следовательно, утилизируются в особом порядке.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 55102-2012 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутьсодержащих устройств и приборов». Устройство, вышедшее из эксплуатации согласно ГОСТ Р 55102-2012 проходит следующие стадии:

сбор, хранение, транспортирование и разборка ОЭЭО (отработавшее электротехническое и электронное оборудование).

Приоритетом разборки является обеспечение возможности повторного использования ОЭЭО для первоначальных и иных целей после дополнительной обработки. При отсутствии возможности повторного использования ОЭЭО подлежит другим способам утилизации, при этом сжигание рассматривается как наименее предпочтительный вариант утилизации, так как все полученные в ходе переработки материалы вторично используются в различных производственных процессах [28].

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В ходе всех этапов работы над проектным решением на рабочем месте может возникнуть ЧС, то есть обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Различают чрезвычайные ситуации по характеру источника (природные, техногенные, биолого-социальные и военные) и по масштабам (локальные, местные, территориальные, региональные, федеральные и трансграничные).

К возможным природным ЧС относятся землетрясения и ураганы, к военным – диверсия.

Для данного рабочего места наиболее характерны локальные техногенные виды ЧС. Все остальные виды ЧС маловероятны при разработке, изготовлении и эксплуатации устройства. Из техногенных ЧС наиболее вероятным является пожар.

Согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»

помещение, предназначенное для разработки, изготовления и эксплуатации результатов проекта, относится к типу В. Данным обозначением характеризуются помещения, в которых обращаются горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть [29].

Согласно НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в помещении рабочей зоны установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре осуществляется подачей звуковых и световых сигналов [30].

Рабочее помещение оснащено первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е). Огнетушители проходят проверку согласно графику.

Также в рабочей зоне соблюдаются требования согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования», а именно:

- предохранение сети от перегрузок (запрещается одновременно подключать к сети количество потребителей, превышающих допустимую нагрузку);
- проведение работ только при исправном состоянии оборудования, электропроводки;
- наличие средства для тушения пожара (огнетушитель);
- эвакуационные пути и выходы присутствуют в нужном количестве, размерах и соответствующем конструктивном исполнении;
- обеспечена возможность беспрепятственного движения людей по эвакуационным путям [31].

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В ходе работы над разделом «Социальная ответственность» были изучены различные аспекты обеспечения безопасности при разработке проектного решения.

В ходе анализа производственной безопасности были выделены вредные и опасные производственные факторы, которые могут влиять на работников в пределах рабочей зоны. Было установлено, что в рабочей зоне имеется комплекс мер для обеспечения электробезопасности и предотвращения воздействия производственных факторов, связанных с электрическим током, а также для защиты от производственных факторов, связанных с чрезмерно высокой температурой.

Вредные факторы, связанные с загрязнением воздуха, аномальными микроклиматическими параметрами или недостатком искусственного освещения не оказывают существенного влияния на рабочий процесс, так как все показатели рабочей зоны находятся в пределах нормы.

При выполнении анализа воздушной среды рабочей зоны был проведен расчет, из результатов которого следует, что превышения предельно допустимой концентрации вредных веществ не имеется.

Из возможных мер для улучшения параметров рабочей зоны предлагается установка кондиционера для поддержания параметров микроклимата в теплый период.

В результате работы над разделом «Социальная ответственность» было установлено, что рабочая зона является безопасной для выполнения всех этапов работы над проектным решением.

Заключение

В ходе написания магистерской диссертации был разработан драйвер управления бесколлекторными двигателями для установки шлифовки-полировки кристаллов. На начальном этапе были проанализированы недостатки имеющихся в наличии установок для шлифовки-полировки, а также исследован рынок установок для выполнения данного производственного процесса.

На основе полученных данных были определены необходимые требования к разрабатываемому устройству. Исходя из этих требований была разработана структурная схема драйвера. В соответствии с ней был произведен подбор компонентов для реализации каждого блока структурной схемы и спроектирована принципиальная схема устройства. Для дальнейшего использования драйвера в производственном процессе была разработана печатная плата и корпус устройства.

Работоспособность устройства была подтверждена в ходе исследования и отладки макетного образца. В ходе отладки был установлен режим работы устройства для наиболее точного поддержания количества оборотов двигателя, что позволит предать процессу шлифовки большую повторяемость, тем самым уменьшить количество брака.

В результате исследования была получена конструкторская документация: схема электрическая принципиальная, перечень элементов, чертеж печатной платы, сборочный чертеж корпуса. Данная документация может быть использована при изготовлении драйвера.

В дальнейшем планируется изготовление прототипа устройства согласно разработанной конструкторской документации и внедрение устройства в производственный процесс.

Список использованных источников

1. Вилицов А.А. Светоизлучающие диоды / А.А. Вилицов // Вестник Томского государственного университета. – 2005. – №. 285. – С. 148 – 154.
2. Станок для двусторонней обработки Peter Wolters AC microLine® 1000 F (Германия) [Электронный ресурс] / Stanberg, 2020. URL: <https://stanberg.ru/product/peter-wolters-ac-microline-1000-f/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения 27.01.2022 г.
3. Установка односторонней шлифовки и полировки AMSL/P-400F [Электронный ресурс] / СМТ Технологии. URL: <https://www.smttech.ru/catalog/resheniya-dlya-mikroelektroniki/oborudovaniya-dlya-shlifovki-polirovki-i-planarizatsii-poluprovodnikovyx-plastin-i-podlozhek/ustanovka-odnostoronney-shlifovki-i-polirovki-amsl-p-400f/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения 24.01.2022 г.
4. PM6 Precision Lapping & Polishing System [Электронный ресурс] / Logitech. <https://logitech.uk.com/product/pm6-precision-lapping-polishing-system/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. Дата обращения 30.01.2022 г.
5. CC56-12GWA [Электронный ресурс] / Chipdip. <https://static.chipdip.ru/lib/195/DOC000195164.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. Дата обращения 20.02.2022 г.
6. CA56-12SRWA [Электронный ресурс] / Kingbrightusa. <https://www.kingbrightusa.com/images/catalog/SPEC/CA56-12SRWA.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. Дата обращения 20.02.2022 г.
7. TM1637 Datasheet [Электронный ресурс] / Datasheetcafe. <http://www.datasheetcafe.com/tm1637-datasheet-pdf/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. Дата обращения 20.02.2022 г.
8. DRV8825 Stepper Motor Controller IC [Электронный ресурс] / Texas Instruments. https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf?ts=1654728309936&ref_url=https

- www.google.co.uk, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. Дата обращения 20.02.2022 г.
9. A4988 DMOS Microstepping Driver [Электронный ресурс] / Datasheetspdf. <https://datasheetspdf.com/pdf/788474/Allegro/A4988/1>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. Дата обращения 20.02.2022 г.
10. ATmega328P [Электронный ресурс] / Microchip. https://www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. Дата обращения 20.02.2022 г.
11. LM2678 5-A Step-Down Voltage Regulator [Электронный ресурс] / Texas Instruments. https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2678.pdf?ts=1654766787921&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. Дата обращения 20.02.2022 г.
12. SM-17HS4023 [Электронный ресурс] / Datasheetspdf. <https://datasheetspdf.com/pdf/1328258/ETC/SM-17HS4023/1>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. Дата обращения 20.02.2022 г.
13. Рентюк В. Шаговые двигатели и особенности их применения / В. Рентюк // Компоненты и технологии. – 2013. – №. 10. – С. 71-78.
14. Тахометр ТЧ-10Р http://pp66.ru/katalog/pribory/tahometry/tch-10r_-tahometr/
15. TM1637 <https://datasheetspdf.com/pdf/788613/TitanMicro/TM1637/1>
16. Review of I2C protocol / V. Kumar Pandey, S. Kumar, V.Kumar, P. Goel // International Journal of Research in Advent Technology. – 2014. – Т. 2. – №. 1. – Р. 340-343.
17. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022). – ЦЕНТРМАГ, 2022. – 412 с.
18. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 9 с.

19. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандратинформ, 2019. – 22 с.
20. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. – М.: Стандратинформ, 2018. – 121 с.
21. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001. – 20 с.
22. Межотраслевые типовые инструкции по охране труда для работников, занятых проведением работ по пайке и лужению изделий. ТИ Р М-(075-082)-2003. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 48 с.
23. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандратинформ, 2005. – 49 с.
24. Правила устройства электроустановок. – М.: ЗАО «Энергосервис», 1998. – 692 с.
25. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандратинформ, 2005. – 49 с.
26. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001. – 978 с.
27. СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда" – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2021. – 49 с.
28. ГОСТ Р 55102-2012 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутьсодержащих устройств и приборов». – М.: Стандратинформ, 2014. – 16 с.

29. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности». – М, 2009. – 31 с.
30. НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях». – М, 2003. – 16 с.
31. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» . – М.: Стандратинформ, 2006. – 68 с.
- 32.ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

Приложение А

(справочное)

Initial data analysis

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ02	Быков Александр Витальевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Иванова Вероника Сергеевна	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сумцова Ольга Витальевна	к.ф.н.		

1 Initial data analysis

Performance characteristics of GaAs crystal Polishing Machine tool

The driver was developed for the modernization of machine tools in «Production department № 2».

Initially the development process of a driver can be divided into few steps. The first step is to explore the structure of the existing machine tools, which are available at the «Production department № 2». The next step is to analyze and describe the technical characteristics of these machine tools and, as a result of this analysis, find the possible shortcomings of these machine tools.

The appearance of the machine tool working area is shown in Figure A.1. The main part of the working area is a round saddle. Nine spindles are built into this part. A cap for grinding one crystal is tightly put on the shaft of each spindle.

A saddle rotates with frequency of 0.5 to 1 rpm, the spindles rotate with frequency of 100 to 600 rpm. A rotation speed of the saddle and spindles can be adjusted by the operator. The operator can change the rotation speed by using the rotary controls in the front part of the machine tool. Additionally, the operator is able to control the machine tool by using two toggle switches. One toggle switch starts the rotation of the saddle; another one starts the rotation of the spindles.

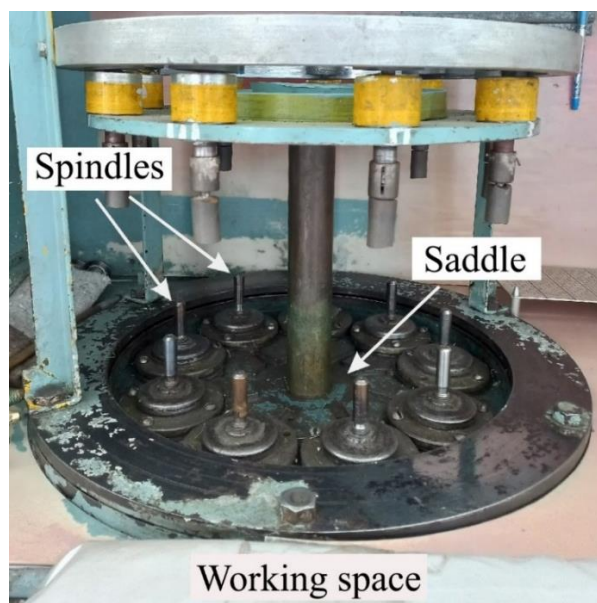


Figure A.1 – Working area of the machine

The block diagram of the machine tool for grinding and polishing is shown in Figure 2.

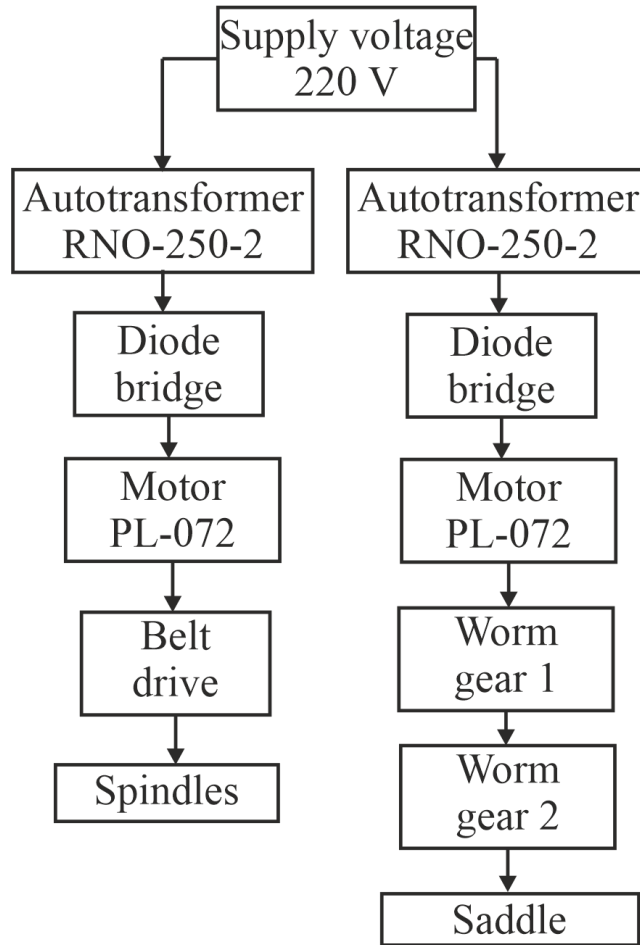


Figure A.2 – The block diagram of the machine tool

The machine tool is powered from 220 V mains power. Then supply voltage is reduced by two autotransformers RN-250-2. These autotransformers are required for the smooth regulation of the voltage in the excitation winding of DC motors. Diode bridges convert alternating current into pulsating direct current. They are installed on top of the output of the autotransformers. The operator can set the necessary number of revolutions for the saddle and for the spindles by turning the rotary controls of the autotransformers.

The saddle and the spindles are driven by two DC motors PL-072. Spindles are rotated by a belt drive. The rotation of the saddle is executed by the worm reduction gearbox. The usage of the worm gears is due to the location of the motors relative to the saddle.

The machine tools are designed for operation at a temperature of +10 to +35 °C, the relative air humidity of at most 80% at a temperature of +20 °C and atmospheric pressure of 750 ± 30 mm Hg. The declared performance of the machine tool is 120 pcs/h.

1.2 Shortcomings of the Crystal Polishing Machine tool

A few shortcomings of the machine tool were found while exploring the structure of the presented machine tools and describing their technical characteristics.

It is difficult to regulate the speed of the spindles and the saddle by using autotransformers. Autotransformers do not have any display. Therefore, the operator is not able to reliably indicate the output voltage. Speed adjustment is done manually by the operator. The manual rotation of the regulators leads to the increased occurrence of errors. Setting a more accurate frequency value is possible only after additional operations of the frequency measuring.

Furthermore, there is a problem with the motor brushes, which tend to wear out quickly. For this reason, the engine is unable to reach the full speed and power and also, the engine starts hard. The errors in engine performance cause instability in the process of the crystal grinding and produce manufacturing defects.

The belt drive, which is used for the spindles rotation has also several shortcomings. The wear of the belt causes the slippage by low tension. Another problem is the breakage of the belt caused because of too the high tension. These problems can lead to the failure of the entire machine.

The spindles are often wedged during rotation due to their initial design.

Worm gearboxes, which are used to reduce the speed and increase the torque, have low maintainability due to their large dimensions and weight.

In addition, it was determined that the old electrical circuits and lubricants are worn out in each of the machine tools.

Based on the identified drawbacks, the requirements for the improvement of the machine tool can be analyzed.

1.3 Requirements for the updated machine tool

The particularly vulnerable parts of the machine tool most frequently provoke situations of unstable work or even failure of the machine tool. Based on the identified problems, it is necessary to remove or replace the worm gears, the belt drive and the DC motors.

The manufacturing process must be made more precise and repeatable. The machine requires the function setting of precise time and rotation speed for crystal grinding. A display is needed to show the setting and process information.

The rotation of the spindles must be carried out by using separate small motors. Each of the nine motors must be started independently from the other after receiving a control signal.

The control signal can come from a sensor, which indicates that there is a workpiece in the working area, or it could be a signal coming from the manually operated button. Each motor should smoothly begin to rotate the grinding surface mounted on the shaft after the start signal. The motor must be working for a specific period of time, which was previously set by the user of the machine tool.

A control unit must be present for the setting of the engine speed. The rotation frequency of the machine motor shaft while working is in the range from 300 to 600 rpm. Also, the driver must have the function of changing the shaft rotation time. The rotation time ranges from 0 to 180 s. The ability to change these parameters is necessary for the operator because the parts which are to be processed on this machine tool may differ in their characteristics.

The machine tool must have an indicator that will display the currently set rotation time and the number of revolutions.

The machine will use hybrid bipolar stepper motors with a current of 1 A and an operating voltage of 35 V.

Each motor of the machine should be controlled by a separate driver to provide greater connection variability (connection of more than 9 motors), and to ensure greater installation reliability. In case of the failure of one of the drivers the

other eight drivers would be fully operational. The technical characteristics of the machine are shown in Table A.1.

Table A.1 – Machine specifications

Characteristics	Description
Number of motors	9
Motor type	Bipolar steppers
Current	1 A
Voltage	35 V
Rotation frequency	300 - 600 rpm
Rotation time	0 - 180 s

Following the analysis of the requirements for the improved machine tool it is necessary to review the grinding and polishing machines existing on the market and to point out their advantages and disadvantages. It is necessary to find out whether there is machine which would satisfy the aforementioned requirements.

1.4 The overview of the machine tools existing on the market

A few machine tools for grinding and polishing the semiconductor materials were found during the market analysis.

32.4.1 The grinding machine AC microLine

Double sided grinding machines of product line AC microLine are produced by the German company “Peter Wolters. These machines are designed for the high precision grinding, lapping, finishing and polishing.



Figure A.3 – The machine tool AC microLine

The grinding machine tools of type AC microLine can be used for the processing of plates of different shapes, such as round shaped (for example semiconductor plate, glass plate, etc.), rectangular or irregular shaped. One can process the whole surface or only a part or a segment of it.

The machine tools of line AC microLine are leveraged for the processing of fine and delicate workpieces, such as glass, semiconductor plates: silicon plates, GaAs plates, GaN plates, sapphire plates, ceramic plates, etc.

This machine tool has the protection barrier around the working area.

1.4.2 Single sided grinding and polishing machine tool AMSL/P-400F

This section is dedicated to the description of the single sided grinding and polishing machine tool AMSL/P-400F designed by the Korean company “Amssec”.



Figure A.4 – Single sided grinding and polishing machine tool AMSL/P-400F

The machine tool is designed for the processing of the plates produced of following materials: Si, SiC, GaAs, GaN, InP, tungsten carbide, solid metals, bronze, aluminium, quartz, crystal glass, sapphire, optical glass, ceramic substrates, zirconium, plastics and composites, piezo-materials, ferrites.

One of the advantages of this machine tool is the compact size. Moreover, the working area is protected with a special protection box. The AMSL/P-400F machine has a digital timer and a speed meter (rotations per minute) built in. The machine starts and stops smoothly.

1.4.3 The machine tool for grinding and polishing PM6

The last reviewed machine tool PM6 was designed by the British company “Logitech Ltd”.



Figure A.5 – The machine tool for grinding and polishing PM6

The PM6 machine is the bench-top grinding and polishing machine tool designed among other things for research purposes. This machine is able to process the plates of the size to four inches with the low throughputs.

The PM6 machine can be used for the processing of the semiconductor plates, optical glass, ceramic plates and some other materials.

1.4.4 The comparison of the technical characteristics of the machine tools found on the market

For the purposes of this thesis, it is important to determine whether one of the existing machine tools is appropriate for the specific operation, which is performed while our production process. The technical characteristics of the described machine tools are represented in Table 2.

Table A.2 – The comparison of machine features

Product name	AC microLine	AMSL/P-400F	PM6
Producing country	Germany	Korea	England
Rotation speed	5-320 rpm	5-150 rpm	5-100 rpm
Processed material	Si, GaAs, GaN	Si, SiC, GaAs, GaN, InP	Si, SiC, GaAs, GaN
Working area size (diameter)	534 mm	150 mm	300 mm
Workpiece shape	Plate	Plate	Plate
Smooth start and stop	+	+	+
Adjustment of the number of revolutions and processing time	+	+	+

Taking the data from the Table 2 into account, one can conclude that the machine tools, existing on the market, are not suitable for the operations proceeding during light-emitting diode production. Despite the fact that, each of the analysed machine tools can be leveraged for the processing of the gallium arsenide plates, those machines have a number of drawbacks.

Each of the described machine tools is able to process exclusively the plates. This is an obvious shortcoming since while the light-emitting diode production the workpieces of the semi-sphere shape are processed. Moreover, all machines are produced and available mostly abroad, thus they are not easy to purchase and maintenance.

Thereby, the most reasonable solution is to utilize the advantages of the analysed foreign machines for the improvement of our own machine tool. For this purpose, it is necessary to build in the system for the adjustment of the rotation number and time. Additionally, the improved machine tool should start and stop smoothly.