

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка системы управления и контроля положения (автокалибровка) экструдера 5-ти координатного 3d- принтера

УДК 678.057.3:004.356.2:004.925.84

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM01	Жэнь Хао		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Симанкин Ф.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М. В	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Сечин А. И.	д.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кулагин А. Е.	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
11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА
СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ Электроника интернета вещей**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая 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 нанoeлектроники, 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 аппаратные и программные средства для решений на основе интернета-вещей

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

Школа **Инженерная 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:	16.06.2022 г
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.03.2022	Обзор литературы.	20
11.04.2022	Разработка структурной и принципиальной схем системы управления и контроля положения (автокалибровка) экструдера 5-ти координатного 3d- принтера.	20
22.04.2022	Разработать конструкцию головки экструдера с автокалибровкой.	20
01.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	10
10.05.2022	Социальная ответственность.	10
20.05.2022	Написание раздела на иностранном языке.	10
30.05.2022	Выводы по результатам работы.	5
10.06.2022	Оформление ВКР и представление работы рецензенту.	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Симанкин Ф.А.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

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

Школа **Инженерная 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
1AM01	Жэнь Хао

Тема работы:

Разработка системы управления и контроля положения (автокалибровка) экструдера 5-ти координатного 3d- принтера	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 33-27/с от 02.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2022 г
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является система управления и контроля положения (автокалибровка) экструдера 5-ти координатного 3d- принтера
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> – Аналитический обзор по теме исследования. – Построение схемы компоновки пяти-координатного принтера. – Построение принципиальной схемы пяти-координатного принтера. – Разработка модели экструдера для пяти-координатного принтера.
Перечень графического материала	Принципиальная схема

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Верховская М. В.
Социальная ответственность	Сечин А. И.
Иностранный язык	Кобзева Н. А

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

1.1 Обзор литературы / Literature review

1.2 Модернизация существующих решений калибровка стола 3d-принтера / Modernization of existing 3d printer bed calibration solutions

1.3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение/ Financial management, resource efficiency and resource saving

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17.02.2022
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Симанкин Ф.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM01	Жэнь Хао		

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

Студенту:

Группа		ФИО	
1AM01		Жэнь Хао	
Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	11.04.04 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 выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ».
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- районный коэффициент- 1,3; - накладные расходы – 20%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общая система налогообложения. Страховые взносы во внебюджетные фонды – 30,2%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений.
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет	Определение целей и результатов проекта, организационной структуры проекта
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Формирование плана и графика проекта. Формирование бюджета затрат проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.03.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М. В.	К. Э. Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM01	Жэнь Хао		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1AM01	Жэнь Хао

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОЭИ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Тема ВКР:

Разработать систему управления 5-ти координатным 3D-принтером

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> - Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. - Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p>Объект исследования: 5-ти координатный 3D-принтер</p> <p>Область применения прибора: мелкие предприятия.</p> <p>Рабочая зона: лаборатория</p> <p>Размеры помещения: 8*10 м.</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: компьютеры, источник питания.</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при <u>разработке проектного решения</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>СП 52.13330.2011-Недостаточная освещенность рабочей зоны СанПиН 2.2.4-548-96-Монотонность труда СН 2.2.4/2.1.8.562-96 -Повышенный уровень шума ГОСТ 12.1.003 – 2014-Отклонение показателей микроклимата</p>
<p>2. Производственная безопасность при <u>разработке проектного решения</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - электрический ток; - пожарная опасность (наличие плана эвакуации); <p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - недостаточная освещенность (расчет освещенности рабочего места); - монотонность труда; - повышенный уровень шума; - отклонение показателей микроклимата
<p>3. Экологическая безопасность при <u>разработке проектного решения</u></p>	<p>Воздействие на селитебную зону: шум Воздействие на литосферу: Наличие</p>

	<p>промышленных отходов (бумага-черновики, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника, обрезки монтажных проводов, бракованная строительная продукция)</p> <p>Воздействие на атмосферу: тепловые эффекты работы машины</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения</u></p>	<p>Возможные ЧС: Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.); Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.); Техногенные аварии (пожар в оргтехнике)</p> <p>Наиболее типичная ЧС: Пожар</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин Александр Иванович	Д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ01	Жэнь Хао		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 150 страниц основного машинописного текста, 33 рисунка, 34 таблицы, 4 приложения.

Ключевые слова: 5 координат, 3D-принтер, автокалибровка, ARDUINO MEGA 2560, Ramps1.6, прошивка Marlin, Z - зонд.

Целью исследования, выполненного в данной работе, является разработка схемы системы управления работой датчика автокалибровки и конструкции головки экструдера с автокалибровкой.

Цель данной работы: на основе оригинального дельта-3d принтера добавлены две дополнительные оси для реализации движения платформы, несущей печатающую головку (экструдер) – наклон экструдера в положение, при котором ось сопла оказывается перпендикулярна «классической» оси Z (т.е. оси, по которой осуществляется добавление слоев к предыдущим – ось m) и поворот платформы вокруг оси Z (ось n). Такая функциональная возможность позволяет убрать из процесса 3D-печати нависающие геометрические элементы, так называемые поддержки, что, в свою очередь, снижает расход материала и упрощает «постобработку».

Области применения: Разработанное оборудование может быть использовано в научных лабораториях, школах и т. д.

Рентабельность / ценность работы: Работа конкурентоспособна и рентабельна.

Оглавление

1. Обзор литературы.....	17
1.1 Виды кинематики 3D-принтеров	17
1.2 Структура, управляющая пространственным положением сопла	23
1.3 Выбор механизма передачи.....	25
2. Разработка структурной и принципиальной схем системы управления и контроля положения (автокалибровка) экструдера 5-ти координатного 3d-принтера	28
2.1 Схема компоновки 5-ти координатным 3D-принтером.....	28
2.2 Калибровка стола 3D-принтера	29
2.2.1 Влияние зазора между соплом и столом 3D-принтера на качество печати	29
2.2.2 Калибровка вручную стола 3d принтера.....	31
2.2.3 Автокалибровки стола 3d-принтера	33
2.3 Модернизация существующих решений калибровка стола 3D-принтера..	34
2.4 Выбор элементов автокалибровка стола 3d принтера 5-ти координатного 3d-принтера	35
2.4.1 Arduino Mega 2560.....	35
2.4.2 RAMPS 1.6	37
2.4.3 Выбор драйверов шаговых двигателей.....	38
2.4.4 Выбор концевых выключателей для Z-зонда и оси X, Y и Z.....	43

2.4.5	Выбор двигателей для автокалибровки стола 3d принтера 5-ти координатного 3d-принтера.....	46
2.5	Принципиальная схема системы автокалибровки стола 3D принтера	53
2.6	Программирование системы автокалибровки стола 3D-принтера в прошивке Marlin	54
2.6.1	Настройка Z-зонда в прошивке Marlin.....	57
2.6.2	Настройка параметров автокалибровки стола в прошивке Marlin.....	57
3.	Разработать конструкцию головки экструдера с автокалибровкой в Solidworks.....	58
4.	Финансовый менеджмент.....	63
4.1	Предпроектный анализ	63
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	63
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	64
4.1.3	SWOT - анализ.....	67
4.1.4	Цели и результаты проекта.....	68
4.2	Инициация проекта	70
4.2.1	Цели и результаты проекта.....	70
4.2.2	Организационная структура проекта	71
4.3	Планирование управления научно-техническим проектом	72
4.3.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	72

4.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	74
4.3.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	75
4.3.4	Бюджет научного исследования.....	79
4.4	Оценка сравнительной эффективности исследования	86
4.5	Заключение	89
5.	Социальная ответственность	90
5.1	Производственная безопасность.....	90
5.1.1	Анализ вредных производственных факторов и мероприятия по их устранению	91
5.1.2	Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по их устранению	98
5.2	Экологическая безопасность.....	106
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	109
5.3.1	Чрезвычайная ситуация природного характера	109
5.3.2	Чрезвычайная ситуация техногенного характера	110
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	110
	Заключение.....	112
	Список использованных источников.....	114
	Приложение А Literature review.....	116
	Приложение Б Принципиальная схема	136

Приложение В Спецификация	137
Приложение Г Код программы	138

Введение

3D-печать быстро стала одним из наиболее эффективных и распространенных инструментов для проектирования и создания сложных компонентов. Эта технология позволяет выполнять несколько итераций дизайна за день, тогда как в прошлом для завершения этих проектов могли потребоваться недели или месяцы. Технология 3D-печати — это революционная технология производства, которая позволяет создавать очень сложные объекты слой за слоем, минуя традиционные этапы проектирования и производства для получения необходимой модели.

Кинематическая схема традиционных 3d-принтеров в основном трехкоординатная. В этом случае, при печати «нависающих» конструктивных элементов требуется использовать так называемый материал поддержки или поддерживающую структуру для печати. После удаления поддерживающих структур на напечатанном изделии остаются следы и изделие нуждается в последующей механической или химической обработке, т.к. без нее качество полученного изделия будет неприемлемым. Однако, использование в кинематике принтера дополнительных координат позволяет регулировать угол наклона печатаемой детали или печатающей головки, добавить вращение детали, так чтобы нависающий конструктивный элемент можно было бы допечатать позже, после формирования основного тела детали. В этом случае отпадает необходимость использовать поддерживающие структуры для обеспечения формирования печатных деталей, получается экономия времени и расходных

материалов. Притом, данная технология позволяет создавать более сложные детали, недоступные для классической технологии 3D-печати.

Кроме того, для обычных 3D-принтеров 80% проблем с печатью возникают из-за неровностей рабочего стола. От того, насколько ровно и прочно будет закреплён первый слой печати на рабочем столе, зависит успех всей печати. Поэтому калибровка 3D-принтера является первоочередной операцией.

В данной работе проанализированы существующие решения, подобраны датчики положения, реализованные на множестве разных принципов, проведена оптимизация разрабатываемого оборудования по массогабаритным характеристикам.

1. Обзор литературы

1.1 Виды кинематики 3D-принтеров

3D-принтер состоит из [1]:

- Корпус, который выступает в качестве каркаса для монтажа конструктивных элементов.

- Направляющие, по которым печатающая головка относительно свободно перемещается в заданном пространстве.

- Печатающая головка (экструдер) — это группа компонентов для подачи, нагрева и выгрузки (экструзии) расходного материала через сопло на рабочую поверхность.

- Шаговые двигатели – электромеханические изделия, отвечающие за равномерное перемещение печатающей головки в заданном пространстве.

- Рабочий стол – подвижная или стационарно закрепленная нагреваемая платформа 3D-принтера, на которой создаются 3D-объекты.

- Электроника - группа элементов, отвечающих за управление и координацию движений принтера в процессе печати.

Каждый 3D-принтер обладает индивидуальную кинематическую схему, в соответствии с которой приводятся в перемещение механические части 3D-принтера: рабочий стол и экструдеры. В настоящее время распространены 3 вида 3D-принтера: картезианский, дельта и роботизированный манипулятор.

1. Картезианские 3D-принтеры (рисунок 1).

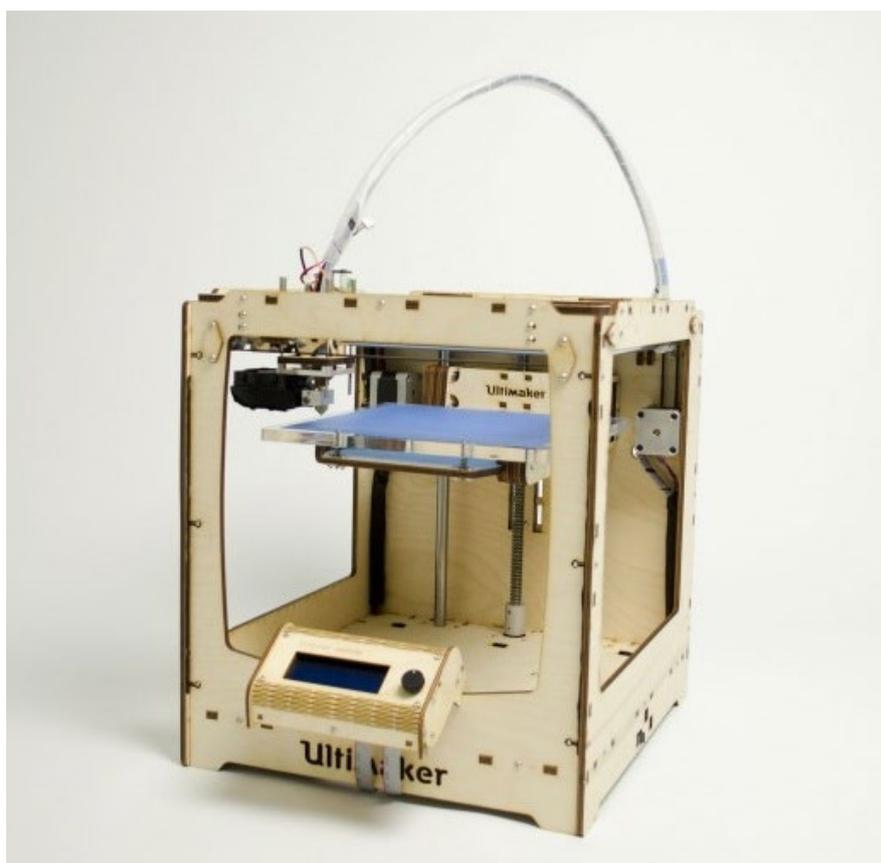


Рисунок 1 – 3D-принтеры построенные по «картезианской» схеме

Среди распространенных на рынке 3D-принтеров FFF/FDM наиболее популярны устройства с декартовой кинематикой или картезианские [2]. Эта технология основана на декартовой системе координат, которая работает на основе трех осей X, Y и Z и перемещает механические части оборудования по одной или нескольким из этих осей, т. е. координаты, заданные по осям, реализуют взаимосвязь между печатающими головками. Схема движения и расположение платформы представлены на рисунке 2.

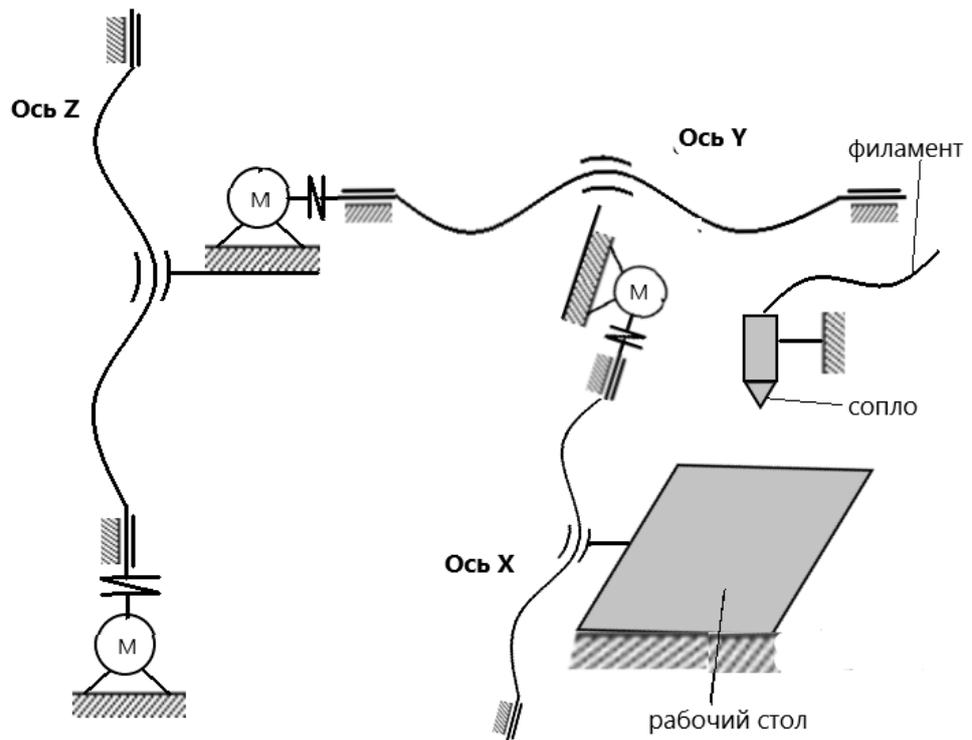


Рисунок 2 – Схема компоновки картезианских 3D-принтеров

2. Дельта-принтеры (принтеры с параллельной кинематикой, рисунок 3).

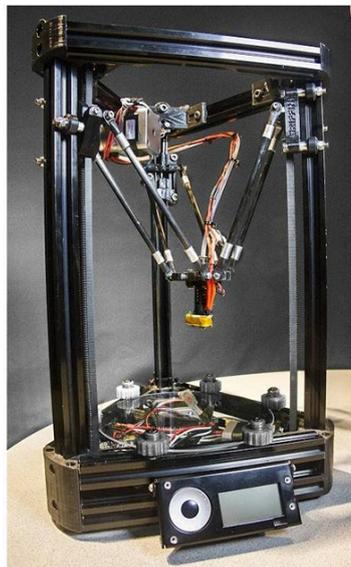


Рисунок 3 – Дельта-принтеры

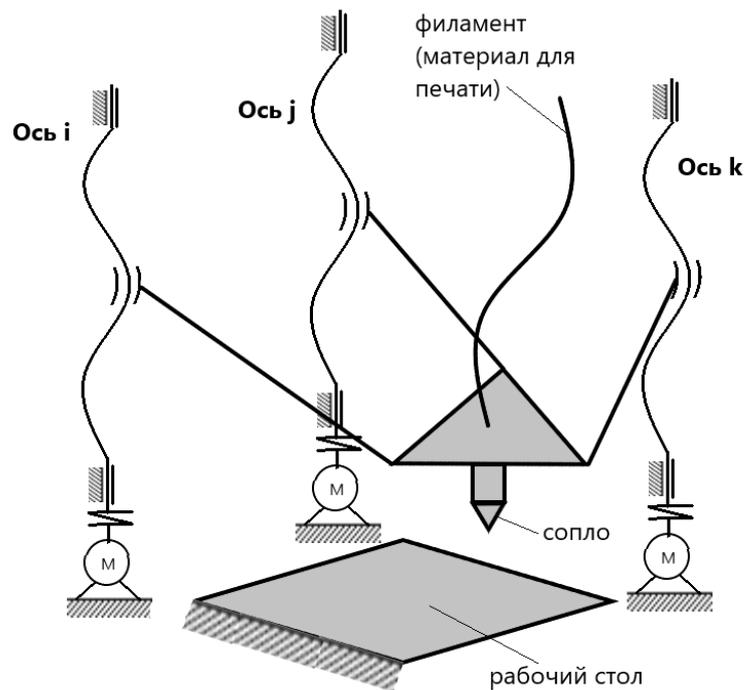


Рисунок 4 – Схема компоновки дельта-принтеров

Дельта-принтер отличается от декартовых принтеров как по внешнему виду, так и по способу реализации механики. Ключевое отличие заключается в том, как экструдер движется относительно стола [3, 4]. У них имеются 3 «руки», оси перемещения которых расположены перпендикулярно рабочей плоскости. Дельта-принтер преобразует декартовы координаты в положение 3-х подвижных кареток на рельсах, перпендикулярных оси Z (рисунок 4) с помощью тригонометрических функций.

3. 3D-принтеры с роботизированными манипуляторами.

Данный тип принтеров использует для перемещения печатающей головки программируемые роботизированные руки с возможностью смены исполнительного устройства. Если печатать крупную промышленную модель, то в случае замены исполнительного устройства, помимо функций 3D-принтера,

такой робот может также выполнять и другие технологические операции – сварку, фрезеровку, покраску и т. д.

В то же время такие устройства дороги, имеют жесткие ограничения и минимальную рабочую зону по оси XY.

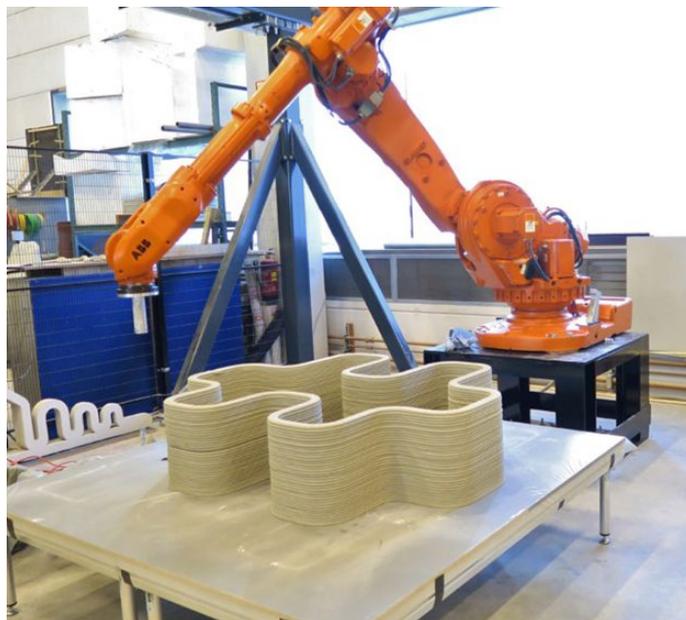


Рисунок 5 – 3D-принтеры с роботизированными манипуляторами

На рисунке 5 показан компактный настольный робот, сочетающий в себе функции 3D-принтера и манипулятора. Многофункциональность достигается путем программирования эффектов через компьютер или мобильное приложение, установленное на компьютере. Имеет сменные головки для печати, гравировки, пайки и сборки. Кинематика принтера с роботизированным манипулятором показана на рисунке 6.

Следующие четыре типичные структуры 3D-печати будут сравниваться и рассматриваться с разных точек зрения [8], как показано в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что конструкция типа Delta имеет очевидные преимущества по сравнению с тремя другими конструкциями по стабильности

работы, точности формообразования и скорости печати, поэтому в качестве схемы конструкции механического структура для данной конструкции была окончательно выбрана конструкция типа Delta.

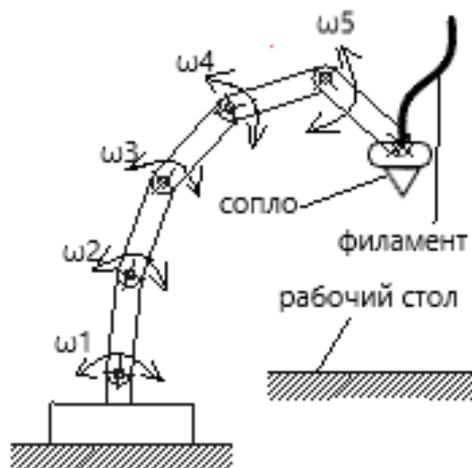


Рисунок 6 – Схема компоновки 3D-принтера с перемещением сопла посредством роботизированного манипулятора

Таблица 1 – Сравнение структуры 3D-печати

Вид кинематики	Сложность управления	Стабильность движения сопла	Точность формования	Размер формования	Скорость печати
Картезианские 3D-принтеры	простой	удовлетворительный	удовлетворительный	маленький	удовлетворительный
3D-принтеры с роботизированными манипуляторами	трудный	удовлетворительный	удовлетворительный	большой	удовлетворительный
Дельта-принтеры (3d-принтер с параллельной кинематикой)	простой	хороший	хороший	большой	хороший

Таким образом, для управления пространственным положением печатающей головки принтера была выбрана конструкция типа Delta, поскольку она обладает достаточной гибкостью и на ее основе можно реализовать кинематику с требуемым нам числом степеней свободы.

1.2 Структура, управляющая пространственным положением сопла

Механическая структура является одним из наиболее важных факторов, влияющих на точность формования и качество 3D-принтеров. Преимуществом 3D-принтеров дельта-типа является параллельная кинематическая структура. Чтобы обеспечить требуемую траекторию движения и точность положения сопла, механизм параллельного движения должен ограничивать свободу вращения сопла во всех направлениях, чтобы сопло могло работать в горизонтальной плоскости. Исходя из вышеизложенных требований, существуют две конструктивные схемы его кинематического механизма, одна представляет собой параллельный манипулятор промышленного назначения, другая представляет собой *rostock*-кинематику [9].

Вариант 1: параллельный манипулятор для промышленного применения состоит из двух платформ (показано на рис.7): неподвижное верхнее основание (1) и небольшая подвижная платформа (8), соединенные тремя рычагами. Каждый рычаг состоит из двух частей: верхнее плечо (4) жестко связано с двигателем (3), расположенным на верхнем основании, а нижнее плечо представляет собой параллелограмм (5), в углах его т. н. карданные шарниры (6,

7), позволяющие изменять угол. Каждый параллелограмм соединен с верхним плечом шарниром (16) так, что его верхняя сторона остается перпендикулярной его плечу и параллельной плоскости верхнего основания. Следовательно, мобильная платформа робота, прикрепленная к нижней стороне параллелограмма, также всегда будет параллельна верхнему основанию. Мы можем управлять положением платформы, изменяя угол поворота плеча относительно основания робота с помощью мотора.

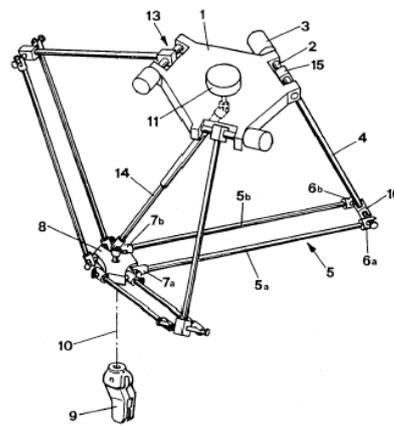


Рисунок 7 – Параллельный манипулятор для промышленного применения

В центре нижней площадки (8) соединен т. н. рабочий орган принтера (9) (в английском языке используется термин *end effector*). В случае с 3D-принтером это должен быть экструдер. Кроме того, может быть использован еще один двигатель (11), обеспечивающий вращение рабочего органа через шток (14).

Вариант 2: Механизм движения *rostock* показан на рисунке 8. Из рисунка видно, что механизм состоит из трех параллелограммных замкнутых контуров, а колонна и подвижная платформа соединены параллелограммным замкнутым контуром [14].

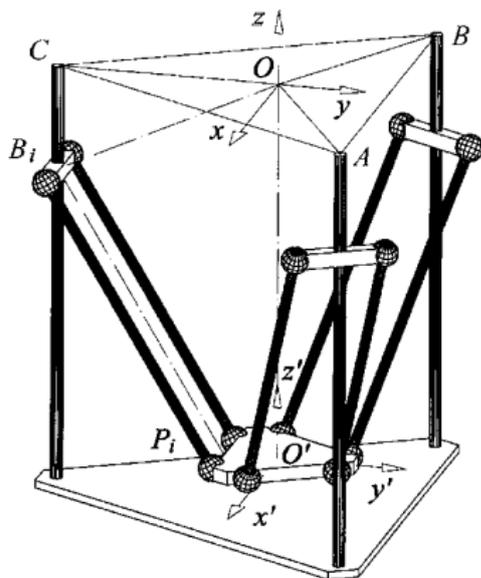


Рисунок 8 – Rostock кинематика

Таблица 2 – Сравнение вариантов

Вариант	Стабильность движения сопла	Структура	Точность печати
1	удовлетворительный	сложный	удовлетворительный
2	хороший	простой	хороший

Как видно из вышеприведенной таблицы 2, учитывая все аспекты двух схем, для данной конструкции выбран второй вариант.

1.3 Выбор механизма передачи

На рисунке 9 три координаты i , j , k управляют пространственным положением платформы, на которой расположено сопло. Мы будем использовать три шаговых двигателя для управления осью i , j , k . Следовательно, требуется передаточная конструкция для преобразования вращательного движения двигателя в поступательное движение координатной оси.



Рисунок 9 – Типы передач

Существует множество типов передач, чаще всего используемых в лазерном и фрезерном оборудовании, рассмотрим несколько из них:

- Передача «винт/гайка» - классический вариант для самодельных станков ручной работы. Принцип движения такой же, как у обычной гайки на резьбе;
- Передача винтовая с трапецевидной резьбой – рабочая, промышленная имитация передачи типа «винт/гайка». Движение основано на аналогичных принципах;
- Шарико-винтовая передача – более технически сложный тип исполнения, аналогичный приводу винт-гайка, где резьба выступает в роли канавки, по которой перемещаются шарики, обеспечивая прямолинейное движение гайки;
- Зубчато-ременная передача является основным элементом ременной передачи и используется для передачи крутящего момента за счет сил зацепления ремня и шкива.

Таблица 3 – Сравнение вариантов

Тип передач	Передача винт/гайка	Передача винтовая с трапецевидной резьбой	Шарико-винтовая передача	Зубчатая ременная передача
потери на трение	высокие	высокие	низкие	низкие
эффективность	низкая	низкая	высокая	высокая
точность	общая	высокая	высокая	низкая
срок службы	низкий	низкий	высокий	высокий
цена	низкая	высокая	высокая	средняя

После сравнения различных параметров (таблица 3) в качестве системы передачи была выбрана шарико-винтовая передача из-за более высокой точности и эффективности передачи.

2. Разработка структурной и принципиальной схем системы управления и контроля положения (автокалибровка) экструдера 5-ти координатного 3d- принтера

2.1 Схема компоновки 5-ти координатным 3D-принтером

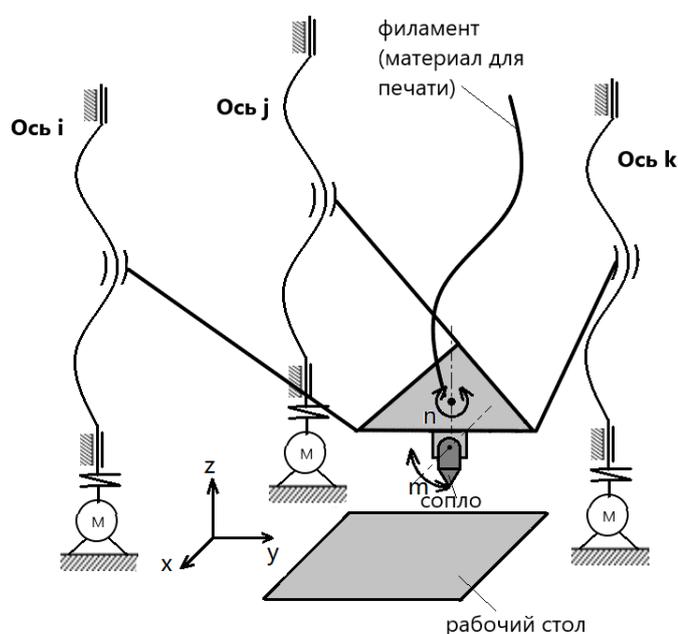


Рисунок 10 – Схема компоновки пяти координатного 3d-принтера с параллельной кинематикой

Схема компоновки 5-координатного 3D-принтера представлена на рисунке 10:

i, j, k — управляемые координаты для перемещения подвижной платформы с соплом относительно рабочего стола;

m — управляемая координата для наклона сопла относительно ось X ;

n — управляющая координата для вращения сопла вокруг оси Z .

2.2 Калибровка стола 3D-принтера

Для формирования качественных деталей из филамента (нити) на столе 3D-принтера важно обеспечить равномерное распределение массы по поверхности [14]. Требуется максимально возможный ровный уровень и оптимальный зазор между столом и соплом головки. Если поверхность стола неровная, зазор будет разным в разных рабочих зонах. Равномерность подачи нити может быть нарушена, что приведет к дефектам и искажениям отпечатка.

Процесс регулировки наклона поверхности платформы называется калибровкой. На домашних принтерах с небольшим столиком калибровка обычно выполняется вручную путем затягивания винтов, которыми столик крепится к несущей платформе. [15] Однако этот процесс можно автоматизировать, что сэкономит время и повысит точность.

2.2.1 Влияние зазора между соплом и столом 3D-принтера на качество печати

Основная причина плохой адгезии пластика к поверхности рабочего стола – неправильная калибровка [16]. Первый слой печатной нити должен быть в половину вдавливаясь в стол и создавать монолитное покрытие с едва заметными бороздками между линиями.

Ошибки калибровки стола зачастую являются причинами многих проблем при печати (рисунок 11):

- отлипание моделей при печати
- отлипание углов
- "слоновья" нога
- неравномерно укладываемые слои

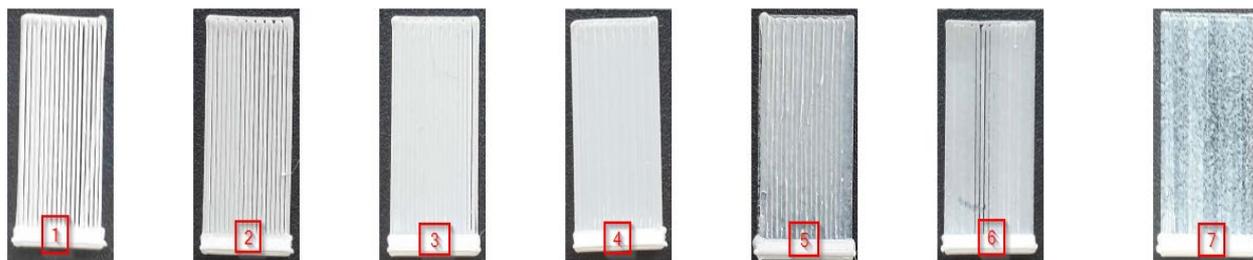


Рисунок 11 – Разное качество печати

Причины разницы в качестве получаемой 3D-печатью поверхности заключаются в следующем:

1. Стол слишком далеко, большие щели между линиями. Пластик может отлипнуть от стола.
2. Стол далеко, видны щели между линиями.
3. Все еще далеко, все еще видны щели между линиями.
4. Это удачная калибровка, нет или бугров между линиями.
5. Стол чересчур близко, видны бугры между линиями.
6. Стол слишком близко, слой тонкий, линии слишком широкие и наплывают друг на друга.
7. Еще чуть-чуть и сопло начнет царапать стол, слой очень тонкий и пластику некуда выходить из сопла.

Вышеуказанные признаки указывают на то, что рабочий стол нуждается в калибровке.

2.2.2 Калибровка вручную стола 3d принтера

Большинство 3D-принтеров FDM требуют ручной калибровки перед печатью. Одной из особенностей этого оборудования является то, что необходимо регулярно проверять уровень печатного стола. Со временем конструкция калиброванного 3D-принтера FDM теряет жесткость и может начать «люфтить». Это связано не только с регулировочными винтами стола, но и с зазором резьбовых соединений. Обычно это проявляется в виде вибрации во время печати.

Из-за отклонения стола от заданного уровня, расстояние между соплом экструдера и печатным столом меняется в разных точках. Это приводит к искажению печатной модели, искажению размеров и масштаба, засорению экструдера (когда сопло находится близко к столу и пластик не может выйти).

Во избежание проблем, пользователю необходимо регулярно калибровать рабочий стол. Чаще всего, эта работа выполняется вручную. Для этого стол должен быть снабжен регулировочными винтами.

Ручная калибровка выполняется в следующем порядке:

1. Проверяется плавность хода всех регулировочных винтов.
2. Сопло очищается от налипшей массы застывшего пластика.
3. Каждый регулировочный винт ослабляется на несколько оборотов, чтобы увеличить зазор между соплом и столом.

4. Калибровка начинается с одного из углов стола. Сюда вручную подводится сопло головки экструдера. Используется щуп или бумажная полоска, чтобы установить оптимальный зазор. Осторожным вращением добиваются образования требуемого зазора (чаще всего при этом используется обычный лист бумаги). Важно не создавать чрезмерного давления на датчик, поскольку это может привести к ошибке.
5. Аналогичные действия выполняются во всех углах. Также, установка уровня проводится в центральной точке. Зазор во всех точках должен быть одинаковым.



Рисунок 12 – Калибровка вручную с помощью регулировочных винтов

При переходе из одной точки в другую может произойти сбой настроек. Поэтому необходимо проверить ранее установленные зазоры. Если они изменились, то все проводится по второму кругу. Иногда требуется провести несколько кругов калибровки. Далее принтер запускается и проверяет правильность калибровки.

2.2.3 Автокалибровки стола 3d-принтера

Во многих 3D-принтерах автоматическая калибровка основана на использовании прошивки Marlin. Процедура настройки начинается с открытия кода прошивки в ПО Arduino (Arduino IDE) [18]. Существуют разные версии программы, но действия для них одинаковы. Основные настройки производятся во вкладке Configuration.h:

- В Bed Leveling выбирается тип калибровки по матрице точек (`#define MESH_BED_LEVELING`).
- В разделе Mesh устанавливаются параметры калибровки: отступ от границы зоны, количество точек по осям X и Y, шаг регулировки и диапазон движения по оси Z. Рекомендуется задействовать команды движения головки.

После настройки программы проводится сама процедура калибровки в таком порядке:

1. В меню принтера выбирается «Калибровать стол».
2. Задействуется режим «Автокалибровка».
3. Устанавливается высота спада и Z стола.
4. Нажимается кнопка «Начать», после чего начинается движение стола.
5. Устанавливается зазор порядка 0,5 мм. Можно при калибровке использовать щуп или лист бумаги.

2.3 Модернизация существующих решений калибровка стола 3D-принтера

Чтобы спроектировать принтер с более высоким уровнем автоматизации и большей точностью, было выбрано использование системы автокалибровки с Z-зондом (показано на рис.13).

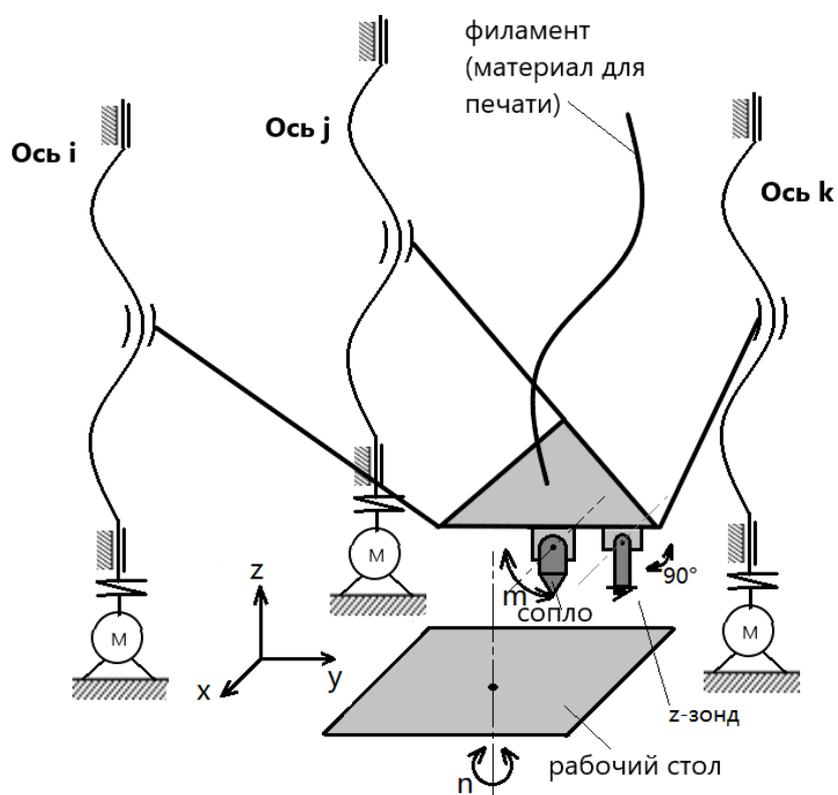


Рисунок 13 – Схема компоновки 3d принтера с автокалибровкой стола Z-зондом

Чтобы предотвратить столкновение Z-зонда с моделью в процессе печати, рабочий режим z-зонда был оптимизирован следующим образом:

- Во время автокалибровки серводвигатель управляет поворотом Z-зонда на 90 градусов по часовой стрелке, чтобы направление Z-зонда было перпендикулярно рабочему столу.
- Перед печатью модели или перед началом калибровки при «допечатывании» нависающих конструктивных элементов, серводвигатель управляет поворотом Z-зонда на 90 градусов против часовой стрелки, чтобы направление Z-зонда было параллельно рабочему столу.

2.4 Выбор элементов автокалибровка стола 3d принтера 5-ти координатного 3d-принтера

2.4.1 Arduino Mega 2560

Mega2560 — это основная печатная плата с интерфейсом USB, с 54 цифровыми входами и выходами, подходящая для проектов, требующих большого количества интерфейсов ввода-вывода. Питание может подаваться тремя способами, а режим питания может выбираться автоматически.

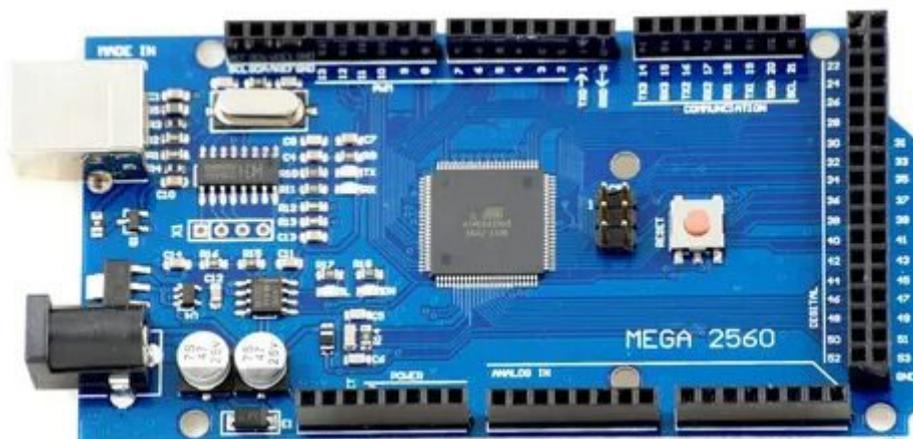


Рисунок 14 – Arduino Mega 2560

Таблица 4 – Характеристики Arduino Mega 2560

Входное напряжение	6-20В
Цифровые Входы/Выходы	54 (14 из которых могут работать также как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	16
Постоянный ток через вход/выход	40 mA
Постоянный ток для вывода 3.3 В	50 mA
Флеш-память	256 KB
ОЗУ	8 KB
Энергонезависимая память	4 KB
Тактовая частота	16 MHz

Ядром является процессор ATmega2560, который также имеет 54 цифровых порта ввода-вывода (15 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 15 аналоговых входов, 4 интерфейса UART, кварцевый генератор 16 МГц, порт USB, разъем питания, заголовок ICSP и кнопку сброса. Arduino Mega2560 также совместим с платами расширения, разработанными для Arduino

UNO. Выпущена третья версия Arduino Mega2560, которая имеет следующие новые функции по сравнению с двумя предыдущими версиями:

- Два контакта SDA и SCL добавлены в AREF для поддержки интерфейса I2C; добавлены IOREF и один зарезервированный контакт, и в будущем плата расширения будет совместима с базовыми платами 5 В и 3,3 В.
- Улучшенная схема сброса.
- Микросхема интерфейса USB заменена на ATmega16U2 ATmega8U2.

2.4.2 RAMPS 1.6

RAMPS 1.6 это «шилд» (надстройка) для Arduino Mega 2560. Платформа Arduino преобразует G-коды в сигналы и управляет 3D-принтером посредством силовой части - RAMPS 1.6.



Рисунок 15 – RAMPS 1.6

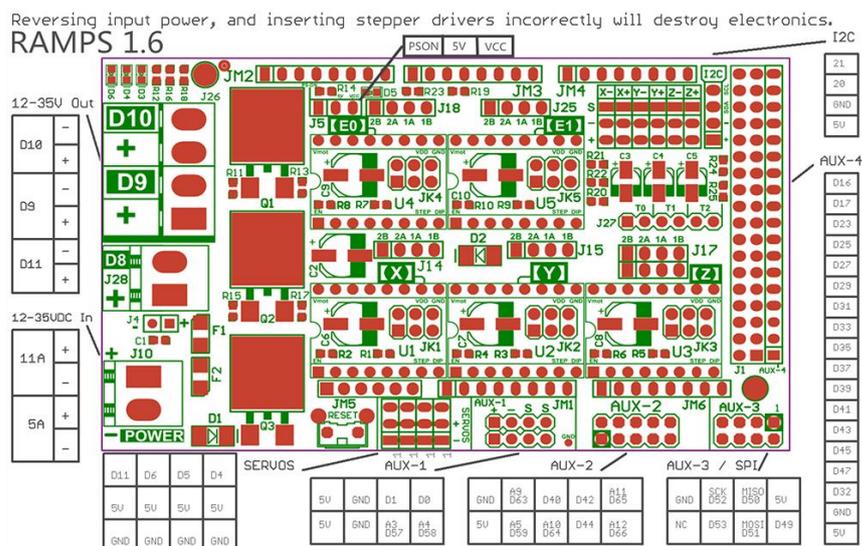


Рисунок 16 – Руководство по подключению RAMPS 1.6

2.4.3 Выбор драйверов шаговых двигателей

Шаговые двигатели — это особый тип двигателей с высоким крутящим моментом, которые обычно используются в 3D-принтерах для управления движущимися частями. Шаговые двигатели работают с магниточувствительным валом, который движется, когда электромагнитные катушки, окружающие его, питаются. Когда полностью питается только одна катушка, это называется полным шагом, потому что вал перемещается на один полный шаг [23].

Однако вал также может двигаться микрошагами, что достигается за счет питания двух электромагнитных катушек на разных уровнях. Микрошаг — это более точный способ передвижения, со своими преимуществами и недостатками. Существуют разные уровни микрошага в зависимости от доли полного шага, на которую движется двигатель (например, 1/32, 1/64).

Драйверы шагового двигателя — это компонент на материнской плате 3D-принтера, отвечающий за управление мощностью, подаваемой на

электромагнитные катушки шагового двигателя для поворота вала двигателя на определенное расстояние. Драйверы шаговых двигателей и их микрошаговые возможности оказывают существенное влияние на шум, создаваемый принтером.

Если использовать шаговые двигатели, рассчитанные только на полные шаги, чтобы получить половину шага, электромагнитные катушки постоянно будут терять мощность, а вал будет колебаться между двумя активными катушками примерно в середине пути. Это колебание вызовет сильную вибрацию и создаст много шума. Чем лучше микрошаговые способности драйвера шагового двигателя, тем меньше вибраций он будет производить и тем тише будет работать принтер.

В настоящее время существует три драйвера шаговых двигателей, которые можно установить на плату RAMPS 1.6:

а) Драйвер шагового двигателя A4988 (рисунок 17).

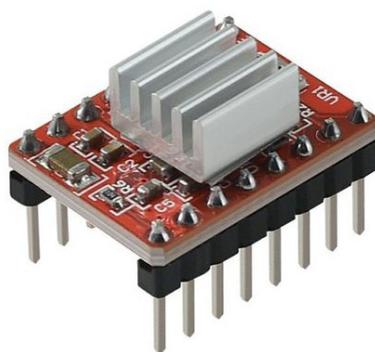


Рисунок 17 – Драйвер шагового двигателя A4988

Таблица 5 – Технические характеристики А4988:

Напряжения питания	8-35 в
Режим микрошага	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16
Защита от перегрева	Есть
Максимальный ток на фазу	1 а без радиатора; 2 а с радиатором
Размер	20 x 15 мм

Для управления шаговыми двигателями используется специальное оборудование – драйверы шаговых двигателей. Вездесущий драйвер шагового двигателя А4988 работает от 8-35 В и может подавать на шаговые двигатели ток до 1 А без необходимости использования радиатора.

б) Драйвер шагового двигателя ТМС2208 (рисунок 18).

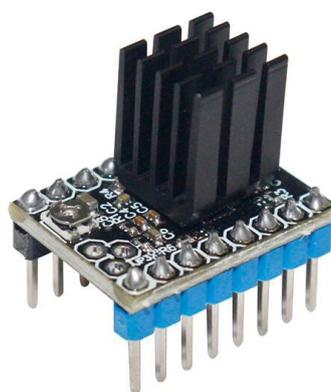


Рисунок 18 – Драйвер шагового двигателя ТМС2208

Таблица 6 – Технические характеристики TMC2208:

Напряжения питания	4-35 в
Режим микрошага	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128, 1/256
Защита от перегрева	Есть
Максимальный ток на фазу	2а
Размер	20 x 15 мм

Драйверы TMC2208 распространены в материнских платах 3D-принтеров, таких как плата Creality V1.1.5, и пользователи отметили, что они эффективны для снижения шума вашего принтера

с) Драйвер шагового двигателя TMC2225 (рисунок 19).

В зависимости от конкретного типа драйвера TMC2225, драйвер может обрабатывать до 1/256 микрошагов, что отлично подходит для точной печати моделей.



Рисунок 19 – Драйвер шагового двигателя TMC2225

Таблица 7 – Технические характеристики TMC2225:

Напряжения питания	4.7-36 В
Режим микрошага	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16,1/32,1/64,1/128,1/256
Защита от перегрева	есть
Максимальный ток на фазу	2А
Размер	20 x 15 мм

TMC2225 — это следующее поколение TMC2208. Основное отличие от TMC2208 заключается в том, что в пакете используется HTSSOP вместо DFN, который имеет ту же функцию, лучшую эффективность рассеивания тепла и более высокую стоимость.

На рисунке 20 показано соединение между TMC2225 и RAMPS 1.6.

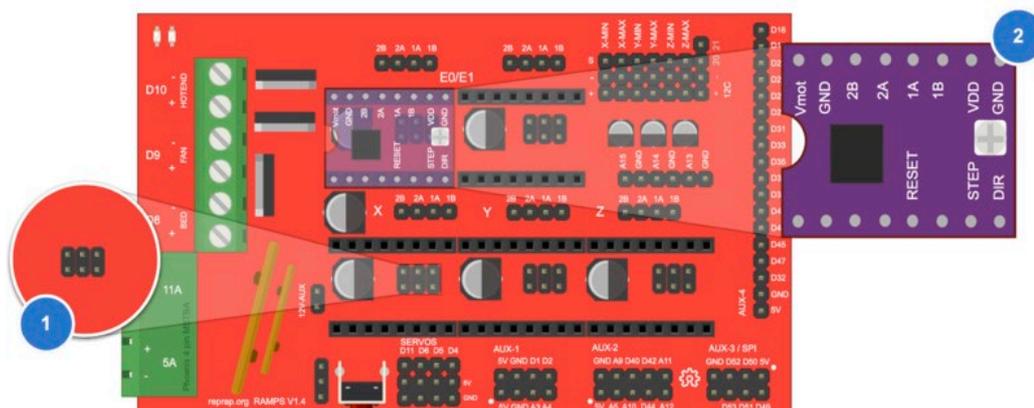


Рисунок 20 – Подключение TMC2225 к RAMPS 1.6.

После сравнения различных параметров был выбран драйвер шагового двигателя TMC2225, поскольку он обладает лучшими характеристиками микрошага и рассеивания тепла.

2.4.4 Выбор концевых выключателей для Z-зонда и оси X, Y и Z

Чтобы при калибровке определить, что каретка 3D-принтера достигла своего крайнего положения (точку начала координаты Z, или Z0), необходимо использовать какой-либо датчик (EndStop или как их еще называют, концевые выключатели).

Существует типы концевых выключателей, которые можно использовать совместно с RAMPS 1.6:

- Механические;
- Оптические.
- На эффекте Холла
- Индуктивный
- Емкостный
- Резистор, чувствительный к силе

Сравнение производительности разных типов концевых выключателей проведено в таблице 8.

Таблица 8 – Сравнение и анализ различных типов концевых выключателей

Тип	Плюсы	Минусы	Анализ
Механический концевой выключатель	Дешевый, очень прочный, очень точный/воспроизводимый	Не значительные	Самый простой датчик.

Продолжение таблицы 8

Оптический концевой вы- ключатель	Дешевый, прочный, очень точный/воспро- изводимый	Пыль может блокировать свето- вой путь через некоторое время	Его можно ис- пользовать вместо механических пе- реключателей в большинстве си- туаций, он имеет те же преимуще- ства и не произво- дит никакого звука.
Концевой вы- ключатель на эффекте Холла	Довольно де- шевый, бескон- тактный, пере- менная точ- ность/повторя- емость	Требуются магниты, которые накапливают металлическую пыль из окружающей среды, мо- гут отсутствовать повторяемость	Бесконтактный вариант, если кон- такт является про- блемой в настройке
Индуктивный концевой вы- ключатель	Бесконтактный	Дорогая, сложная проводка, не- стандартная воспроизводимость, требование 24-36 В, требуется за- щита входа с концевым упором (делитель напряжения)	Его не следует ис- пользовать, если нет веской при- чины
Емкостный концевой вы- ключатель	Бесконтактный, можно исполь- зовать со стек- лянной крова- тью	Дорогая, сложная проводка, не- стандартная воспроизводимость, требование 24-36 В, требуется за- щита входа с концевым упором (делитель напряжения)	Его не следует ис- пользовать, если нет веской при- чины

Продолжение таблицы 8

Резистор, чувствительный к силе (FSR)	Может использоваться под стеклянной кроватью, бесконтактный	Трудно настроить правильно, привередливая, дорогая, аналоговая, что означает, что для нее требуется адаптер, более сложная проводка	Его не следует использовать, если нет веской причины
концевой выключатель ИК зонды	Бесконтактный	Дорогой, аналоговый означает, что требуется адаптер, ужасная воспроизводимость/точность, более сложная проводка.	Его не следует использовать, если нет веской причины

Получившие распространение датчики автовыравнивания VL Touch работа которого основана на эффекте Холла отличается высокой точностью, однако для предлагаемой конструкции не подходит, так как не имеет автономного привода перемещения элемента очувствления (щупа), при этом сам обладает весьма значительными размерами и массой. Использовать индуктивные датчики тоже нецелесообразно, т.к. они характеризуются невысокой скоростью и непредсказуемостью полученных показаний. Имеются свои недостатки и у пьезоэлектрических, и у тензометрических датчиков.

Представляют интерес оптические датчики (оптопары) и микропереключатели, например, тактовые кнопки.

После приведенного выше сравнения и анализа различных концевых выключателей механический концевой выключатель KW4-3Z-3 выбран в качестве зонда оси Z для использования в системе автокалибровки. Оптические

концевые выключатели TCST2103 были выбраны для установки в конечных положениях трех базовых приводов (оси X, Y и Z).

2.4.5 Выбор двигателей для автокалибровки стола 3d принтера 5-ти координатного 3d-принтера

Шаговые электродвигатели применяются в приводах машин и механизмов, работающих в старт-стопном режиме, или в приводах непрерывного движения, где управляющее воздействие задаётся последовательностью электрических импульсов, например, в станках с ЧПУ. В отличие от сервоприводов.

Сервопривод — это такой вид привода, который может точно управлять параметрами движения. Другими словами, это двигатель, который может повернуть свой вал на определенный угол или поддерживать непрерывное вращение с точным периодом.

В разработанной системе автоматической калибровки требуется три шаговых двигателя для управления тремя координатами для перемещения подвижной платформы с соплом относительно рабочего стола.

Два двигателя необходимы для управления наклоном сопла относительно ось x и вращения стола вокруг оси z.

Шаговый двигатель выбран для управления вращением рабочего стола вокруг оси Z.

Для лучшей маневренности сопла необходимо выбрать более легкие серводвигатели для управления наклоном сопла относительно оси X и направлением движения Z-зонда.

4.4.1 Выбор шагового двигателя

В конструкции 3D-принтеров основную функцию перемещения экструдера вдоль оси выполняют шаговые двигатели. Шаговые двигатели являются ключевыми компонентами, которые приводят в действие 3D-принтеры.

Учитывая, что максимальный ток драйвера двигателя 2А, подходят шаговые двигатели NEMA17 и NEMA11.

Таблица 9 – Технические характеристики NEMA 17:

Номинальный ток/фаза	1.8А
Угол шага	1,8 °±0. 09 °
Момент удержания	≥ 5.4 кг*см
Вес	350г
Размеры	42 x 42 x 48 мм

Таблица 10 – Технические характеристики NEMA 11:

Номинальный ток/фаза	0.67А
Угол шага	1,8 °±0. 09 °
Момент удержания	≥ 1.2 кг*см
Вес	180г
Размеры	28 x 28 x 51 мм

После сравнения видно, что у NEMA17 больше крутящий момент, в то же время при достаточной величине крутящего момента, NEMA11 меньше по габаритам и легче по весу.

Схема подключения шаговых двигателей к RAMPS 1.6 показана на рисунке 21.

Двигатели, управляющие осями i, j и k, подключены к портам x, y и z соответственно.

Двигатель, используемый в качестве экструдера, подключен к порту E0.

Двигатель, управляющий вращения рабочего стола вокруг оси z, подключен к E1.

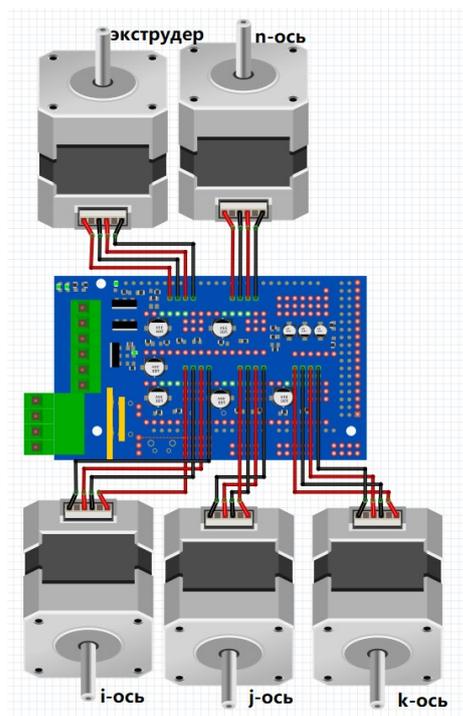


Рисунок 21 – Подключение шаговых двигателей к RAMPS 1.6.

4.4.2 Выбор серводвигателей

Серводвигатель в основном состоит из корпуса, печатной платы, приводного двигателя, редуктора и элемента определения положения. Принцип его работы заключается в том, что приемник посылает сигнал серводвигателю, двигатель запускается в действие микросхемой на печатной плате, вращение с вала двигателя передается на поворотный рычаг через редуктор, и сигнал обратной связи формируется детектором положения, чтобы определить, достиг ли он заданного положения.

В настоящее время существует несколько типов серводвигателей [23]. Для наших целей представляют интерес следующие два:

а) Серводвигатель SG90

Таблица 11 – Технические характеристики SG90:

Скорость отработки команды	0,12с/60 градусов
Питание	4,8В
Рабочие температуры	от -30°C до 60°C
Крутящий момент	1,8 кг/см
Отклонение угла	Отклонение угла движения влево и вправо: $\leq 5^\circ$ Отклонение центрирования: $\leq 1^\circ$
Ширина зоны нечувствительности	7 мкс
Вес	9г

Серводвигатель SG90 является наиболее распространенным серводвигателем, используемым для управления углом. Он характеризуется малыми объемом и массой.

б) Серводвигатель MG995

В сервоприводе MG995 используются металлические шестерни, обладающие хорошим крутящим моментом до 13 кг/см, поэтому его часто используют в соединениях моделей самолетов и роботов. Однако он имеет большую массу и большой объем.

Таблица 12 – Технические характеристики MG995:

Скорость отработки команды	0.17с/60 градусов (при 4,8В) 0.13с/60 градусов (при 6.0В)
Питание	4.8– 7.2В
Крутящий момент	13 кг/см
Рабочие температуры	от 0°С до 55°С
Отклонение угла	Отклонение угла движения влево и вправо: $\leq 3^\circ$ Отклонение центрирования: 0°
Ширина зоны нечувствительности	1 мкс
Вес	55 г

Сравнивая параметры двух серводвигателей, мы видим, что серводвигатель SG90 имеет меньший вес, а серводвигатель MG995 имеет больший крутящий момент.

Двигатель SG90 выбран для управления ориентацией Z-зонда. Поскольку датчик на зонде легкий, большой крутящий момент не требуется. Печатающая головка имеет определенный вес, поэтому для управления наклоном сопла относительно оси X был выбран двигатель MG995 с большим крутящим моментом.

Схема подключения серводвигателей к RAMPS 1.6 показана на рисунке

22:

- Один серводвигатель управляет направлением Z-зонда, один серводвигатель управляет осью вращения m
- Красный провод – питание (внешний стабилизированный источник питания 4.8-7.2 В);
- Черный провод – к выводу GND;
- Оранжевый – сигнальный (подключаются к цифровому ШИМ выводе D4 и D11 контроллера RAMPS 1.6).

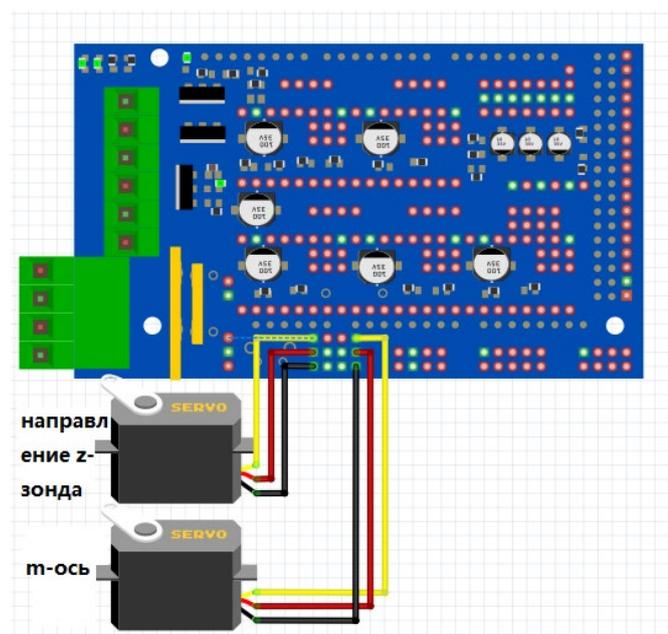


Рисунок 22 – Соединение между серводвигателями и RAMPS 1.6.

2.5 Принципиальная схема системы автокалибровки стола 3D принтера

Структурная схема системы автокалибровки стола 5-ти координатного 3d-принтера показана на рисунке 23, где А- Модуль автокалибровки, В- Главный модуль управления, С- Модуль управления движением.

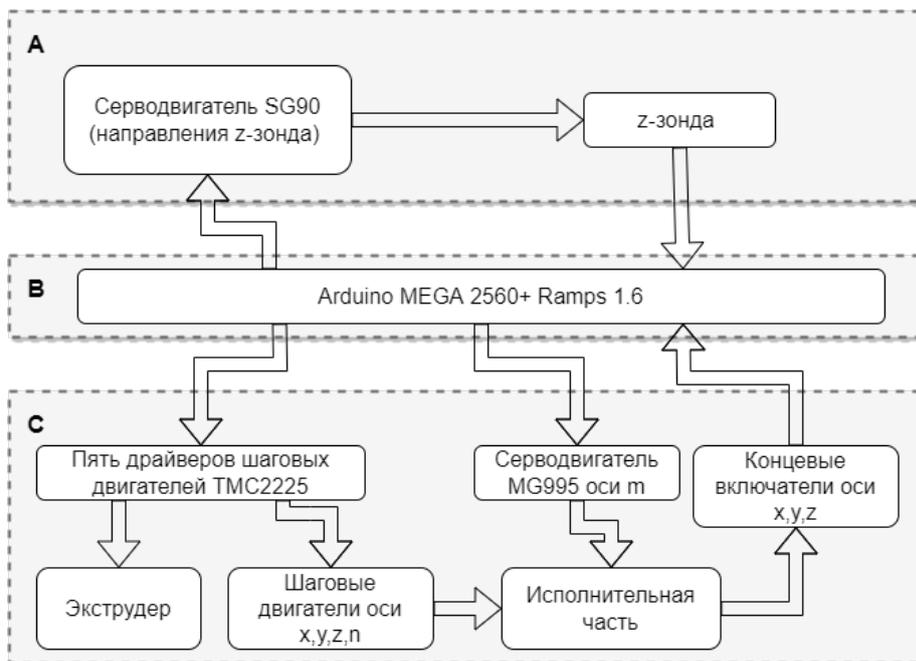


Рисунок 23 – Состав системы 5-ти координатного 3d-принтера с автокалибровкой стола

В приложении А показана электрическая принципиальная схема системы управления 5-ти координатным 3D-принтером с системой автокалибровки:

- Пять шаговых двигателей использованы соответственно для управления экструдером на сопле, координатами осей i , j , k перпендикулярно рабочему столу и углом n вращения рабочего стола вокруг оси Z .

- Один серводвигатель управляет направлением Z-зонда, еще один серводвигатель управляет углом наклона сопла относительно ось X.

Внешний вид собранной системы автокалибровки стола 3D-принтера показан на рисунке 24.

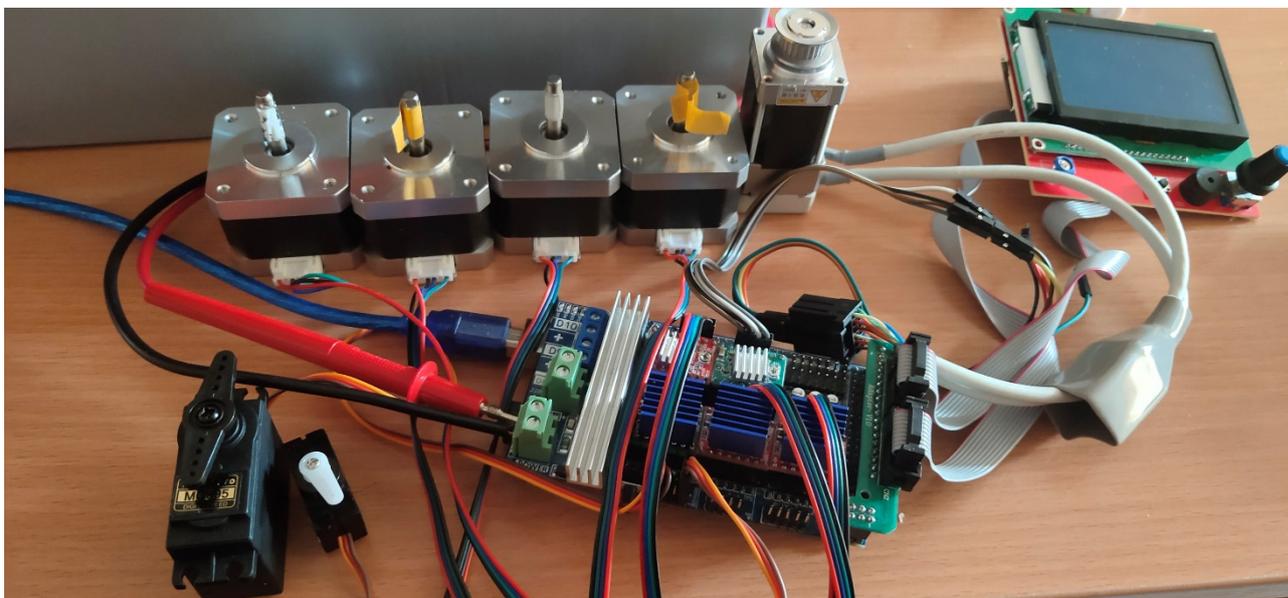
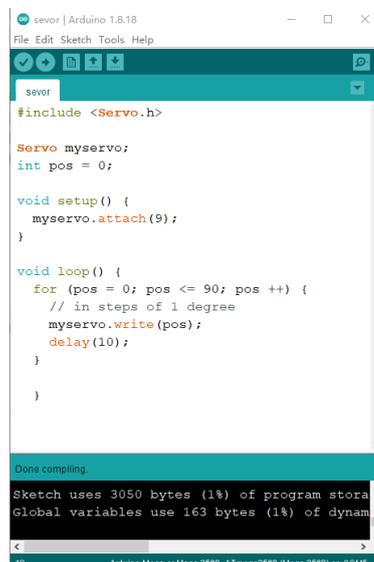


Рисунок 24 – Собранная система автокалибровки стола 3D-принтера

2.6 Программирование системы автокалибровки стола 3D-принтера в прошивке Marlin

Marlin включает функцию «Выравнивание платформы», которая компенсирует эти дефекты, измеряя расстояние между рабочим столом и соплом в 3 или более точках, а затем регулируя положение сопла на протяжении всей печати, чтобы оно оставалось на постоянном расстоянии от платформы [19].

Marlin позволяет выполнять эти измерения стола, используя только лист бумаги, но для улучшения опыта лучшим вариантом является установка датчика касания стола (также называемого «Z-зондом»).



```
sevor | Arduino 1.8.18
File Edit Sketch Tools Help
sevor
#include <Servo.h>

Servo myservo;
int pos = 0;

void setup() {
  myservo.attach(9);
}

void loop() {
  for (pos = 0; pos <= 90; pos++) {
    // in steps of 1 degree
    myservo.write(pos);
    delay(10);
  }
}
```

Done compiling.

Sketch uses 3050 bytes (1%) of program storage.
Global variables use 163 bytes (1%) of dynamic memory.

18 Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM5

Рисунок 25 – Программный код для управления серводвигателем в ARDUINO IDE

На рисунке 25 показан программный код для управления серводвигателем в ARDUINO IDE.

На рисунке 26 показан программный код для управления шаговым двигателем в ARDUINO IDE.

На рисунке 27 показана блок-схема работы пяти координатного 3d-принтера автокалибровкой

```

stepper | Arduino 1.8.18
File Edit Sketch Tools Help
Verify
stepper $
const int dirPin = 2;
const int stepPin = 3;
const int stepsPerRevolution = 200;

void setup()
{
  // Declare pins as Outputs
  pinMode(stepPin, OUTPUT);
  pinMode(dirPin, OUTPUT);
}
void loop()
{
  // Установить направление двигателя по часовой стрелке
  digitalWrite(dirPin, HIGH);

  for(int x = 0; x < stepsPerRevolution; x++)
  {
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(1000);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(1000);
  }
  delay(1000); // Wait a second
}

Done compiling
Sketch uses 1568 bytes (0% of program storage space).
Global variables use 9 bytes (0% of dynamic memory).
Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM5

```

Рисунок 26 – Программный код для управления серводвигателем в ARDUINO

IDE

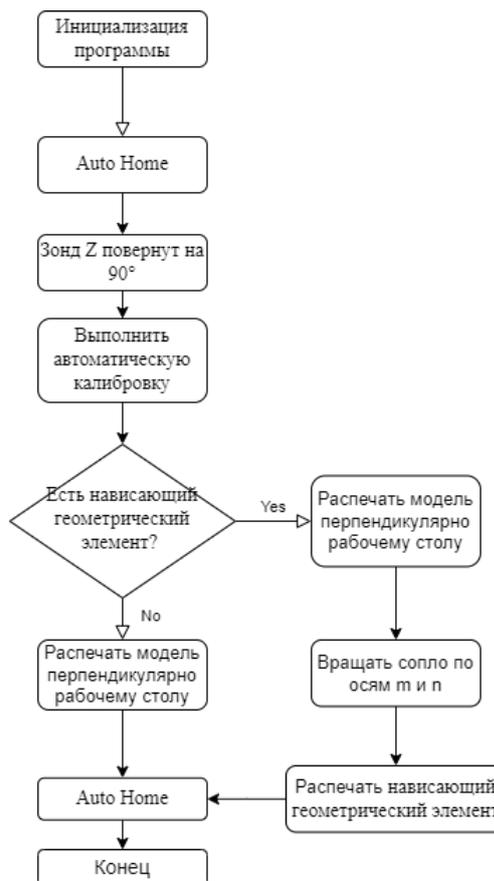


Рисунок 27 – Блок-схема работы 5-ти координатного 3D-принтера с автокалибровкой стола

2.6.1 Настройка Z-зонда в прошивке Marlin

Данная опция используется во всех случаях, когда зонд подключен к торцевой заглушке Z MIN. Эта опция используется для DELTA 3d-принтеров, которые всегда являются исходными для MAX, и могут использоваться в других настройках.

```
#define Z_MIN_PROBE_USES_Z_MIN_ENDSTOP_PIN
```

Чтобы указать Servo Z Probe (например, концевой выключатель, установленный на вращающемся рычаге), используем индекс сервопривода. Команда M280 используется, чтобы найти определить подходящие Z_SERVO_ANGLES значения.

```
#define Z_PROBE_SERVO_NR 0 // Defaults to SERVO 0 connector.  
#define Z_SERVO_ANGLES { 90, 0 } // Z Servo Deploy and Stow angles
```

2.6.2 Настройка параметров автокалибровки стола в прошивке

Marlin

Команды G33 и G33a позволяют включить систему автокалибровки Delta-принтера [20].

```
// uncomment to add G33 Delta Auto-Calibration (Enable EEPROM_SETTINGS to store results)  
  
#define DELTA_AUTO_CALIBRATION
```

Количество точек обнаружения установлено на 4*4. Во время автокалибровки на рабочем столе тестируются 16 точек.

```
// NOTE NB all values for DELTA_* values MUST be floating point, so always have a decimal point in them

#if ENABLED(DELTA_AUTO_CALIBRATION)

// set the default number of probe points : n*n (1 -> 7)

#define DELTA_CALIBRATION_DEFAULT_POINTS 4.0

#endif
```

3. Разработать конструкцию головки экструдера с автокалибровкой в Solidworks

Четыре режима работы головки экструдера показаны на рисунках 28, 29, 30 и 31:

- Во время процесса автоматической калибровки для печати обычной модели серводвигатель SG90 управляет поворотом Z-зонда на 90 градусов по часовой стрелке, так что направление Z-зонда перпендикулярно рабочему столу (показано на рис.28).

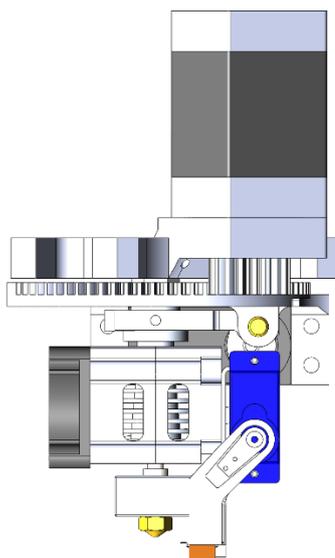


Рисунок 28 – Калибровка, наклонсопла 0 градусов, щуп выдвинут

- При печати обычных моделей серводвигатель SG90 управляет Z-зондом, поворачивая его на 90° против часовой стрелки для втягивания зонда (показано на рис.29).

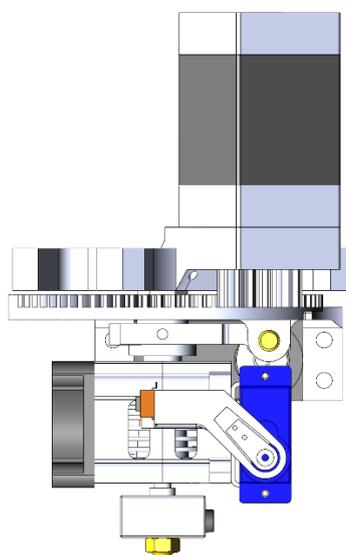


Рисунок 29 – Рабочее положение при печати, наклон сопла 0 градусов

- Во время процесса автоматической калибровки для печати нависающего геометрического элемента, шаговый двигатель и серводвигатель MG995

управляют вращением экструдера в рабочей плоскости, а серводвигатель управляет поворотом Z-зонда на 90° по часовой стрелке, так что направление Z-зонда перпендикулярно рабочей плоскости. (показано на рис.30).

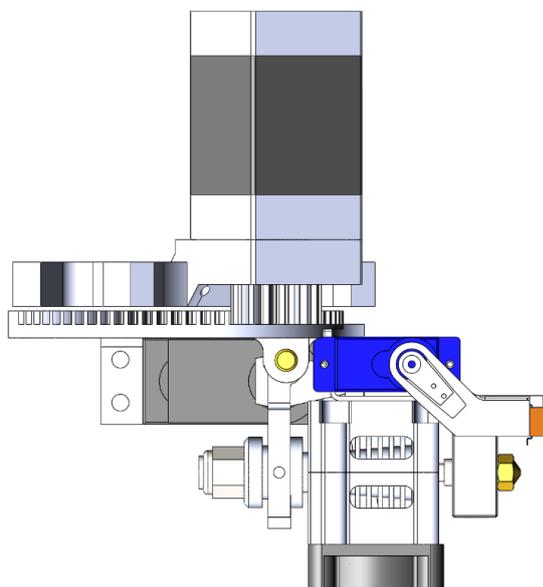


Рисунок 30 – Калибровка, наклон сопла 0 градусов, щуп выдвинут

- При печати нависающего геометрического элемента серводвигатель SG90 управляет поворотом Z-зонда на 90° против часовой стрелки для втягивания датчика, а шаговый двигатель и серводвигатель MG995 управляют поворотом экструдера в рабочую плоскость для печати модели.

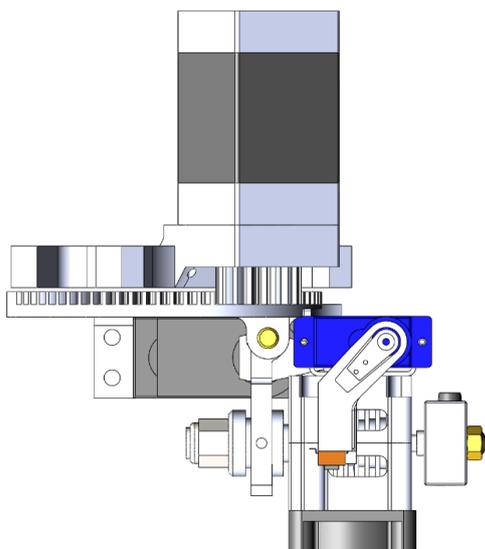


Рисунок 31 – Рабочее положение, наклон сопла 90 градусов, щуп убран

Вывод

В ходе проделанной работы был осуществлен подбор электронных элементов с точки зрения массогабаритных характеристик. После выбора соответствующих компонентов было выполнено проектирование принципиальной схемы устройства.

В процессе проектирования системы автокалибровки рабочего стола 3D-принтера, был предложен вариант технического решения Z-зонда, внесены необходимые изменения в программное обеспечение “MARLIN”, модернизированное ПО было загружено в микроконтроллер и успешно использовано для управления работой механической части 3D-принтера.

Также, была спроектирована головка экструдера с автоматической калибровкой в ПО DS Solidworks.

4. Финансовый менеджмент

Кинематическая схема традиционных 3d-принтеров в основном трехкоординатная, требуется слишком много поддерживающей структуры для печати, обладают неровной поверхностью печати, и последующая обработка усложняется. Однако 5-ти координатная 3d-печать регулирует угол наклона печатаемой детали, добавляя вращающиеся детали, чтобы согласовать его с направлением силы тяжести, поэтому нет необходимости добавлять дополнительные поддерживающие детали для обеспечения формирования печатных деталей, экономия времени и расходных материалов. Притом, эта технология позволяет увеличивать скорость печати, тем самым снижая операционное время и, следовательно, себестоимость печатаемого изделия. Разработка данной системы отвечает современным требованиям ресурсоэффективности.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В результате анализа потенциальных потребителей результатов разработок рассмотрен целевой рынок и проведено его сегментирование. Определены основные критерии сегментирования.

На основании данных, представленных на карте сегментирования рынка производства и использования 5-ти координатного 3D-принтера (таблица 13), можно сделать вывод, что основные потребители заняты в производственной

отрасли и для применения в бытовых целях.

Таблица 13 – Карта сегментирования рынка

	Вид области		
	Научно-Исследовательская отрасль	Производственная отрасль	Бытовое применение
Российские			
Зарубежные			
	Сегмент освоен		
	Сегмент освоен слабо		
	Сегмент не освоен или информация не найдена		

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Поскольку рынок пребывает в постоянном движении, необходимо систематически производить детальный анализ конкурирующих разработок. Проведение анализа помогает вносить коррективы в научное исследование, для

успешного противостояния конкурентным разработкам. Для проведения данного анализа необходимо обладать всей имеющейся информацией о разработках конкурентов, такой как:

- Технические характеристики разработки,
- Развивание конкурентоспособности,
- Уровень завершенности научного исследования,
- Уровень проникновения на рынок и т.д.

Проводить анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения удобно с помощью оценочной карты. Это необходимо для оценки сравнительной эффективности научной разработки и определения направления ее будущего повышения.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Наиболее конкурентными разработками для 5-ти координатного 3D-принтера (Ф) являются: 3 координатный 3D-принтер (К1), 4 координатный 3D-принтер (К2).

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot b_i, \quad (6.7)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 14 – Оценочная карта для сравнения выбранных решений по техническим и экономическим критериям оценки ресурсоэффективности.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	$B_{к1}$	$B_{к2}$	K_{ϕ}	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0.20	10	7	8	2.00	1.40	1.60
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.10	9	8	8	0.90	0.80	0.80
Энергоэкономичность	0.05	10	6	7	0.50	0.30	0.35
Надежность	0.10	8	8	7	0.80	0.80	0.70
Точность печати модели	0.05	8	8	8	0.40	0.40	0.40
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0.20	8	7	7	1.60	1.40	1.40
Цена	0.10	8	10	9	0.80	1.00	0.90
Предполагаемый срок эксплуатации	0.05	8	8	7	0.40	0.40	0.35
Уровень проникновения на рынок	0.10	9	8	8	0.90	0.80	0.80
Финансирование научной разработки	0.05	8	8	8	0.40	0.40	0.40
Итого	1.00	86	78	77	8.60	7.80	7.70

В таблице 14 показана оценочная карта для сравнения выбранных решений по техническим и экономическим критериям оценки ресурсоэффективности.

Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод, что 5 координатный 3D-принтер на данном этапе выглядит наиболее оптимальным вариантом.

Также весомую часть рынка занимают 3 координатный 3D-принтер, поскольку 3 координатные 3D-принтеры являются наиболее исследованной областью разработок, обладает достаточно простой конструкцией. Однако 5-ти координатная 3d-принтер регулирует угол наклона печатаемой детали, добавляя

вращающиеся детали, чтобы согласовать его с направлением силы тяжести, поэтому нет необходимости добавлять дополнительные поддерживающие детали для обеспечения формирования печатных деталей, экономия времени и расходных материалов.

Таким образом, разрабатываемый проект является перспективным для разработки, так как обладает рядом уникальных свойств.

4.1.3 SWOT - анализ

Таблица 15 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Экологическая безопасность.</p> <p>С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С3. Ресурсоэкономичность.</p> <p>С4. Простота использования.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Отсутствие сертификации</p> <p>Сл2.Отсутствие продвижения в рынке.</p> <p>Сл3.Финансирование</p> <p>Сл4.Послепродажного обслуживания нет.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В2. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В3 Появление нового касса источников.</p>	<p>Разработка течепойсикового комплекса, обладающего более высокими показателями качества, по сравнению с теми, что представлены на рынке (в частности, более высокая надежность и быстроедействие) с целью получения готового продукта с конкурентными преимуществами с оптимальной себестоимостью, высоким качеством и инженеринговой услугой.</p>	<p>1.Повышение квалификации кадров у потенциальных потребителей</p> <p>2.Создание инженеринговой услуги с целью обучения работе с готовым продуктом</p> <p>3.Приобретения необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>4.Сокращение поставок или смена поставщика</p>

Продолжение таблицы 15

<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Ограничения на экспорт технологии У4. Ложность в получении сертификации (большая стоимость)</p>	<p>1. Продвижение программы с целью создания спроса 2. Создание конкурентных преимуществ готового продукта 3. Сертификация и стандартизация продукта</p>	<p>1. Повышение квалификации кадров у потенциальных потребителей 2. Создание инжиниринговой услуги с целью обучения работе с готовым продуктом 3. Приобретения необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца 4. Сокращение поставок или смена поставщика 5. Продвижение программы с целью создания спроса 6. Создание конкурентных преимуществ готового продукта 7. Сертификация и стандартизация продукта</p>
---	--	--

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – Является всесторонним анализом исследовательского проекта. SWOT-анализ используется для изучения внешней и внутренней среды проекта.

На третьем этапе должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в работе аспиранта (Таблица 15).

4.1.4 Цели и результаты проекта

Для оценки степени готовности научной разработки к коммерциализации заполняется специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется

$$B_{\text{сумс}} = 75$$

$$B_{\text{суму}} = 66$$

где $B_{\text{сумс}}$ – суммарное количество баллов по степени проработанности научного проекта;

$B_{\text{суму}}$ – суммарное количество баллов по уровню имеющихся знаний у разработчика;

B_i – балл по i -му показателю.

Видно, что создаваемая разработка перспективна.

Таблица 16 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	5
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	5	4

Продолжение таблицы 16

9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	5	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	5	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	5	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	5
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	75	66

4.2 Инициация проекта

4.2.1 Цели и результаты проекта

Таблица 17 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Использование результатов проекта в дальнейших исследованиях
Исполнительно по проекту	Повышение уровня квалификации благодаря работе в научной сфере

В таблице 17 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта. В таблице 18 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 18 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка системы управления 5-ти координатным 3D-принтером
Ожидаемые результаты проекта:	5 координатный 3D-принтер с автоматической калибровкой
Критерии приемки результатов проекта:	Работоспособный макет устройства, технические характеристики которого соответствуют математическим расчетам
Требования к результату проекта:	<p>Требования:</p> <p>Разработать кинематическую схему устройства.</p> <p>Разработать блок-схему системы управления 3D-принтера.</p> <p>Разработать электрическую принципиальную (схему подключений) 5-ти координатного 3D-принтера.</p> <p>Разработать конструкцию 2-х осевого привода перемещения поворотной платформы печатающей головки (экструдера) 3D-принтера.</p> <p>Разработать конструкцию датчика для определения положения экструдера.</p>

4.2.2 Организационная структура проекта

В таблице 19 приведена информация о рабочей группе проекта, ролях, функциях и трудозатратах руководителя и исполнителя.

Таблица 19 – Рабочая группа проекта

Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, день
----------------	---------	--------------------

Продолжение таблицы 19

1. Руководитель проекта : Симанкин Федор Аркадьевич	Постановка задачи и целей проекта, консультирование проекта в области электроники, проведение экспериментов с макетом	88
2. Исполнитель по проекту: Жэнь Хао	Обзор литературы о схемотехнических решениях резонансных инверторов, оценка их недостатков и преимуществ рассматриваемых схем, разработка и проведение экспериментов на макете.	166

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 20.

Таблица 20 – Примерный порядок составления этапов и работ

Основные этапы	№ ра- боты	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утвержде- ние задания НИР	Научный руководитель
Проведение НИР			
Выбор направления ис- следования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материа- лов по теме	Научный руководитель, студент-дипломник,
	3	Выбор моделей и спосо- бов анализа	Научный руководитель
	4	Календарное планирова- ние работ	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка моделей для исследования	Руководитель, студент-дипломник
	6	Поиск методов решения	Студент-дипломник, научный руководитель
	7	Реализация моделей	Студент дипломник, Научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных ре- зультатов, выводы	Студент дипломник, научный руководитель
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Студент дипломник
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснитель- ной записки	Студент дипломник

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot t_{\text{mini}} + 2 \cdot t_{\text{maxi}}}{5}, \quad (4.1)$$

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

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{q_i}, \quad (4.2)$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. дн;

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

Результаты представим в Таблице 6.8.

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} , \quad (4.3)$$

где T_{ki} – продолжительность одной работы в календарных днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} , \quad (4.4)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней году (366);

$T_{выл}$ – количество выходных дней в году (52);

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году (15).

$$k_{кал} = \frac{366}{366 - 52 - 15} = 1.22$$

Данные, полученные по вышеуказанным формулам, заносятся в таблицу 3.

Используя таблицу 21, можно построить календарный план-график выполнения работ (Таблица 22). По данным Таблицы 21 построим линейный график проведения НИОКР (Таблица 21), на котором покажем последовательность проводимых работ и сроки выполнения этапов.

Таблица 21 – Временные показатели проведения ВКР

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ						
		t _{min} л-дн	t _{max} чел-дн	t _{ож} чел-дн	T _p раб-дн	T _к кал-дн	у _i , %	Г _i , %
1	Научный руководитель	7,00	14,00	9,80	10	12	11,32	11,32
2	Научный руководитель, студент-дипломник,	14,00	21,00	16,80	9	11	10,38	21,70
3	Научный руководитель	3,00	7,00	4,60	5	6	5,66	27,36
4	Научный руководитель	4,00	7,00	5,20	5	7	6,60	33,96
5	Руководитель, студент-дипломник	21,00	28,00	23,80	12	15	14,15	48,11
6	Студент-дипломник, научный руководитель	14,00	21,00	16,80	9	11	10,38	58,49
7	Студент-дипломник, Научный руководитель	8,00	11,00	9,20	5	6	5,66	64,15
8	Студент-дипломник, научный руководитель	14,00	21,00	16,80	9	11	10,38	74,53
9	Руководитель, студент-дипломник	7,00	14,00	9,80	5	6	5,66	80,19
10	Студент-дипломник	14,00	21,00	16,80	17	21	19,81	100,00
ИТОГО						106		

Календарный план-график составляем по первому исполнению, так как оно занимает меньше времени и является оптимальным для выполнения дипломной работы.

Таблица 22 – Календарный план-график проведения НИОКР

Этап	Вид работы	Исполнители	t _к	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение задания НИР	Научный руководитель	11					
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов, и поиск материалов по теме	Научный руководитель,	13					
		инженера.						
3	Выбор моделей и способов анализа	Научный руководитель	7					
4	Календарное Планирование работ	Научный руководитель	8					
5	Разработка моделей для исследования	Научный руководитель,	5					
		инженера.						
6	Поиск методов решения	инженера.	12					
		научный руководитель						

4.3.4 Бюджет научного исследования

Крайне важно определить бюджет научного исследования, чтобы иметь представление о расходах, которые будут необходимы для выполнения научно-технического проекта. При этом нужно будет наиболее точно отразить все расходы, чтобы полученные данные были максимально достоверны и точны.

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Сырье материалы, покупные изделия

Стоимость всех видов и материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ формируется исходя из приобретения и платы за транспортировку.

Таблица 23 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1. Макетная плата	1	300	300
2. Радиодетали	1	500	500
3. Расходные материалы	1	500	500
4. Печатная бумага	1	100	100
5. Канцелярские товары	1	150	150
Всего за материалы			1550
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			46,5
Итого по статье C_m			1596,5

Транспортно – заготовительные расходы принимаются в пределах от 3 до 5 % от цены материалов (в данной работе 3%). В том случае, если расходы, связанные с доставкой материальных ресурсов незначительны, то их можно опустить. Стоимость сырья, материалов, комплектующих изделий приведена в таблице 6.10.

Специальное оборудование для экспериментальных работ

В статье затраты на приобретение различного оборудования учитываются затраты на покупку и эксплуатацию специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов и устройств).

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам или по договорной цене. Если при выполнении научного проекта используется оборудование, имеющееся в организации, то стоимость этого оборудования учитывается в виде амортизационных отчислений.

Амортизация – это процесс постепенного перенесения стоимости основных фондов по мере износа на производимую продукцию в целях последующего воспроизводства основных фондов.

По формуле, представленной ниже, рассчитывается сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных средств, используемых при реализации проекта.

$$C_A = \frac{\Phi_{\text{неп}} \cdot H_A}{100\%}, \quad (4.5)$$

где $\Phi_{\text{пер}}$ – первоначальная стоимость оборудования;

N_A – норма амортизации.

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$N_A = \frac{1}{T_{\text{сл}}} \cdot 100\%, \quad (4.6)$$

где $T_{\text{сл}}$ – срок службы оборудования, мес.

Специальное оборудование, используемое в исследованиях, представлено в таблице 23.

Таблица 24 – Специальное оборудование, используемое в исследованиях

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	$\Phi_{\text{пер}}$, тыс. руб.	$T_{\text{сл}}$, мес.	N_A , % в мес.	C_A в месяц, руб.	Период реализации, мес.	C_A за весь период, тыс. руб.
Осциллограф	1	120	24	4,1	4920	10	49,2
Итого							49,2

Основная заработная плата

В статью включается основная заработная плата работников, непосредственно участвующих в выполнении работ. Величина расходов по заработной плате определяется 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.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.7)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (4.8)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м}}{F_{\partial}} \cdot M, \quad (4.9)$$

где $Z_{м}$ – месячный оклад работника, руб;

M – количество месяцев работы без отпуска в течении года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_{∂} – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, руб. дней.

В таблице 25 приведен баланс рабочего времени для руководителя и исполнителя

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{м} = Z_{б} \cdot k_p, \quad (4.10)$$

где Z_6 – базовый оклад, руб;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 25 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней – -выходные дни	52	104
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени -отпуск	56	24
-невыходы по болезни	12	60
Действительный годовой фонд рабочего времени	231	163

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_6 , руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$, раб. дн	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	37700	1,3	49010	1763.69	12	21164.28
Инженер	13900	1,3	18070	650.27	170	110546.13

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.

Таблица 27 – Результаты расчета основной и дополнительной заработной

платы

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	21164.28	110546.13
Дополнительная зарплата	2539.71	13265.54
Зарплата исполнителя	23703.99	123811.67
Итого по статье С _{зп}	147515.66	

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (4.11)$$

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

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,1 – 0,15);

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

В таблице 27 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Отчисления на социальные нужды

В данном разделе будут рассчитаны отчисления во внебюджетные фонды, согласно законодательству РФ являются обязательными, а именно

отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды.

Согласно пункту 1 ст. 58 федерального закона №212-ФЗ размер страховых взносов образовательных учреждений составляет 30.2%.

$$C_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 147515.66 = 44549.73 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

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

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

Накладные расходы рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.13)$$

где $k_{\text{накл}}$ - коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{внеб}} = 0,2 \cdot 147515.66 = 29503.13 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательской работы (таблица 28).

Таблица 28 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	1596,5
Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	49200
Основная заработная плата	131710.41
Дополнительная заработная плата	147515.66
Отчисления на социальные нужды	44549.73
Накладные расходы	29503.13
Итого себестоимость НИР	40417.70

4.4 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 показатель финансовой эффективности рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (4.14)$$

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

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

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

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^p \quad (4.15)$$

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 приведен в форме таблицы 29.

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

Таблица 29 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Повышение производительности труда пользователя	0.40	10	7	8
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.20	9	8	8
Энергоэкономичность	0.10	10	6	7
Надежность	0.20	8	8	7
Точность печати модели	0.10	8	8	8
Итого	1.00	45	37	38

Текущий проект:

$$I_m = 0.4 * 10 + 0.2 * 9 + 0.1 * 10 + 0.2 * 8 + 0.1 * 8 = 9.2$$

Аналог 1:

$$I_{m1} = 0.4 * 7 + 0.2 * 8 + 0.1 * 6 + 0.2 * 8 + 0.1 * 8 = 7.4$$

Аналог 2:

$$I_{m2} = 0.4 * 8 + 0.2 * 8 + 0.1 * 7 + 0.2 * 7 + 0.1 * 8 = 7.7$$

На основании таблицы 28 и произведенных расчетов можно сделать вывод, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых аналогов. Таким образом, 5 координатный 3D-

принтер является более ресурсоэффективной разработкой, относительно аналогов.

4.5 Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, касаясь реализации разработки на рынке товаров, выбора сегмента рынка для реализации разработки.

Анализ потенциальных потребителей результатов разработки показал, что наиболее оптимальная сфера реализации представлена в сфере бытового потребления и производственной отрасли как в России, так и за рубежом.

На основании результатов сравнения конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения продемонстрировал обоснованность выбора 5-ти координатного 3D-принтера во многом из-за наличия ряда преимуществ перед другими, по сравнению с другими вариантами исполнения.

Величина суммы плановой себестоимости НИР оказалась достаточно велика. С целью уменьшения суммы плановой себестоимости необходимо, если это возможно, произвести корректировку рабочего времени.

5. Социальная ответственность

Социальная ответственность - ответственность отдельного ученого и научного сообщества перед обществом. Первостепенное значение при этом имеет безопасность применения технологий, которые создаются на основе достижений науки, предотвращение или минимизация возможных негативных последствий их применения, обеспечение безопасного как для испытуемых, как и для окружающей среды проведения исследований.

В данном разделе будет приведен анализ вредных и опасных факторов, возникающих при производстве и эксплуатации разработки и средства защиты от влияния факторов, определение вредных воздействий на окружающую среду, выявление мер по обеспечению правовой и организационной безопасности разработки, определение порядка действий при возникновении чрезвычайных ситуаций.

5.1 Производственная безопасность

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при изготовлении разработки в лаборатории описаны в таблице 30 в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74.

Таблица 30 – Опасные и вредные факторы при изготовлении преобразователя напряжения

Наименование работы	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ)		Нормативные документы
	Опасные	Вредные	
Сборка электронных элементов для 5-ти координатного 3D-принтера	Пожарная опасность	Недостаточная освещенность рабочей зоны	ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ СП 52.13330.2011
	Поражение электрическим током	Монотонность труда	
Программирование системы управления 5-ти координатного 3D-принтером		Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.019-2009 СанПиН 2.2.4-548-96
		Отклонение показателей микроклимата	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 ГОСТ 12.1.003 – 2014

5.1.1 Анализ вредных производственных факторов и мероприятия по их устранению

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещённость — это поверхностная плотность светового потока. Рациональное освещение рабочего места является одним из важнейших условий создания благоприятных и безопасных условий труда. Хорошая освещённость рабочего места необходима при любом спектре выполняемых работ. Недостаточное освещение рабочего места может привести к преждевременной усталости работника, что может повлечь за собой снижение продуктивности работы и росту вероятности возникновения ошибки при работе.

Таблица 31 – Основные параметры лабораторного помещения

Параметры	Значения
Длина А, м	10
Ширина В, м	8
Высота Н, м	4.5
Высота рабочей поверхности $h_{рп}$, м	1
Коэффициент отражения бетонных стен с окнами ρ_c , %	50
Коэффициент отражения свежепобелённого потолка ρ_n , %	70

В лаборатории осуществлялось естественное боковое освещение в дневное время суток через оконные проемы, а также искусственное освещение, выраженное в использовании общего освещения помещения.

Для исследуемого лабораторного помещения необходимо провести расчёт системы общего равномерного освещения. Основные параметры данного помещения представлены в таблице 2.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 8 \cdot 10 = 80 \text{ м}^2 \quad (5.1)$$

Коэффициент естественного освещения (КЕО) при верхнем или комбинированном освещении равен 3%, при боковом -1,2%.

В качестве источника света выбираем газоразрядную люминесцентную лампу дневной цветности ЛД-80. Т.к. данное лабораторное помещение обладает умеренной влажностью и запылением, а также хорошим отражением потолка и стен, то в качестве светильника выбираем открытые двухламповые типа ОД-2-80. В таблице 32 представлены основные характеристики данного светильника.

Таблица 32 - Основные характеристики открытых двухламповых светильников типа ОД-2-80

Количество и мощность	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	КПД, %	Наименьшая допустимая
2x80	1531	266	198	75	3,5

Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3=1,5$. Коэффициент неравномерности люминесцентных ламп $Z=1.1$. Принимаем $\lambda= 1,4$. Высоту светильников h_c (свес) принимаем равной 0,5 м.

Высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_{рп} - h_c = 4,5 - 1 - 0,5 = 3 \quad (5.2)$$

Расстояние между соседними рядами:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 3 = 4,2 \text{ м} \quad (5.3)$$

расчёт количества света проводил по рис.1

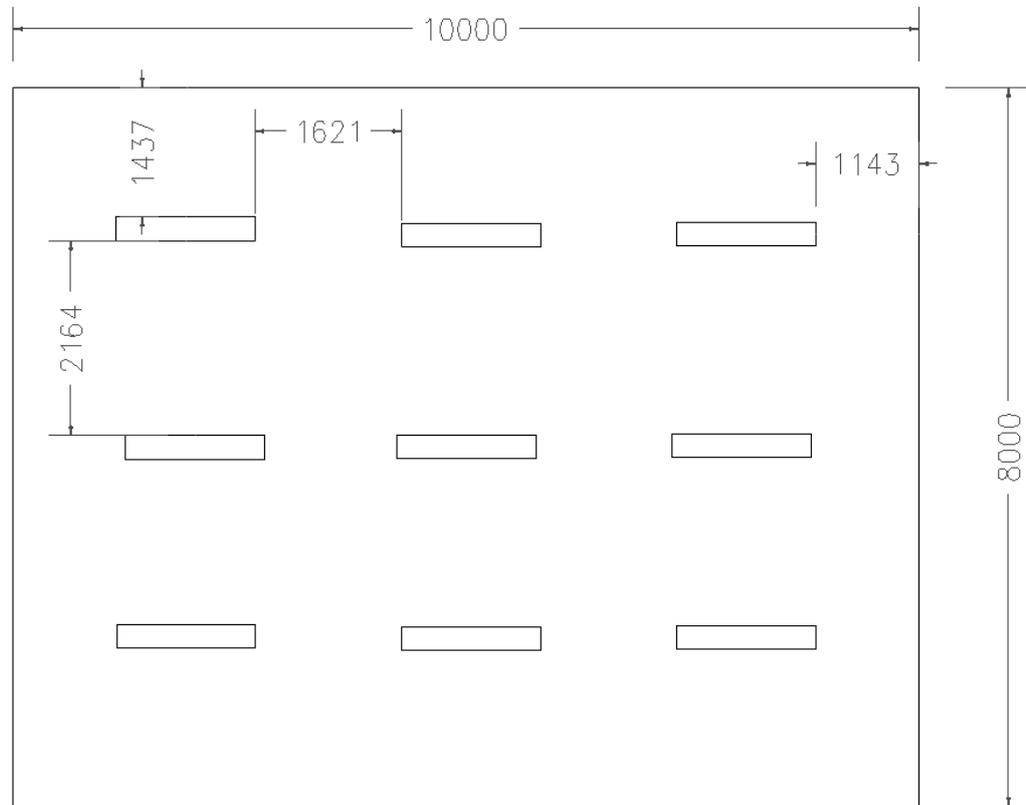


Рисунок 32 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{4,2}{3} = 1,4 \text{ м} \quad (5.4)$$

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = \frac{B-l}{L} + 1 = \frac{8-1,4}{4,2} + 1 = 2,57 \approx 3 \quad (5.5)$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = \frac{A-l}{L} = \frac{10-1,4}{4,2} = 2,38 \approx 3 \quad (5.6)$$

Общее число светильников:

$$N = 2 \cdot N_b \cdot N_a = 2 \cdot 3 \cdot 3 = 18 \quad (5.7)$$

Индекс помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A+B)} = \frac{10 \cdot 8}{3 \cdot (10+8)} = 1.48 \quad (5.8)$$

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,6$

Световой поток группы люминесцентных ламп:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 80 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{18 \cdot 0.6} = 3666.7 \text{ лм} \quad (5.9)$$

Проверка выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лб}} - \Phi}{\Phi_{\text{лб}}} \cdot 100\% \leq 20 \quad (5.10)$$

$$\frac{4250 - 3666.7}{4250} = 13.72\% \leq 20\%$$

Необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона.

Монотонность труда

Процесс работы за компьютером и технической документацией подразумевает под собой множество выполняемых трудовых операций, требующих высокой концентрации внимания. Вследствие этого у работника могут проявиться симптомы зрительной усталости, проявляющихся в покраснении глаз, трудности в фокусировке, тяжести век и надбровий. Последствиями при монотонности труда могут стать принятие технически неверных решений, которые могут привести к неисправности изготавливаемых устройств, повышение риска травматизма и аварийности при производстве.

Чтобы избежать таких последствий, необходимо применять меры по уменьшению влияния монотонности работы на человека:

Осуществлять перерыва работы каждые 2 часа

Установление оптимальной продолжительности труда

Чередование трудовой деятельности

Повышение заинтересованности работника в рабочем задании

Для снятия частичного утомления проводить физкультурную зарядку с разного рода упражнениями

Повышенный уровень шума

На рабочем месте шум возникает при работе ламп импульсного нагрева, вентиляции персонального компьютера и при воздействии внешних факторов.

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, вызывает психические и физиологические нарушения, снижение слуха, работоспособности, создают предпосылки для общих и профессиональных заболеваний и производственного травматизма, а также происходит ослабление памяти, внимания, нарушение артериального давления и ритма сердца.

Уровни шума не должны превышать значений установленных в ГОСТ 12.1.003 – 2014, и их проверка должна проводиться не реже двух раз в год.

Основной характеристикой шума является предельно допустимый уровень (ПДУ) шума. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) звука – 89 дБА. [5] В лаборатории шумы, превышающие уровень 60 дБА. [6]

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты (СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;

изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов);

применение средств, изготовленных из стекловаты, пенополиэтилена, стеклохолста, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты: применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

Отклонение показателей микроклимата

Под микроклиматом производственной среды, согласно ГОСТ 12.1.005 – 88, понимают сочетание температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха и интенсивности теплового излучения. Перечисленные параметры оказывают огромное влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье, а также на надёжность работы средств вычислительной техники.

В соответствии с ГОСТ 12.1.005 – 88 установлены нормы – оптимальные значения температуры, влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне с учётом периода года (см. таблицу 33).

Таблица 33 – Оптимальные показатели микроклимата

Периоды года	Температура, °С	Относитель- ная влажность, %	Скорость воздуха, м/с
Холодный	19-23	40 – 60	0,1
Тёплый	19-23	40 – 60	<0,2

При несоответствии параметров нормам необходимо использовать:

- 1) для регулирования температуры – кондиционеры и обогреватели;
- 2) для регулирования влажности воздуха – увлажнители воздуха;
- 3) для регулирования скорости движения воздуха – следить за вентиляцией лаборатории.

5.1.2 Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по их устранению

Поражение электрическим током

При сборке, настройке, подключении и дальнейшей эксплуатации разрабатываемого устройства возможно поражение электрическим током, что является опасным фактором. Для минимизации опасности удара электрическим током разработан ряд требований безопасности к электротехническим приборам,

установленный ГОСТ 12.2.007.0-75. Данный документ устанавливает требования по изоляции, защитного заземления, органов управления, блокировки, оболочки, зажимов и выводных устройств, экранов и прочих средств защиты от опасного и вредного влияния электромагнитных полей, теплового и излучения, предупредительных знаков, надписей, сигнализаций.

Также, для минимизации риска, следует соблюдать технику безопасности при работе с электроприборами, использовать перчатки диэлектрические, коврик диэлектрический, обязательно использовать заземление и зануление проектируемого решения.

ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ устанавливает предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, предназначенные для проектирования способов и средств защиты людей, при взаимодействии их с электроустановками производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц.

Предельно допустимые значения напряжений и токов при прикосновении для производственных электроустановок в неаварийном режиме и в аварийном режиме представлены в таблицах 34 соответственно.

Устанавливает предельно допустимые уровни (ПДУ) напряжений и токов ГОСТ 12.1.038 – 82. Мероприятия по защите от поражения электрическим током – защитное заземление. Принцип действия защитного заземления: человек должен стоять внутри контура заземления и при попадании фазного напряжения на заземленный корпус прибора, под фазным напряжением окажется как корпус прибора, так и участок земли, на которой стоит человек. При прикосновении

человека с прибором между его рукой и ногами не будет возникать разницы потенциалов, и ток через человека не потечет. Данное помещение относится к помещениям без повышенной опасности.

Таблица 34 – Предельно допустимые значения напряжений и токов при прикосновении для электроустановок в неаварийном режиме

Род тока		U, В						I, mA					
		не более											
Переменный, 50 Гц		2,0						0,3					
Переменный, 400 Гц		3,0						0,4					
Постоянный		8,0						1,0					
Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, с											
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св. 1,0
Переменный, 50 Гц	U, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	I, mA	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Переменный, 400 Гц	U, В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	I, mA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
Выпрямленный двухполупериодный	U ампл, В	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	-
	I ампл, mA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 34

Выпрям- ленный однополу- периодный	U ампл , В	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	-
	I ампл , мА	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Небольшие токи вызывают лишь неприятные ощущения. При токах, больших 10 – 15 мА, человек неспособен самостоятельно освободиться от токоведущих частей и действие тока становится длительным (неотпускающий ток). При длительном воздействии токов величиной несколько десятков миллиампер и времени действия 15 – 20 секунд может наступить паралич дыхания и смерть. Токи величиной 50 – 80 мА приводят к фибрилляции сердца, которая заключается в беспорядочном сокращении и расслаблении мышечных волокон сердца, в результате чего прекращается кровообращение и сердце останавливается.

Как при параличе дыхания, так и при параличе сердца функции органов самостоятельно не восстанавливаются, в этом случае необходимо оказание первой помощи (искусственное дыхание и массаж сердца). Кратковременное действие больших токов не вызывает ни паралича дыхания, ни фибрилляции сердца. Сердечная мышца при этом резко сокращается и остается в таком состоянии до отключения тока, после чего продолжает работать.

Мероприятия, проводимые для устранения факторов поражения электрическим током:

а) все лица, приступающие к работе с электрооборудованием, проходят инструктаж на рабочем месте, допуск к самостоятельной работе разрешается лишь после проверки знаний техники безопасности;

б) осуществляется постоянный контроль качества и исправности защитных приспособлений и заземлении;

в) эксплуатация электроустановок предусматривает введение необходимой технической документации; обеспечивается недоступность к токоведущим частям, находящимся под напряжением; корпуса приборов и электроустановок заземляются;

Все перечисленные мероприятия выполнены, лаборатория относится к помещениям без повышенной опасности поражения электрическим током.

На рабочем месте все приборы имеют защитное заземление с сопротивлением не более 4 Ом (ГОСТ 12.1.030-81). Все сотрудники должны пройти инструктаж по электробезопасности.

Пожарная безопасность

При разработке и эксплуатации возможно возникновение такой чрезвычайной ситуации техногенного характера, как пожар вследствие короткого замыкания. Согласно ГОСТ 12.1.033-81 ССБТ, пожар - неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб. Пожары представляют чрезмерную опасность, они могут причинить огромный материальный ущерб, а также вред здоровью человека. Данное обстоятельство может быть вызвано рядом факторов: износ компонентов и материалов, из которых состоит прибор, некорректное обслуживание и установка, пренебрежение правилами безопасности, халатность.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности работающих и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла (научная разработка, проектирование, строительство и эксплуатация) ГОСТ 12.1.004-91.

Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно - технические мероприятия.

Для предупреждения возникновения чрезвычайной ситуации необходимо проводить инструктаж по работе с электрооборудованием с обслуживающим персоналом, производить установку прибора только в допустимом для его работы месте, проводить техническое обслуживание прибора не реже чем раз в месяц, иметь быстрый доступ к системам пожаротушения.

В случае внезапного возгорания ни в коем случае нельзя терять самообладание и паниковать: требуется быстро и трезво оценить обстановку. Не допускается тушение пожара водой. При возгорании необходимо обесточить лабораторию или отключить прибор, вынув шнур из розетки, не подвергая свою жизнь опасности. Если горение только началось, небольшой очаг горения можно попытаться засыпать песком, землей (например, из цветочного горшка). Фактически алгоритм действий при пожаре может быть следующим:

- 1) Отключить электропитание лаборатории, если это невозможно – электропитание оборудования и прилегающих к нему объектов.
- 2) Организовать эвакуацию людей из помещения.
- 3) Сообщить о произошедшем в пожарную охрану.

4) Оценить уровень развития пожара и способность остановить его средствами первичного пожаротушения.

5) Если это возможно, использовать первичные средства пожаротушения для ликвидации загорания на начальной стадии.

Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной, порошковый, закачиваемый огнетушитель ОП-3. В

общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м.

Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для тушения пожара в рассматриваемой лаборатории следует использовать следующие виды огнетушителей:

- Углекислотные (ОУ-1, ОУ-2, ОУ-3, или ОУ-4, ОУ-5, ОУ-6), предназначенные для тушения загораний различных горючих материалов и горючих жидкостей, а также электроустановок находящихся под напряжением до 1 (3)0008 (только после отключения питания электроустановок);
- Хладоновые (ОАХ, ОХ-3, СОТ-SM), предназначенные для тушения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, твердых веществ,

электроустановок под напряжением и различных материалов, кроме щелочных металлов и кислородсодержащих веществ;

- Порошковые (П-2АП, Феникс АВС-7, ПФ, ПСБ-3), предназначенные для тушения электрооборудования под напряжением не выше 1000 В.
- Для обеспечения безопасности при пожаре должна включаться предупредительная сигнализация. При автоматической пожарной сигнализации используются датчики, реагирующие на появление открытого огня, дыма и повышение температуры.

План эвакуации приведен на рисунке 33.

План помещений с нанесением путей эвакуации людей Северное крыло 4 учебного корпуса, 1-ый этаж

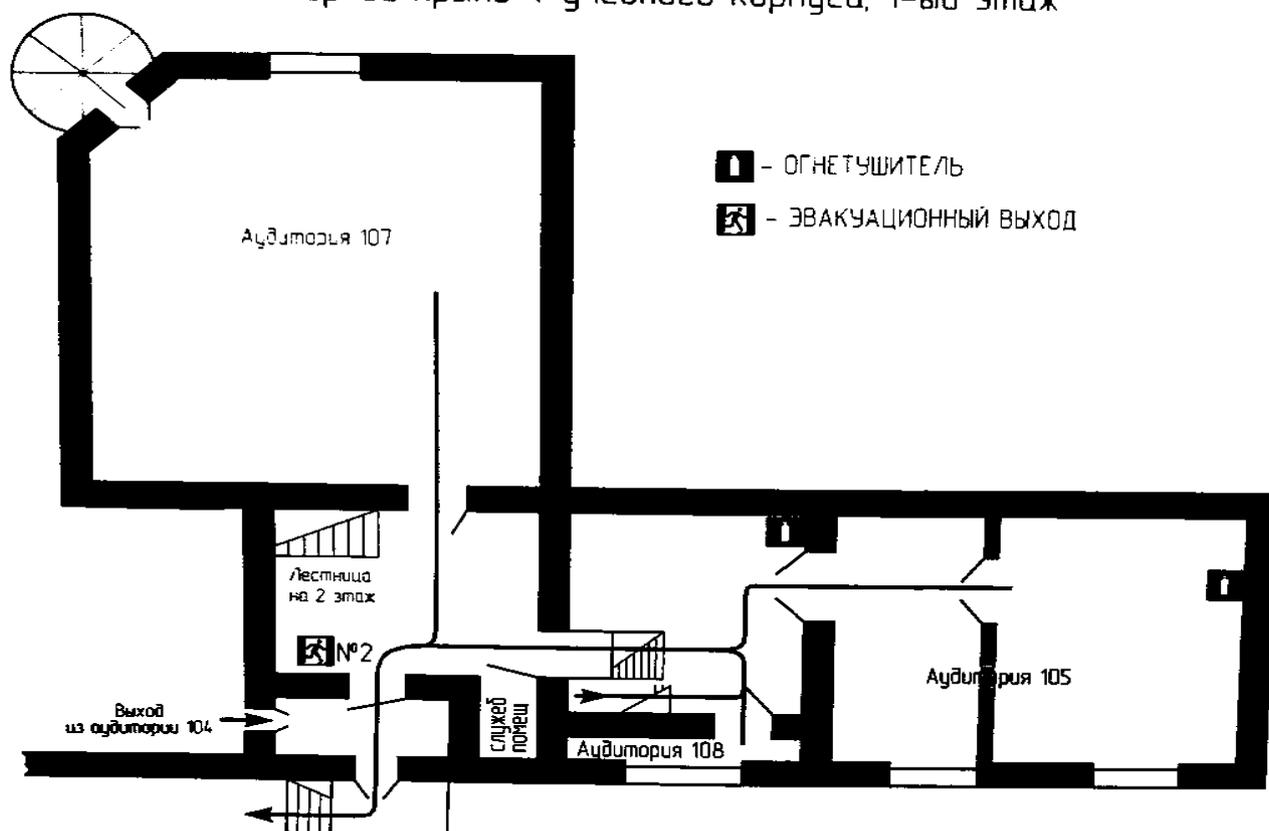


Рисунок 33 – План эвакуации

5.2 Экологическая безопасность

Мы использовали люминесцентные лампы в лаборатории. Все люминесцентные лампы содержат ртуть (в дозах от 1 до 70 мг), ядовитое вещество 1-го класса опасности. Эта доза может причинить вред здоровью, если лампа разбилась, и если постоянно подвергаться пагубному воздействию паров ртути, то они будут накапливаться в организме человека, нанося вред здоровью.

Правила ликвидации аварийных ситуаций при обращении с ртутьсодержащими отходами:

В случае сбоя ртутьсодержащей лампы (ламп) физическим лицом в бытовых условиях, либо в случае сложного ртутного загрязнения в организации, загрязненное помещение должно быть людьми покинуто и, одновременно, должен быть организован вызов соответствующих подразделений (специализированных организаций) через Министерство Российской Федерации по делам гражданской Оборона, чрезвычайная ситуация и последствия последствий стихийных бедствий.

После эвакуации людей должны быть приняты достаточные меры к исключению доступа на загрязненный участок посторонних лиц, а также возможные меры по локализации границ распространения ртути и её паров. В случае единичного разрушения ртутьсодержащих ламп в организации устранение ртутного загрязнения может быть выполнено персоналом самостоятельно с помощью созданного для этих целей демеркуризационного

комплекта (состав демеркуризационного комплекта утверждается Правительством Российской Федерации по представлению Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий совместно с Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору и Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека).

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды. К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке;

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- Побеспокоится заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.

- Узнать, насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы.

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

Стадия утилизации, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

1. Использовать услуги профессиональной компании по рециклингу, которая может приехать и забрать все приборы, которые планируется сдать в переработку.

2. Можно обратиться в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.3.1 Чрезвычайная ситуация природного характера

Лаборатория, в которой проводится научно-исследовательская работа, находится в г. Томск с резко-континентальным циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют за исключением сильных морозов.

Достижение критически низких температур и огромного количества осадков снега приведет к авариям систем теплоснабжения, водоснабжения, электрических сетей. В случае перемерзания труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели, запас питьевой воды, а также электрогенераторов, в случае аварии электрических сетей. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Во время сильных снегопадов, которые приводят к затруднениям или полной остановке общественного транспорта, необходимо иметь личный транспорт или транспорт от организации.

5.3.2 Чрезвычайная ситуация техногенного характера

Может возникнуть такая чрезвычайная ситуация, как несанкционированное проникновение постороннего человека на рабочее место. Мотивы нарушителя могут быть различны. Например, случайное проникновение на объект, либо подготовленное проникновение с целью захвата материальных ценностей или получения информации. Для предупреждения о нахождении в помещении постороннего человека предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

К общей части нормативно-правовых основ охраны труда относится: Трудовой кодекс Российской Федерации.

Контроль условий труда на предприятиях заключается в проверке состояния производственных условий для работающих, выявлении отклонений от требований безопасности, законодательства о труде, стандартов, правил и норм охраны труда, постановлений, директивных документов, а также проверке

выполнения службами, подразделениями и отдельными группами своих обязанностей в области охраны труда. Этот контроль осуществляют должностные лица и специалисты, утвержденные приказом по административному подразделению.

Организация рабочего места заключается в обеспечении условий, исключающих утомляемость и профессиональные заболевания и выборе необходимой технической базы для обеспечения этих условий.

Помещение, в котором расположено рабочее место должно иметь большие и чистые окна. Большие окна дают необходимую освещенность на рабочем месте с естественным дневным светом.

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на ЭВМ и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности.

Количество и длительность регламентированных перерывов, их распределение в течение рабочей смены устанавливается в зависимости от категории работ на ПК и продолжительности рабочей смены.

Заключение

В ходе проделанной работы был осуществлен подбор электронных элементов с точки зрения массогабаритных характеристик. После выбора соответствующих компонентов было выполнено проектирование принципиальной схемы устройства.

В процессе проектирования системы автокалибровки рабочего стола 3D-принтера, был предложен вариант технического решения Z-зонда, внесены необходимые изменения в программное обеспечение “MARLIN”, модернизированное ПО было загружено в микроконтроллер и успешно использовано для управления работой механической части 3D-принтера.

Также, была спроектирован экструдер с автоматической калибровкой в САПР DS Solidworks.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, касающийся реализации разработки на рынке товаров, выбора сегмента рынка для реализации разработки.

Анализ потенциальных потребителей результатов разработки показал, что наиболее оптимальная сфера реализации представлена в сфере бытового потребления и производственной отрасли как в России, так и за рубежом.

На основании результатов сравнения конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения продемонстрировал обоснованность выбора описанной кинематики 5-ти координатного 3D-принтера во многом из-за наличия ряда преимуществ перед другими.

Величина суммы плановой себестоимости НИР оказалась достаточно велика. С целью уменьшения суммы плановой себестоимости необходимо, если это возможно, произвести корректировку рабочего времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Song X. Development of a Low-Cost Parallel Kinematic Machine for Multidirectional Additive Manufacturing / X. Song, Y. Pan, Y. Chen // Journal of Manufacturing Science & Engineering. -2015. - Vol. 137, №6. -P. 005-021
2. Design and analysis of a 3-RPRS modular parallel manipulator for rapid deployment / G. Yang, I. Chen, W. Chen et al. // IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. -2003. - Vol. 2, №2. -P. 1250-1255
3. RevoMaker: Enabling multi-directional and functionally-embedded 3d printing using a rotational cuboidal platform / W. Gao, Y. Zhang, D. C. Nazzetta, K. Ramani et al. // Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. -2015, -P. 437-446.
4. Keating S. Compound fabrication: A multi-functional robotic platform for digital design and fabrication. / S. Keating, N. Oxman // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. -2013. - Vol. 29, №6. -P. 439-448
5. 3D-принтеры с разной кинематикой: сравнение, плюсы и минусы [Электронный ресурс] / - Электрон. URL: <https://top3dshop.ru/blog/types-of-fdm-3d-printer.html>, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ. Дата обращения: 01.05.2022 г.
6. Perceptual models of preference in 3d printing direction. / X. Zhang, X. Le, A. Panotopoulou et al. // ACM Trans. Graph. -2015. - Vol. 34, №6. -P. 215:1-215:12
7. Asada, H.H. Kinematic and static characterization of wrist joints and their optimal design. / H.H. Asada, J.A. Granito // IEEE International Conference on Robotics and Automation. -1985. - Vol.2, №3. -P. 244-250

8. Approximate pyramidal shape decomposition. / R. Hu, H. Li, D. Cohen et al. // ACM Trans. Graph. -2014. - Vol.33, №6. -P. 213:1-213:12
9. Ng, C.C. Design and development of 3–DOF modular micro parallel kinematic manipulator. / C.C. Ng, S.K. Ong, A.Y. Nee // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. -2006. - Vol.31, №2. -P. 188-200
10. Рыбак, Л. А. Эффективные методы решения задач кинематики и динамики робота-станка параллельной структуры / Рыбак Л. А., Ержуков В. В., Чичварин А. В. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 148 с
11. Luo L. Chopper: Partitioning models into 3d-printable parts. / L. Luo, I. Baran, S. Rusinkiewicz et al. // ACM Trans. Graph. -2012. - Vol.31, №6. -P129:1-129:9
12. Rus D. Design, fabrication and control of soft robots. / D. Rus, M. T. Tolley // Nature. -2015. - Vol.521, №1. - 467-475
13. Выравнивание стола 3D-принтера: пошаговое руководство [Электронный ресурс] / - Электрон. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/vyravnivanie-stola-3d-printera/>, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ. Дата обращения: 01.05.2022 г.
14. Автокалибровка стола в 3D-принтерах [Электронный ресурс] / - Электрон. URL:<https://top3dshop.ru/blog/3d-printer-auto-bed-leveling.html#princip-avtokalibrovki-stola-3d-printera>, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ. Дата обращения: 01.05.2022 г.

15. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ /Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев. – Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 75 с.

16. ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. - М.: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2003. –8 с.

17. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2001.

18. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. –М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

19. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». –М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

20. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. Общие требования и нормативные виды защиты. – М.: Стандартиформ, 2010. – 27 с.

21. ГОСТ 12.4.154–85. ССБТ. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. – М: Стандартиформ, 1986. –

12 с

22. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – М: Стандартинформ, 2006. – 68 с
23. ГОСТ 12.4.123–83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования. – М: Стандартинформ, 1984. – 8 с
24. ГОСТ 12.1.030–81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. – М: Стандартинформ, 1982. – 10 с
25. ГОСТ 12.1.004–91. Пожарная безопасность. Общие требования. – М: Стандартинформ, 1992. – 68 с
26. ГОСТ 12.2.037–78. Техника пожарная. Требования безопасности. – М: Стандартинформ, 1980. – 10 с
27. ГОСТ 30775–2001. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов. – М: Стандартинформ, 2002. – 42 с
28. Altan, A. (2018). The Algorithm Development and Implementation for 3D Printers based on Adaptive PID Controller. / A. Altan, R. Hacıoğlu // Journal of Polytechnic, -2012. - Vol.21, №1. -P559-564
29. Kinematic Error Modeling of Delta 3D Printer. / A.V. Kochetkov, T.N. Ivanova, L.V. Seliverstova et al. // ACM Trans. Graph. -2021. - Vol. 1037, №6. -P. 77 – 83
30. Siddique T.H. Low-Cost 3D Printing for Rapid Prototyping and its Application// Proceedings Second International Conference on Latest trends in Electrical Engineering and Computing Technologies. - 2019. -P. 1-5.

Приложение А

(обязательное)

1. Literature review

2. Modernization of existing 3D printer bed calibration solutions

3. Financial management, resource efficiency and resource saving

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM01	Жэнь Хао		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Симанкин Ф.А.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ДоцентОИЯ	Кобзева Н.А.	к.п.н.		

1. Literature review

1.1 Types of kinematics of 3D printers

The 3D printer consists of [1]:

A body that plays the role of a skeleton for mounting structural elements;

Guides that carry out relatively free movement of the print head in a given space;

A print head (extruder), namely, a group of parts that feeds, heats and extrudes (extrusion) the consumable material through the nozzle onto the work surface;

Stepper motors - structural elements of a 3D printer responsible for the uniform movement of the print head in a given space;

Desktop - the construction platform of a 3D printer, on which the direct creation of a three-dimensional object is carried out;

Electronics - a set of elements responsible for managing and coordinating the actions of the printer during the printing process.

Each 3D printer has its own kinematic scheme, according to which the mechanical parts of the device are set in motion: platforms and extruders. There are four types of 3D printer: Cartesian, delta, and robotic arm.

a) Cartesian 3D printers

In the FFF / FDM 3D printer market, the most common devices are those with Cartesian kinematics. [2] Based on the Cartesian coordinate system, this technology works on the basis of three axes - X, Y, Z. The movement of the mechanical parts of the device is carried out along one or several of them, i.e., the coordinates specified

along the axes implement the scheme of movement and position of the printing heads relative to the platform.

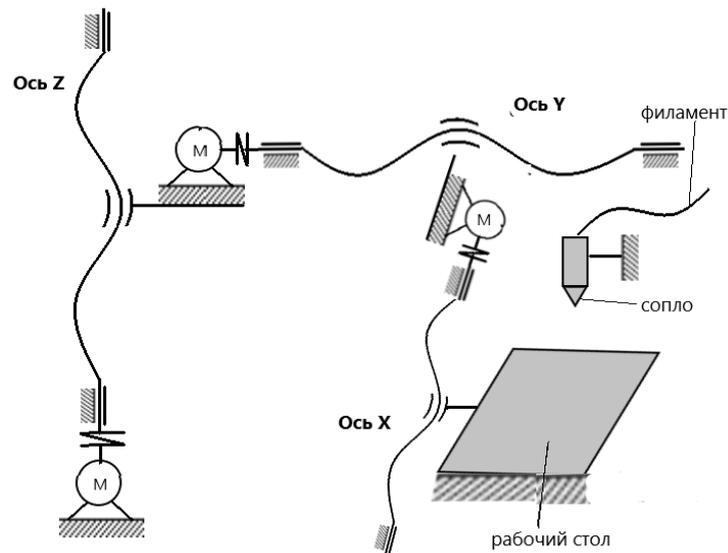


Fig.1 Layout diagram of Cartesian 3D printers

b) Delta printers (3D printers with parallel kinematics)

Delta printers both externally and in the way they implement mechanics differ from Cartesian ones. The main difference lies in the way the extruder moves relative to the desktop [4].

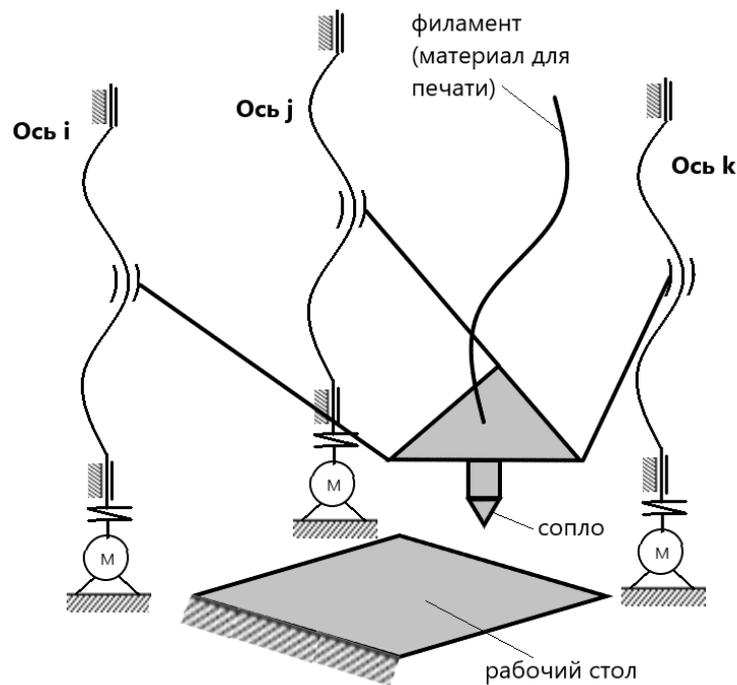


Fig.2 Layout diagram of delta printers

c) 3D printers with robotic arms

They are a design with a mechanical programmable manipulator-capture with a replaceable extruder. If we are talking about large industrial specimens (and there are also more compact ones), then, in addition to the functions of a manipulator and a 3D printer, such a robot can perform welding, milling, painting and other operations.

SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm) - kinematics based on the movement of the working block in a horizontal plane due to rotation in the joints of the lever mechanism.

SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm) is a kinematics based on the movement of the working unit in a horizontal plane due to rotation in the joints of the lever mechanism.

The devices built on this scheme are distinguished by very high accuracy and repeatability, much higher than that of traditional robotic manipulators, low noise and vibration levels, and compactness. If we talk about Cartesian and SCARA robots of comparable size and mass, then SCARA is usually not only more accurate, but also faster.

At the same time, such devices are expensive, have limited rigidity along the XY axes, a smaller area of work and freedom of movement.

A compact desktop robot that combines the functions of a 3D printer and a manipulator. Actions are programmed through the software installed on the computer or a mobile application. It has interchangeable heads for printing, engraving, soldering and assembly.

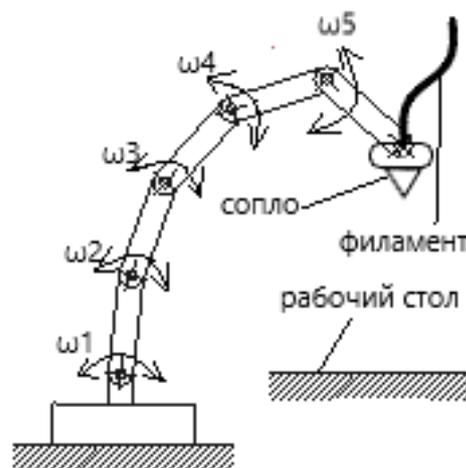


Fig. 3 Layout diagram of a 3D printer with nozzle movement by means of a robotic arm

d) Robot machine with parallel kinematics

The dream of all machine tool manufacturers is to combine the high flexibility and large working area of robots with the precision and rigidity of traditional machine tools. Over the past 20 years, the main attention has been paid to the development of machine tools with parallel kinematics, the so-called PKM. This technology means that X, Y and Z movements are performed by three or more parallel axes, which give excellent rigidity and precision while maintaining optimum flexibility and work coverage (see Figure 7). The first car to actually implement this technology was the Tricept. Designed by Carl-Erik Neumann, it already performed real tasks in production in 1994. In 2004, Exechon Technology was developed, which took PKM technology to the next level, introducing a series of hexapods and tripods made in the form of turning, milling,

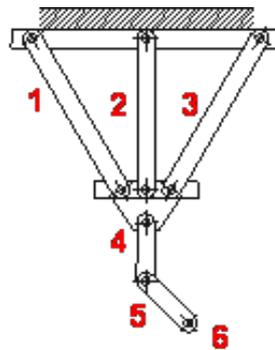


Fig.4 Robot machine with parallel kinematics

The following four typical 3D printing structures will be compared and considered from different perspectives [8] as shown in Table 2.1.

Table 2.1. 3D printing structure comparison

Type of kinematics	Management complexity	Nozzle motion stability	Molding precision	Molding size	Print speed

Cartesian 3D printers	simple	satisfactory	satisfactory	small	satisfactory
3D printers with robotic arms	difficult	satisfactory	satisfactory	big	satisfactory
Robot machine with parallel kinematics	difficult	good	good	big	good
Delta Printers (Parallel Kinematic 3D Printer)	simple	good	good	big	good

It can be seen from Table 2.1 that the Delta type design has obvious advantages over the other three designs in terms of stability, shaping accuracy and printing speed, so the Delta type design was finally chosen as the mechanical structure design scheme for this design.

That is, the design of the Delta type was chosen to control the spatial position of the printer's print head, since it has sufficient flexibility and on its basis it is possible to implement kinematics with the number of degrees of freedom we require.

In traditional 3D printing systems, commonly used FDM 3D printers, the work platform is either stationary or moves in the XY plane. The essence of the 5-axis system is the ability to change the angle of the axis of the print head nozzle, which means almost unlimited freedom in changing the orientation in the space of the printed model.

1.2 Structure that controls the spatial position of the nozzle

The mechanical structure is one of the most important factors affecting the molding accuracy and quality of 3D printers. The advantage of delta-type 3D printers is the parallel kinematic structure. To ensure good trajectory and accuracy of the nozzle, the parallel movement mechanism must limit the freedom of rotation of the nozzle in all directions so that the nozzle can work in a horizontal plane. Based on the above requirements, there are two constructive schemes of its kinematic mechanism, one is a parallel manipulator for industrial use, the other is a rostock kinematics [9].

Option 1: A parallel manipulator for industrial applications consists of two platforms: a fixed upper base (1) and a small movable platform (8) connected by three levers. Each lever consists of two parts: the upper arm (4) is rigidly connected to the engine (3) located on the upper base, and the lower one is a parallelogram (5), in the corners of which so-called. Universal joints (6, 7) that allow the angles to change. Each parallelogram is connected to the upper arm by a hinge (16) in such a way that its upper side always remains perpendicular to its arm and parallel to the plane of the upper base. Due to this, the mobile platform of the robot, attached to the lower sides of the parallelograms, will also always be parallel to the upper base.

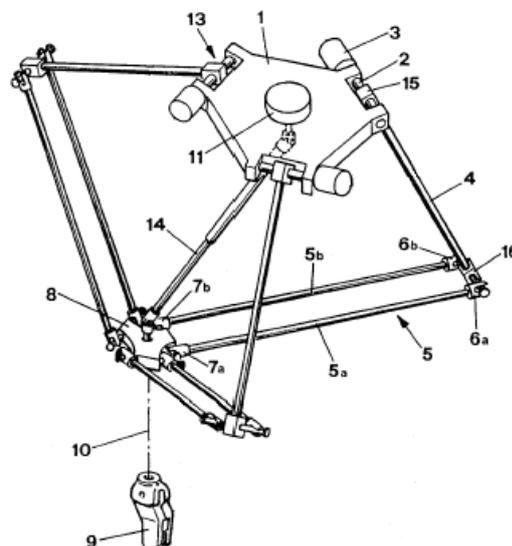


Fig.9 Parallel manipulator for industrial applications

In the center of the lower platform (8) is attached the so-called. working body (in English they use the term end effector) of the robot (9). This can be a manipulator, a gripping device, or, for example, an extruder in the case of a 3D printer. Additionally, another motor (11) can be used, which provides rotation of the working body through the bar (14).

Option 2: The rostock movement mechanism is shown in Figure 10. It can be seen from the figure that the mechanism consists of three parallelogram closed loops, and the column and the movable platform are connected by a parallelogram closed loop [14].

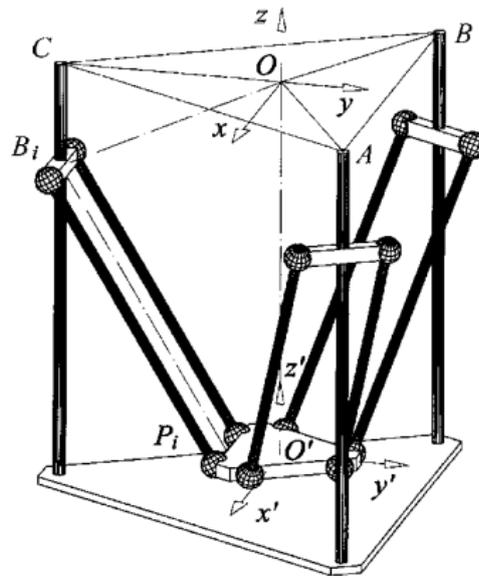


Fig.10 Rostock kinematics

Table 3. Comparison options

Option	Nozzlemotionstability	Structure	Print Accuracy
one	satisfactory	difficult	satisfactory
2	good	simple	good

As can be seen from the above table, taking into account all aspects of the two schemes, the second option is chosen for this design.

2. Modernization of existing 3D printer bed calibration solutions

In order to design the printer with a higher level of automation and greater accuracy, the use of a z-probe auto-calibration system was chosen.

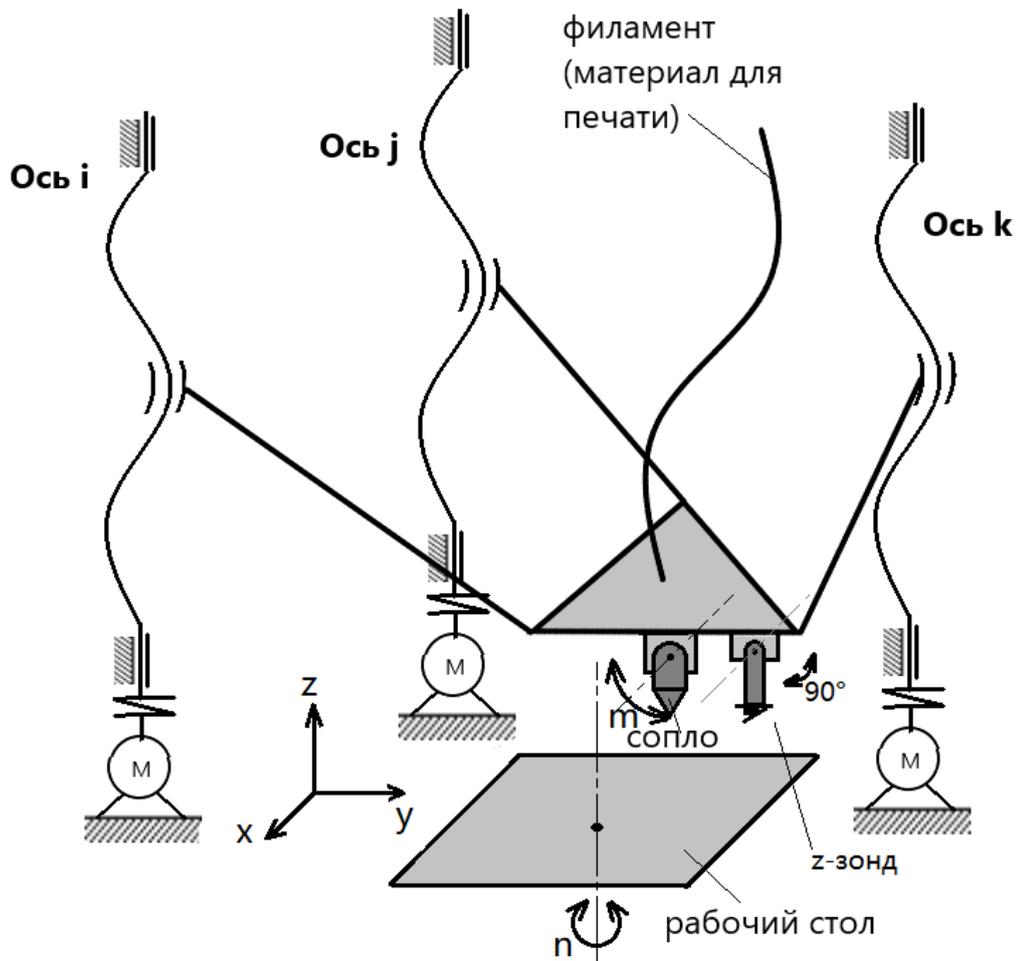


Fig.5 Layout scheme of the auto-calibration table of a 3d printer with a z-probe

To prevent the z-probe from colliding with the model during printing, the z-probe operating mode has been optimized as follows:

- During auto-calibration, the servomotor controls the rotation of the z-probe 90 degrees clockwise so that the direction of the z-probe is perpendicular to the worktable.
- Before printing the model, the servomotor controls the rotation of the z-probe 90 degrees counter-clockwise so that the direction of the z-probe is parallel to the worktable.

The layout diagram of the auto-calibration table with a z-probe for a five-axis 3d printer is shown in Figure 8.

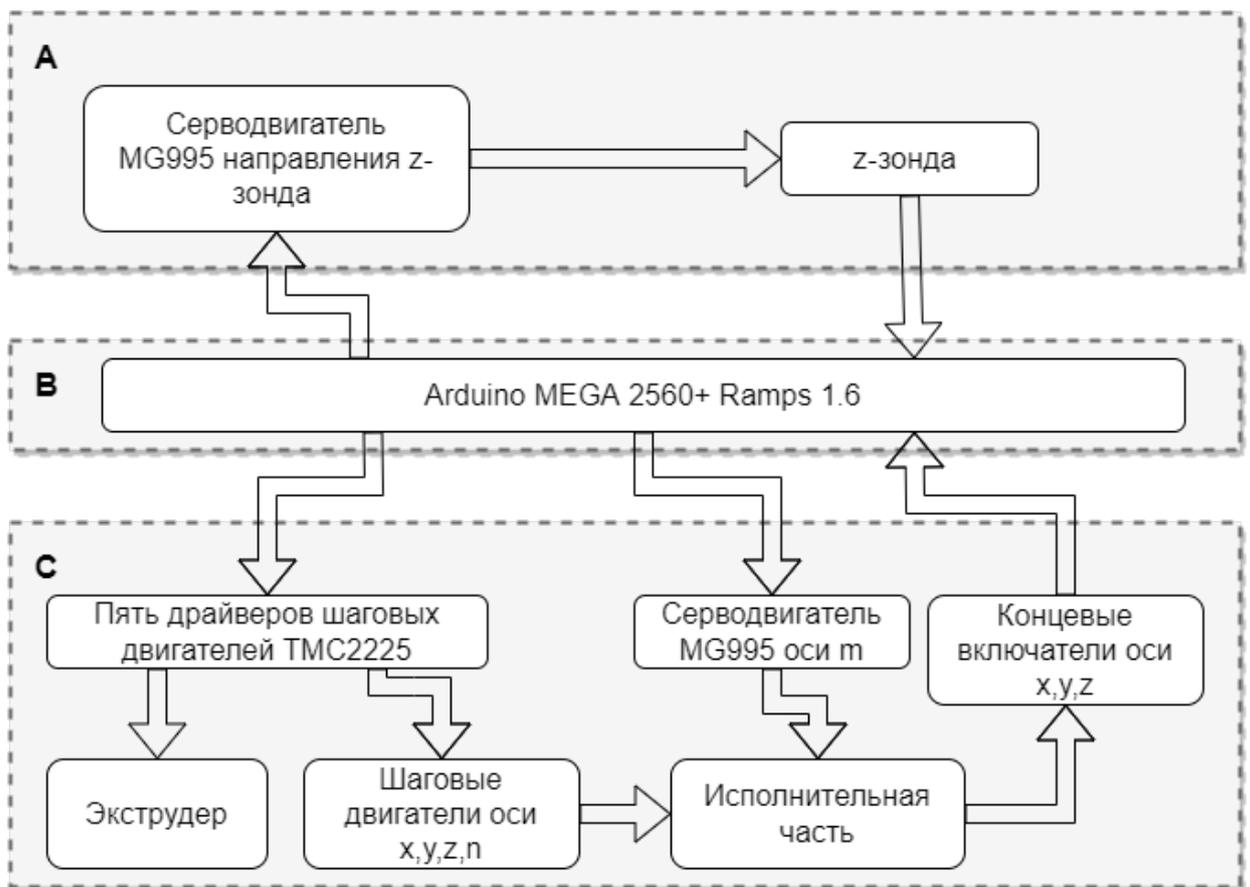


Fig.6 The composition of the system of a 5-coordinate 3d printer with auto-calibration of the table

The composition of the auto-calibration system for the table of a 5-coordinate 3d printer is shown in Figure 18: A- Auto-calibration module; B- Main control module; C- Motion control module

3. FINANCIAL MANAGEMENT, RESOURCE EFFICIENCY AND RESOURCE SAVING

The kinematics of traditional 3D printers are mainly three-coordinate, require too much support structure for printing, have uneven printing surface, and post-processing is complicated. However, 5D printing adjusts the angle of the printed part by adding rotating parts to match the direction of gravity, so there is no need to add additional support parts to ensure the formation of printed parts, saving time and consumables. Moreover, this technology allows you to increase the speed of printing, thereby reducing the operating time and, consequently, the cost of the printed product. The development of this system meets modern resource efficiency requirements.

3.1 Pre-design analysis

3.1.1 Potential users of research results

As a result of the analysis of potential consumers of the development results, the target market was considered and its segmentation was carried out. The main criteria for segmentation are determined.

Based on the data presented on the market segmentation map for the production and use of a 5-axis 3D printer (Table 6.1), we can conclude that the main consumers are employed in the manufacturing industry and for domestic use.

Table 6.1 - Map of market segmentation

	Viewareas		
	Research industry	Manufacturing industry	domesticuse
Russian			
Foreign			

	Segmentmastered
	Segmentunderdeveloped
	Segment not mastered or information not found

3.1.2 Analysis of competitive technical solutions in terms of resource efficiency and resource saving

Since the market is in constant motion, it is necessary to systematically conduct a detailed analysis of competing developments. Conducting an analysis helps to make adjustments to scientific research in order to successfully confront competitive developments. To conduct this analysis, it is necessary to have all the available information about the developments of competitors, such as:

- Development specifications,
- Development of competitiveness,
- The level of completion of scientific research,
- Market penetrationrate, etc.

It is convenient to analyze competitive technical solutions from the standpoint

of resource efficiency and resource saving using a scorecard. This is necessary to assess the comparative effectiveness of scientific development and determine the direction of its future improvement.

Criteria for comparing and evaluating resource efficiency and resource saving are selected based on the selected objects of comparison, taking into account their technical and economic features of development, creation and operation.

The most competitive developments for a 5-coordinate 3D printer (F) are: 3-coordinate 3D printer (K1), 4-coordinate 3D printer (K2).

Analysis of competitive technical solutions is determined by the formula:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (\text{one})$$

where K is the competitiveness of a scientific development or a competitor;

B_i is the weight of the indicator (in fractions of a unit);

B_i – score of the i-th indicator.

Table 6.2 - Scorecard for comparing selected solutions according to technical and economic criteria for evaluating resource efficiency.

Criteria for evaluation	Criteria weight	Points			Competitiveness		
		B_{ϕ}	B_{K1}	B_{K2}	K_{ϕ}	K_{K1}	K_{K2}
one	2	3	4	5	6	7	8
Technical criteria for evaluating resource efficiency							
1. Increase user productivity	0.20	10	7	8	2.00	1.40	1.60
2. Ease of operation (meets the requirements of consumers)	0.10	9	8	8	0.90	0.80	0.80
3. Energy saving	0.05	10	6	7	0.50	0.30	0.35
4. Reliability	0.10	8	8	7	0.80	0.80	0.70
5. Model printing accuracy	0.05	8	8	8	0.40	0.40	0.40
Economic criteria for evaluating efficiency							
1. Product competitiveness	0.20	8	7	7	1.60	1.40	1.40
2. Price	0.10	8	10	9	0.80	1.00	0.90
3. Estimated service life	0.05	8	8	7	0.40	0.40	0.35
4. Market penetration rate	0.10	9	8	8	0.90	0.80	0.80
5. Financing of scientific development	0.05	8	8	8	0.40	0.40	0.40
Total	1.00	86	78	77	8.60	7.80	7.70

Table 6.2 shows a scorecard for comparing selected solutions against technical and economic resource efficiency criteria.

Based on the results of the analysis, we can conclude that a 5-coordinate 3D printer at this stage looks like the best option.

Also, a significant part of the market is occupied by 3-coordinate 3D printers, since 3-coordinate 3D printers are the most researched area of development and have a fairly simple design. However, the 5-axis 3D printer adjusts the angle of the printed

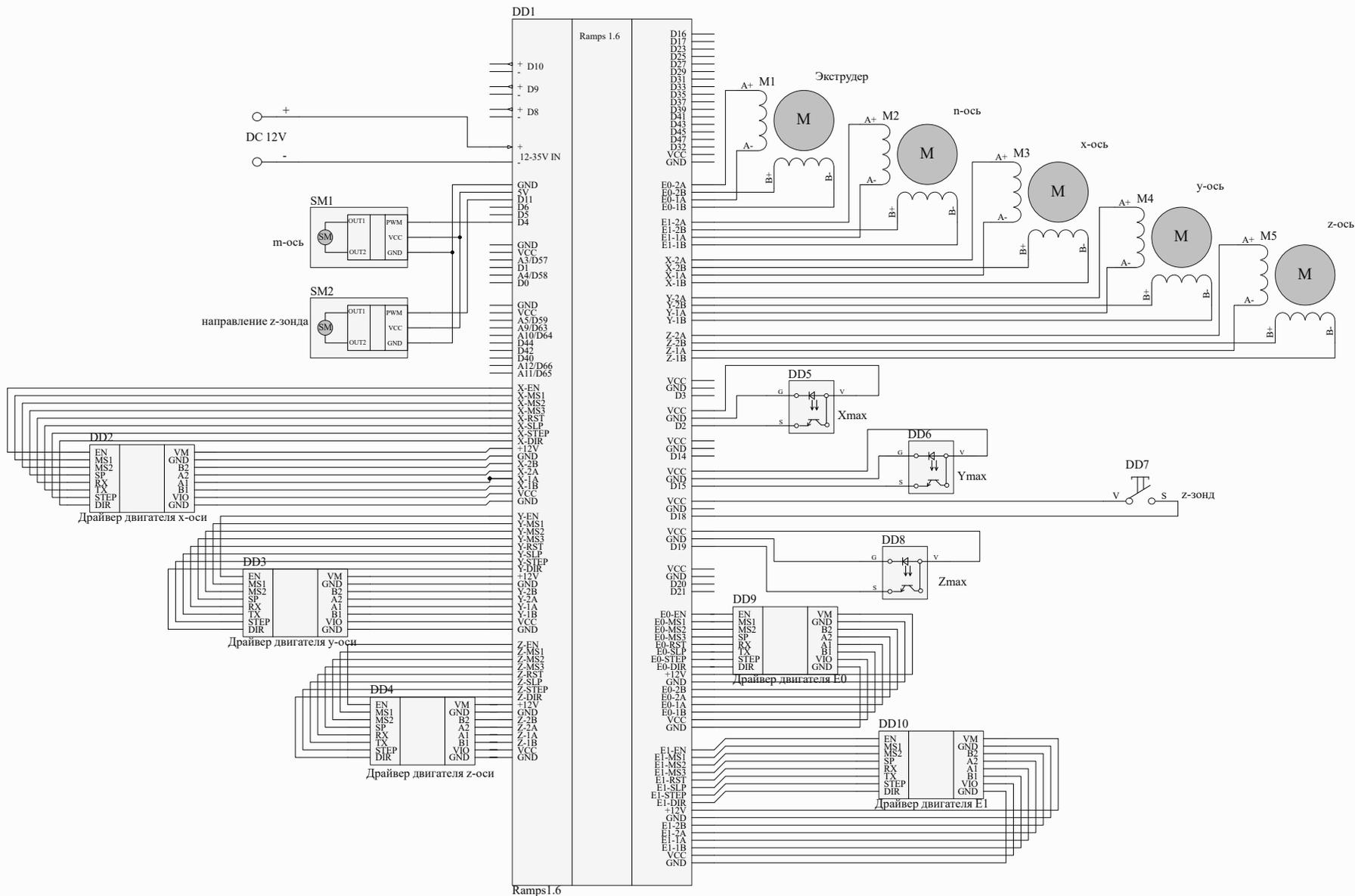
part by adding rotating parts to match it with the direction of gravity, so there is no need to add additional support parts to ensure the formation of printed parts, saving time and consumables.

Thus, the developed project is promising for development, as it has a number of unique properties.

Приложение Б

(Обязательное)

Принципиальная схема



Испол. и дата

Изм. Дубл.

Взам. Изм.

Испол. и дата

Изм. Дубл.

ФЮРА.431100.001.Э3

Изм.	Лист	Докум.	Подп.	Дата	5-координатный 3д принтер с автокалибровкой Схема электрическая принципиальная	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Жэнь Хао				у	-	1:1
Пров.		Симанкин Ф.А.				Лист	Листов	1
						ТПУ ИШНКБ Группа 1АМ01		

Приложение В

(Обязательное)

Спецификация

Приложение Г

(Обязательное)

Код программы

```
#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H_VERSION 010109
#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(RENHAO, FLSUN// Who made the changes.
#define SHOW_BOOTSCREEN
#define STRING_SPLASH_LINE1 SHORT_BUILD_VERSION // will be shown during bootup in
line 1
#define STRING_SPLASH_LINE2 WEBSITE_URL // will be shown during bootup in
line 2
#define SERIAL_PORT 0
/**
 * This setting determines the communication speed of the printer.
 */
#define BAUDRATE 250000
// The following define selects which electronics board you have.
// Please choose the name from boards.h that matches your setup
#ifndef MOTHERBOARD
#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
#endif
// Optional custom name for your RepStrap or other custom machine
// Displayed in the LCD "Ready" message
#define CUSTOM_MACHINE_NAME "Kossel RENHAO"
// This defines the number of extruders
// :[1, 2, 3, 4, 5]
#define EXTRUDERS 1
// Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.0, ...). Used for Volumetric, Filament Width
Sensor, etc.
#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75
// A dual-nozzle that uses a servomotor to raise/lower one of the nozzles
// #define SWITCHING_NOZZLE
#if ENABLED(SWITCHING_NOZZLE)
#define SWITCHING_NOZZLE_SERVO_NR 0
#define SWITCHING_NOZZLE_SERVO_ANGLES { 0, 90 } // Angles for E0, E1
// #define HOTEND_OFFSET_Z { 0.0, 0.0 }
#endif
#define POWER_SUPPLY 0
#if POWER_SUPPLY > 0
// Enable this option to leave the PSU off at startup.
// Power to steppers and heaters will need to be turned on with M80.
```

```

// #define PS_DEFAULT_OFF
// #define AUTO_POWER_CONTROL
#if ENABLED(AUTO_POWER_CONTROL)
  #define AUTO_POWER_FANS           // Turn on PSU if fans need power
  #define AUTO_POWER_E_FANS
  #define AUTO_POWER_CONTROLLERFAN
  #define POWER_TIMEOUT 30
#endif
#endif
#define TEMP_SENSOR_0 5
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_3 0
#define TEMP_SENSOR_4 0
#define TEMP_SENSOR_BED 5
#define TEMP_SENSOR_CHAMBER 0
// Dummy thermistor constant temperature readings, for use with 998 and 999
#define DUMMY_THERMISTOR_998_VALUE 25
#define DUMMY_THERMISTOR_999_VALUE 100
// Use temp sensor 1 as a redundant sensor with sensor 0. If the readings
// from the two sensors differ too much the print will be aborted.
#define MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF 5
// Extruder temperature must be close to target for this long before M109 returns success
#define TEMP_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds)
#define TEMP_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/- temperatures considered "close" to
the target one
#define TEMP_WINDOW 1 // (degC) Window around target to start the residency
timer x degC early.
// Bed temperature must be close to target for this long before M190 returns success
#define TEMP_BED_RESIDENCY_TIME 1 // (seconds)
#define TEMP_BED_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/- temperatures considered
"close" to the target one
#define TEMP_BED_WINDOW 1 // (degC) Window around target to start the
residency timer x degC early.
// The minimal temperature defines the temperature below which the heater will not be enabled It is
used
// to check that the wiring to the thermistor is not broken.
// Otherwise this would lead to the heater being powered on all the time.
#define HEATER_0_MINTEMP 5
#define HEATER_1_MINTEMP 5
#define HEATER_2_MINTEMP 5
#define HEATER_3_MINTEMP 5
#define HEATER_4_MINTEMP 5
#define BED_MINTEMP 5
// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.

```

```

// This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally, but *NOT* from
thermistor short/failure!
// You should use MINTEMP for thermistor short/failure protection.
#define HEATER_0_MAXTEMP 250
#define HEATER_1_MAXTEMP 250
#define HEATER_2_MAXTEMP 250
#define HEATER_3_MAXTEMP 250
#define HEATER_4_MAXTEMP 250
#define BED_MAXTEMP 115
// PID Tuning Guide here: http://reprap.org/wiki/PID\_Tuning
// Comment the following line to disable PID and enable bang-bang.
#define PIDTEMP
#define BANG_MAX 255 // Limits current to nozzle while in bang-bang mode; 255=full
current
#define PID_MAX BANG_MAX // Limits current to nozzle while PID is active (see
PID_FUNCTIONAL_RANGE below); 255=full current
#define PID_K1 0.95 // Smoothing factor within any PID loop
#if ENABLED(PIDTEMP)
  #define PID_AUTOTUNE_MENU // Add PID Autotune to the LCD "Temperature" menu to run
M303 and apply the result.
  #define PID_FUNCTIONAL_RANGE 10 // If the temperature difference between the target
temperature and the actual temperature
  // If you are using a pre-configured hotend then you can use one of the value sets by uncommenting
it
  #define DEFAULT_Kp 24.77
  #define DEFAULT_Ki 1.84
  #define DEFAULT_Kd 83.61
#endif // PIDTEMP
#define MAX_BED_POWER 255 // limits duty cycle to bed; 255=full current
#if ENABLED(PIDTEMPBED)
  #define DEFAULT_bedKp 22.97
  #define DEFAULT_bedKi 3.76
  #define DEFAULT_bedKd 29.2
  // FIND YOUR OWN: "M303 E-1 C8 S90" to run autotune on the bed at 90 degreesC for 8 cycles.
#endif // PIDTEMPBED
// @section extruder
#define PREVENT_COLD_EXTRUSION
#define EXTRUDE_MINTEMP 170
#define PREVENT_LENGTHY_EXTRUDE
#define EXTRUDE_MAXLENGTH 300
#define THERMAL_PROTECTION_HOTENDS // Enable thermal protection for all extruders
#define THERMAL_PROTECTION_BED // Enable thermal protection for the heated bed
// Enable DELTA kinematics and most of the default configuration for Deltas
#define DELTA
#if ENABLED(DELTA)

```

```

#define DELTA_SEGMENTS_PER_SECOND 160
// Convert feedrates to apply to the Effector instead of the Carriages
#define DELTA_FEEDRATE_SCALING
//#define DELTA_CALIBRATION_MENU
#define DELTA_AUTO_CALIBRATION
// NOTE NB all values for DELTA_* values MUST be floating point, so always have a decimal
point in them
#if ENABLED(DELTA_AUTO_CALIBRATION)
  // set the default number of probe points : n*n (1 -> 7)
  #define DELTA_CALIBRATION_DEFAULT_POINTS 4
#endif
#if
          ENABLED(DELTA_AUTO_CALIBRATION)
ENABLED(DELTA_CALIBRATION_MENU)
  // Set the radius for the calibration probe points - max DELTA_PRINTABLE_RADIUS for non-
eccentric probes
  #define DELTA_CALIBRATION_RADIUS 73.5 // mm
  // Set the steprate for papertest probing
  #define PROBE_MANUALLY_STEP 0.05 // mm
#endif
// Print surface diameter/2 minus unreachable space (avoid collisions with vertical towers).
#define DELTA_PRINTABLE_RADIUS 85.0 // mm
// Center-to-center distance of the holes in the diagonal push rods.
#define DELTA_DIAGONAL_ROD 218.0 // mm
// height from z=0 to home position
#define DELTA_HEIGHT 295.00 // get this value from auto calibrate
#define DELTA_ENDSTOP_ADJ { 0.0, 0.0, 0.0 } // get these from auto calibrate
// Horizontal distance bridged by diagonal push rods when effector is centered.
#define DELTA_RADIUS 101.0 //mm  Get this value from auto calibrate
// Trim adjustments for individual towers
// tower angle corrections for X and Y tower / rotate XYZ so Z tower angle = 0
// measured in degrees anticlockwise looking from above the printer
#define DELTA_TOWER_ANGLE_TRIM { 0.0, 0.0, 0.0 } // get these values from auto calibrate
#endif
#define USE_ZMIN_PLUG
#define USE_XMAX_PLUG
#define USE_YMAX_PLUG
#define USE_ZMAX_PLUG
// Enable pullup for all endstops to prevent a floating state
#define ENDSTOPPULLUPS
#if DISABLED(ENDSTOPPULLUPS)
#endif
// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most common setup).
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.

```

```

#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the probe.
#define XYZ_FULL_STEPS_PER_ROTATION 200
#define XYZ_MICROSTEPS 16
#define XYZ_BELT_PITCH 2
#define XYZ_PULLEY_TEETH 16
// delta speeds must be the same on xyz
#define DEFAULT_XYZ_STEPS_PER_UNIT ((XYZ_FULL_STEPS_PER_ROTATION) *
(XYZ_MICROSTEPS) / double(XYZ_BELT_PITCH) / double(XYZ_PULLEY_TEETH))
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { DEFAULT_XYZ_STEPS_PER_UNIT,
DEFAULT_XYZ_STEPS_PER_UNIT, DEFAULT_XYZ_STEPS_PER_UNIT, 100 } // default
steps per unit for Kossel (GT2, 20 tooth)

#define DEFAULT_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z and E acceleration for
printing moves
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 3000 // E acceleration for retracts
#define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z acceleration for travel (non
printing) moves
#define DEFAULT_XJERK 10.0
#define DEFAULT_YJERK DEFAULT_XJERK
#define DEFAULT_ZJERK DEFAULT_XJERK // Must be same as XY for delta
#define DEFAULT_EJERK 5.0
#define Z_MIN_PROBE_USES_Z_MIN_ENDSTOP_PIN
#define Z_PROBE_SERVO_NR 0 // Defaults to SERVO 0 connector.
#define Z_SERVO_ANGLES {90,0} // Z Servo Deploy and Stow angles
#define X_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 0 // X offset: -left +right [of the nozzle]
#define Y_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 0 // Y offset: -front +behind [the nozzle]
#define Z_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 0.10 // Z offset: -below +above [the nozzle]
// Certain types of probes need to stay away from edges
#define MIN_PROBE_EDGE 20
// X and Y axis travel speed (mm/m) between probes
#define XY_PROBE_SPEED 5000
// Feedrate (mm/m) for the first approach when double-probing (MULTIPLE_PROBING == 2)
#define Z_PROBE_SPEED_FAST HOMING_FEEDRATE_Z
// Feedrate (mm/m) for the "accurate" probe of each point
#define Z_PROBE_SPEED_SLOW (Z_PROBE_SPEED_FAST) / 6
#if ENABLED(Z_PROBE_ALLEN_KEY)
// 2 or 3 sets of coordinates for deploying and retracting the spring loaded touch probe on G29,
// if servo actuated touch probe is not defined. Uncomment as appropriate for your printer/probe.
// Kossel Mini
#define Z_PROBE_ALLEN_KEY_DEPLOY_1_X 30.0
#define Z_PROBE_ALLEN_KEY_DEPLOY_1_Y DELTA_PRINTABLE_RADIUS

```



```

// #define Z_MIN_PROBE_REPEATABILITY_TEST
// For Inverting Stepper Enable Pins (Active Low) use 0, Non Inverting (Active High) use 1
// : { 0:'Low', 1:'High' }
#define X_ENABLE_ON 0
#define Y_ENABLE_ON 0
#define Z_ENABLE_ON 0
#define E_ENABLE_ON 0 // For all extruders
// Disables axis stepper immediately when it's not being used.
// WARNING: When motors turn off there is a chance of losing position accuracy!
#define DISABLE_X false
#define DISABLE_Y false
#define DISABLE_Z false
// Warn on display about possibly reduced accuracy
// #define DISABLE_REduced_ACCURACY_WARNING
// @section extruder
#define DISABLE_E false // For all extruders
#define DISABLE_INACTIVE_EXTRUDER true // Keep only the active extruder enabled.
// @section machine
// Invert the stepper direction. Change (or reverse the motor connector) if an axis goes the wrong way.
#define INVERT_X_DIR true // DELTA does not invert
#define INVERT_Y_DIR true
#define INVERT_Z_DIR true
// @section extruder
// For direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false.
#define INVERT_E0_DIR false
#define INVERT_E1_DIR false
#define INVERT_E2_DIR false
#define INVERT_E3_DIR false
#define INVERT_E4_DIR false
#define Z_HOMING_HEIGHT 15 // (in mm) Minimal z height before homing (G28) for Z
clearance above the bed, clamps, ...
// Direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
// :[-1,1]
#define X_HOME_DIR 1 // deltas always home to max
#define Y_HOME_DIR 1
#define Z_HOME_DIR 1
// @section machine
// The size of the print bed
#define X_BED_SIZE ((DELTA_PRINTABLE_RADIUS) * 2)
#define Y_BED_SIZE ((DELTA_PRINTABLE_RADIUS) * 2)
// Travel limits (mm) after homing, corresponding to endstop positions.
#define X_MIN_POS -(DELTA_PRINTABLE_RADIUS)
#define Y_MIN_POS -(DELTA_PRINTABLE_RADIUS)
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_POS DELTA_PRINTABLE_RADIUS

```

```

#define Y_MAX_POS DELTA_PRINTABLE_RADIUS
#define Z_MAX_POS MANUAL_Z_HOME_POS
// Min software endstops constrain movement within minimum coordinate bounds
//#define MIN_SOFTWARE_ENDSTOPS
#if ENABLED(MIN_SOFTWARE_ENDSTOPS)
  #define MIN_SOFTWARE_ENDSTOP_X
  #define MIN_SOFTWARE_ENDSTOP_Y
  #define MIN_SOFTWARE_ENDSTOP_Z
#endif
// Max software endstops constrain movement within maximum coordinate bounds
#define MAX_SOFTWARE_ENDSTOPS
#if ENABLED(MAX_SOFTWARE_ENDSTOPS)
  #define MAX_SOFTWARE_ENDSTOP_X
  #define MAX_SOFTWARE_ENDSTOP_Y
  #define MAX_SOFTWARE_ENDSTOP_Z
#endif
#if ENABLED(MIN_SOFTWARE_ENDSTOPS) || ENABLED(MAX_SOFTWARE_ENDSTOPS)
  //#define SOFT_ENDSTOPS_MENU_ITEM // Enable/Disable software endstops from the LCD
#endif
//#define FILAMENT_RUNOUT_SENSOR
#if ENABLED(FILAMENT_RUNOUT_SENSOR)
  #define NUM_RUNOUT_SENSORS 1 // Number of sensors, up to one per extruder.
  Define a FIL_RUNOUT#_PIN for each.
  #define FIL_RUNOUT_INVERTING false // set to true to invert the logic of the sensor.
  #define FIL_RUNOUT_PULLUP // Use internal pullup for filament runout pins.
  #define FILAMENT_RUNOUT_SCRIPT "M600"
#endif
#if ENABLED(MESH_BED_LEVELING) || ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR) ||
ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_UBL)
  // For Cartesian machines, instead of dividing moves on mesh boundaries,
  // split up moves into short segments like a Delta. This follows the
  // contours of the bed more closely than edge-to-edge straight moves.
  #define SEGMENT_LEVELED_MOVES
  #define LEVELED_SEGMENT_LENGTH 5.0 // (mm) Length of all segments (except the last one)
  #if ENABLED(G26_MESH_VALIDATION)
    #define MESH_TEST_NOZZLE_SIZE 0.4 // (mm) Diameter of primary nozzle.
    #define MESH_TEST_LAYER_HEIGHT 0.2 // (mm) Default layer height for the G26
    Mesh Validation Tool.
    #define MESH_TEST_HOTEND_TEMP 205.0 // (°C) Default nozzle temperature for the
    G26 Mesh Validation Tool.
    #define MESH_TEST_BED_TEMP 60.0 // (°C) Default bed temperature for the G26
    Mesh Validation Tool.
  #endif
#endif
#if
  ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_LINEAR)

```

```

ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR)
  // Set the number of grid points per dimension.
  // Works best with 5 or more points in each dimension.
  #define GRID_MAX_POINTS_X 7
  #define GRID_MAX_POINTS_Y GRID_MAX_POINTS_X
  #if ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR)
    #if ENABLED(ABL_BILINEAR_SUBDIVISION)
      // Number of subdivisions between probe points
      #define BILINEAR_SUBDIVISIONS 3
    #endif
  #endif
#elif ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_UBL)
  #define MESH_INSET 1 // Set Mesh bounds as an inset region of the bed
  #define GRID_MAX_POINTS_X 10 // Don't use more than 15 points per axis,
implementation limited.
  #define GRID_MAX_POINTS_Y GRID_MAX_POINTS_X
  #define UBL_MESH_EDIT_MOVES_Z // Sophisticated users prefer no movement of
nozzle
  #define UBL_SAVE_ACTIVE_ON_M500 // Save the currently active mesh in the current slot
on M500
  //#define UBL_Z_RAISE_WHEN_OFF_MESH 2.5 // When the nozzle is off the mesh, this value
is used
#elif ENABLED(MESH_BED_LEVELING)
  #define MESH_INSET 10 // Set Mesh bounds as an inset region of the bed
  #define GRID_MAX_POINTS_X 3 // Don't use more than 7 points per axis, implementation
limited.
  #define GRID_MAX_POINTS_Y GRID_MAX_POINTS_X
  //#define MESH_G28_REST_ORIGIN // After homing all axes ('G28' or 'G28 XYZ') rest Z at
Z_MIN_POS
#endif // BED_LEVELING
#if ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_3POINT) // ||
ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_UBL)
#endif
#if ENABLED(LCD_BED_LEVELING)
  #define MBL_Z_STEP 0.025 // Step size while manually probing Z axis.
  #define LCD_PROBE_Z_RANGE 4 // Z Range centered on Z_MIN_POS for LCD Z adjustment
#endif

#if ENABLED(LEVEL_BED_CORNERS)
  #define LEVEL_CORNERS_INSET 30 // (mm) An inset for corner leveling
  #define LEVEL_CORNERS_Z_HOP 4.0 // (mm) Move nozzle up before moving between
corners
  //#define LEVEL_CENTER_TOO // Move to the center after the last corner
#endif
#if ENABLED(Z_SAFE_HOMING)

```

```

#define Z_SAFE_HOMING_X_POINT ((X_BED_SIZE) / 2) // X point for Z homing when
homing all axes (G28).
#define Z_SAFE_HOMING_Y_POINT ((Y_BED_SIZE) / 2) // Y point for Z homing when
homing all axes (G28).
#endif
// Delta only homes to Z
#define HOMING_FEEDRATE_Z (100*60)
// @section calibrate
#if ENABLED(SKEW_CORRECTION)
// Input all length measurements here:
#define XY_DIAG_AC 282.8427124746
#define XY_DIAG_BD 282.8427124746
#define XY_SIDE_AD 200

// Or, set the default skew factors directly here
// to override the above measurements:
#define XY_SKEW_FACTOR 0.0
// #define SKEW_CORRECTION_FOR_Z
#if ENABLED(SKEW_CORRECTION_FOR_Z)
#define XZ_DIAG_AC 282.8427124746
#define XZ_DIAG_BD 282.8427124746
#define YZ_DIAG_AC 282.8427124746
#define YZ_DIAG_BD 282.8427124746
#define YZ_SIDE_AD 200
#define XZ_SKEW_FACTOR 0.0
#define YZ_SKEW_FACTOR 0.0
#endif
#endif
#define EEPROM_SETTINGS // Enable for M500 and M501 commands
// #define DISABLE_M503 // Saves ~2700 bytes of PROGMEM. Disable for release!
#define EEPROM_CHITCHAT // Give feedback on EEPROM commands. Disable to save
PROGMEM.
// When enabled Marlin will send a busy status message to the host
// every couple of seconds when it can't accept commands.
#define HOST_KEEPALIVE_FEATURE // Disable this if your host doesn't like keepalive
messages
#define DEFAULT_KEEPALIVE_INTERVAL 5 // Number of seconds between "busy" messages.
Set with M113.
#define BUSY_WHILE_HEATING // Some hosts require "busy" messages even
during heating
// Preheat Constants
#define PREHEAT_1_TEMP_HOTEND 195
#define PREHEAT_1_TEMP_BED 60
#define PREHEAT_1_FAN_SPEED 0 // Value from 0 to 255

```

```

#define PREHEAT_2_TEMP_HOTEND 240
#define PREHEAT_2_TEMP_BED    100
#define PREHEAT_2_FAN_SPEED    0 // Value from 0 to 255
#if ENABLED(NOZZLE_PARK_FEATURE)
  // Specify a park position as { X, Y, Z }
  #define NOZZLE_PARK_POINT { (X_MIN_POS + 10), 0, 20 }
  #define NOZZLE_PARK_XY_FEEDRATE 100 // X and Y axes feedrate in mm/s (also used
for delta printers Z axis)
  #define NOZZLE_PARK_Z_FEEDRATE 5 // Z axis feedrate in mm/s (not used for delta
printers)
#endif
//#define NOZZLE_CLEAN_FEATURE
#if ENABLED(NOZZLE_CLEAN_FEATURE)
  // Default number of pattern repetitions
  #define NOZZLE_CLEAN_STROKES 12
  // Default number of triangles
  #define NOZZLE_CLEAN_TRIANGLES 3
  // Specify positions as { X, Y, Z }
  #define NOZZLE_CLEAN_START_POINT { 30, 30, (Z_MIN_POS + 1) }
  #define NOZZLE_CLEAN_END_POINT { 100, 60, (Z_MIN_POS + 1) }
  // Circular pattern radius
  #define NOZZLE_CLEAN_CIRCLE_RADIUS 6.5
  // Circular pattern circle fragments number
  #define NOZZLE_CLEAN_CIRCLE_FN 10
  // Middle point of circle
  #define NOZZLE_CLEAN_CIRCLE_MIDDLE NOZZLE_CLEAN_START_POINT
  // Moves the nozzle to the initial position
  #define NOZZLE_CLEAN_GOBACK
#endif
#define PRINTJOB_TIMER_AUTOSTART
#define PRINTCOUNTER
#define LCD_LANGUAGE en

#define SD_CHECK_AND_RETRY
#if ENABLED(SAV_3DGLCD)
  // #define U8GLIB_SSD1306
  #define U8GLIB_SH1106
#endif
#define SOFT_PWM_SCALE 0
#if ENABLED(RGB_LED) || ENABLED(RGBW_LED)
  #define RGB_LED_R_PIN 34
  #define RGB_LED_G_PIN 43
  #define RGB_LED_B_PIN 35
  #define RGB_LED_W_PIN -1
#endif

```

```

// Support for Adafruit Neopixel LED driver
//#define NEOPIXEL_LED
#if ENABLED(NEOPIXEL_LED)
  #define NEOPIXEL_TYPE NEO_GRBW // NEO_GRBW / NEO_GRB - four/three channel
  driver type (defined in Adafruit_NeoPixel.h)
  #define NEOPIXEL_PIN 4 // LED driving pin on motherboard 4 => D4 (EXP2-5 on
  Printrboard) / 30 => PC7 (EXP3-13 on Rumba)
  #define NEOPIXEL_PIXELS 30 // Number of LEDs in the strip
  #define NEOPIXEL_IS_SEQUENTIAL // Sequential display for temperature change - LED by
  LED. Disable to change all LEDs at once.
  #define NEOPIXEL_BRIGHTNESS 127 // Initial brightness (0-255)
#endif
#if ENABLED(BLINKM) || ENABLED(RGB_LED) || ENABLED(RGBW_LED) ||
  ENABLED(PCA9632) || ENABLED(NEOPIXEL_LED)
  #define PRINTER_EVENT_LEDS
#endif
#define NUM_SERVOS 4 // Servo index starts with 0 for M280 command
// 300ms is a good value but you can try less delay.
// If the servo can't reach the requested position, increase it.
#define SERVO_DELAY { 300, 300, 300, 300 }
#endif // CONFIGURATION_H

```