

Творческий проект на тему:

«Лазерный художник»

по профилю «Робототехника»

2024

РЕФЕРАТ

Сведения об общем объёме отчета:

- 39 страниц
- 8 таблиц
- 29 иллюстраций
- 13 источников
- 3 приложения

Перечень ключевых слов и словосочетаний:

1. Робот
2. Робототехника
3. Робототехническое устройство
4. Созидание
5. Ивент
6. Мероприятие
7. Аудитория
8. Привлечение аудитории

Текст реферата:

Объект исследования: методы привлечения аудитории ивент-агенствами.

Цель работы: разработать робота, способного создать портрет человека при помощи лазерной гравировки.

Результат разработки: робот, гравирующий полученное с камеры изображение при помощи лазера на дереве.

Область применения результатов: творческие мастерские, IT-парки, технопарки, коворкинги, общественные пространства, ивент-площадки.

Экономическая эффективность работы: разработанный робот входит в средний ценой сегмент среди имеющихся аналогов на рынке;

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования: доработка работа, переход к собственным конструктивным решениям, тестирование, популяризация, внедрение в производство.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ОТЧЕТА О НИР	6
Глава 1 Теоретическое исследование	6
<i>1.1 Обоснование актуальности. Формулировка цели и задач, результата и выводов</i>	6
<i>1.2 Сбор и анализ информации по исследуемой проблеме</i>	8
<i>1.3 Разработка идеи и концепции робототехнического устройства. Формулировка технического задания</i>	9
Глава 2 Разработка технологического процесса	13
<i>2.1 Описание процесса проектирования, изготовления, программирования, отладки, модификации проекта</i>	13
<i>2.2 Разработка графической документации</i>	19
<i>2.3 Обоснование выбора материалов, электронных компонентов, технологий проектирования и изготовления</i>	24
<i>2.4 Экономическая оценка</i>	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	31
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	32
ПРИЛОЖЕНИЕ А	33
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	34
ПРИЛОЖЕНИЕ В	38

ВВЕДЕНИЕ

Проблема

На данный момент высоким уровнем популярности обладают мероприятия в формате митап, открытый микрофон, день открытых дверей и прочие. Организаторы вынуждены помимо основного мероприятия придумывать также второстепенные события с целью удержания публики. На данный момент для решения данного вопроса широко используются автоматические фотостудии, виртуальные ЗАГСы, автоматы с игрушками, автомат для измерения силы удара и другие. Однако, многие из существующих решений не подходят для образовательно-просветительских мероприятий, поскольку носят сугубо развлекательный характер.

Продукт

Лазерный гравёр с числовым программным управлением и режимом автоматического создания портрета рядом стоящего человека при помощи технологий машинного зрения.

Тема проекта

Создание инструмента удержания публики образовательно-просветительских мероприятий посредством создания робототехнического устройства, способного создавать портреты людей без участия оператора путём лазерной гравировки по дереву.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ОТЧЕТА О НИР

Глава 1 Теоретическое исследование

1.1 Обоснование актуальности. Формулировка цели и задач,

результата и выводов

Актуальность

Согласно статистике российского общества «Знание» за год проведения различных образовательных мероприятий их посетили 50 миллионов человек, из них 5 миллионов – очно. На данный момент для удержания аудитории «Знания» привлекают новых спикеров, в том числе из числа участников прошлых мероприятий, организуют дополнительные активности: фотозоны, фуршетты, настольные игры.

Открытые данные Университета Иннополис свидетельствуют о 800 мероприятиях, посещаемость которых составила 80 тысяч человек. Университет для удержания аудитории организует ярмарки вакансий, открытый микрофон, экскурсии в лаборатории, кампусы и многие другие мероприятия.

Компания «Сбер» в шоуруме «Сберсити» проводит различные просветительские мероприятия, используя при этом манипулятор-художник, человекоподобных роботов и нейронные сети, такие как «Кандиский» и «GigaChat».

Приведённая информация свидетельствует о том, что организаторы крупных мероприятий действительно нуждаются не только в привлечении новой аудитории, но и удержании старой. Для этого они прибегают к различным инструментам, однако со временем любое «новое» становится «старым». Разработка нового способа привлечения и удержания аудитории позволит помочь компаниям достигнуть желаемого объёма аудитории.

Цель – разработать робота, способного создать портрет человека при помощи лазерной гравировки.

Задачи:

1. Провести исследовательскую работу, включающую сбор информации по исследуемой проблеме, анализ имеющихся аналогов и прототипов.
2. Разработать собственное решение.
3. Провести тестирование.
4. Выполнить анализ проделанной работы.

Результат:

В результате работы получено робототехническое устройство, способное в автономной режиме по одной фотографии человека, совершаемой при помощи встроенной камеры, создать его портрет при помощи лазерной гравировки по дереву. Задачи выполнены, цель достигнута.

Выводы:

Эстетический вид робота: благодаря печати с малой высотой слоя и выбору качественного пластика детали получились без подгоревших участков, а также практически отсутствуют видимые переходы между слоями. Проводка собрана в шлейфы, либо убрана внутрь корпуса.

Качество робототехнического устройства: при создании робототехнического устройства в местах повышенной нагрузки добавлены дополнительные ребра жёсткости. Проведено тестирование в симуляторе нагрузок Autodesk Fusion 360. Основные несущие детали изготовлены с высоким процентом заполнения. Также используются детали из металла. В местах подвижности используются линейные, радиальные и упорные подшипники.

Трудоёмкость: Моделирование, печать и сборка заняли 7 недель. Разработка программного обеспечения – 7 недель. Тестирование – 4 недели.

Перспективность разработки: В дальнейшем этот робот будет расширять свои возможности благодаря внедрению искусственного интеллекта и технологий машинного обучения, что значительно повысит эффективность его работы. Кроме того, планируется выпуск роботов из более экологически чистых и прочных материалов, что способствует улучшению экологических и

функциональных характеристик устройства. Также планируется уход от опорного проекта в сторону собственной разработки. Данный шаг позволит наладить процесс популяризации устройства, начала производства и запуск в массовое использование.

1.2 Сбор и анализ информации по исследуемой проблеме

Анализ исторических прототипов и современных аналогов

Сравнительная *таблица 1* имеющихся решений, необходимая для получения информации о применяемых в отрасли технологиях, общих недостатках существующих продуктов.

Таблица 1 – сравнительная таблица имеющихся решений

Аналоги	Достоинства	Недостатки
Фотокабина (https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотокабина)	<ul style="list-style-type: none"> • Простота эксплуатации • Простота монтажа • Множество готовых решений на рынке 	<ul style="list-style-type: none"> • Частота использования • Высокая стоимость качественных решений • Занимает большую площадь
Фотозона	<ul style="list-style-type: none"> • Простота эксплуатации • Простота монтажа • Множество готовых решений на рынке 	<ul style="list-style-type: none"> • Не автоматизированное решение • Занимает большую площадь
Робокухни (https://habr.com/ru/news/570682/)	<ul style="list-style-type: none"> • Привлекает внимание • Новое решение, не успевшее стать привычным для потребителя 	<ul style="list-style-type: none"> • Занимает большую площадь • Дорогое производство • Дорогое обслуживание
Манипуляторы-художники (https://piter.tv/event/Na_s_tende_Sbera_predstavili_robota_hudozhnika/)	<ul style="list-style-type: none"> • Чаще всего работают с ИИ • Новое решение, не успевшее стать привычным для потребителя 	<ul style="list-style-type: none"> • Сложны в настройке • Дорогое производство

В качестве прототипа взято решение с фотокабинками. Учитывая минусы данного прототипа, целесообразным решением является замена принципа получения портрета, а также переход от автоматике к роботу или робототехническому устройству, поскольку данное изменение позволит приблизить идеологически новое решение к уже существующим манипуляторам-художникам, робокухням и другим современным решениям в данной области.

1.3 Разработка идеи и концепции робототехнического устройства.

Формулировка технического задания

Идея

Для того, чтобы привлечь внимание аудитории необходимо использовать непривычный способ получения привычного результата, в данном случае – фотографии.

Для получения портрета можно использовать следующие способы:

1. Рисование красками и кистью
2. Фрезеровка
3. Гравировка
4. 3D-печать

В данном случае вариант 1 является менее перспективным, поскольку такие аналоги уже существуют, ряд крупных компаний ведёт работу в данной области. 3D-печать является долгой технологией, что неприемлемо для большой аудитории. Во время фрезеровки образуется большое количество отходов. Исходя из этого оптимальным исходом является производство портрета при помощи гравировки. Использование именно лазерной технологии позволяет избавиться от отходов и ускорить процесс получения портрета.

Требования к проектному решению:

1. Максимальное соотношение рабочей площади к занимаемой площади
2. Низкая стоимость
3. Отсутствие сложностей в обслуживании
4. Простота в управлении
5. Получение результата за 3 – 5 минут

Предложения решения выявленной проблемы

Для решения обнаруженных ранее проблем необходимо разработать собственное решение. Отличительной особенностью нового робототехнического устройства станет возможность гравировки сделанных фотографий без участия человека. Правильно выбранный тип кинематики позволит получить оптимальное соотношение полезной площади к общей площади робота. Оптимальный подбор комплектующих позволит снизить себестоимость.

Концепция проекта и обоснование выбора оптимальной идеи

Начать необходимо с выбора оптимального типа кинематики.

Таблица 2 – сравнительная таблица кинематики.

Тип кинематики	Достоинства	Недостатки
Cube	<ul style="list-style-type: none"> • Простота конструкции и надежность. • Хорошая точность и повторяемость из-за жесткой конструкции. • Легкость обслуживания и настройки. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ограниченная скорость и маневренность из-за ограниченных вариантов движения. • Большой размер и габариты, что может потребовать больше места для установки. • Менее подходит для больших объемных печатей из-за ограниченной высоты Z.
Delta	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая скорость печати благодаря параллельному движению трех стоек. • Большой объем печати по 	<ul style="list-style-type: none"> • Сложность настройки и калибровки из-за сложности кинематики. • Низкая точность и

	<p>сравнению с размерами станка из-за параллельной конфигурации.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Эстетичный и компактный дизайн. 	<p>повторяемость по сравнению с некоторыми другими типами кинематики.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Высокая чувствительность к вибрациям из-за длинных стоек.
Prusa	<ul style="list-style-type: none"> • Простота конструкции и сборки, что делает его популярным среди хоббистов и начинающих. • Высокая точность и повторяемость из-за прямолинейного движения. • Хорошая скорость и маневренность благодаря компактной конструкции. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ограниченный объем печати из-за ограничений размеров станка. • Не подходит для больших объемных печатей из-за ограниченной высоты Z. • Возможны проблемы с выравниванием и калибровкой из-за нестабильности рамы.
SCARA	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая скорость и маневренность из-за параллельного движения двух суставов. • Хорошая точность и повторяемость из-за стабильной конструкции. • Подходит для обработки трехмерных поверхностей и выполнения сложных задач. 	<ul style="list-style-type: none"> • Сложность конструкции и настройки, что может потребовать больше времени и усилий. • Большой размер и габариты, что может потребовать больше места для установки. • Более высокая стоимость по сравнению с некоторыми другими типами кинематики.

Подходящими для поставленных задач достоинствами обладает Scara-кинематика. SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) делятся на два типа:

1. MP-SCARA – последовательное соединение плеч
2. MORGAN-SCARA – параллельное соединение плеч

Под выдвигаемые требования подходит MP-SCARA, поскольку данный тип не уступает по полезной площади MORGAN-SCARA, однако конструктивно проще и менее габаритный, что компенсирует общие недостатки семейства SCARA.

Программная часть машинного зрения реализуется при помощи OpenCV Python. Поскольку для обработки изображений платы семейства Arduino не обладают достаточной мощностью, оптимально будет использовать платы семейства Raspberry. Однако платы данного семейства плохо взаимодействуют с шаговыми двигателями, поэтому робот оснащён двумя контроллерами: Raspberry и Arduino, подключенных через USB-интерфейс.

Таким образом мы получаем робототехническое устройство, условно состоящего из двух частей:

1. Лазерный станок с ЧПУ на базе MP-SCARA
2. Модуль машинного зрения

Классификация

Поскольку решение по сути своей является манипулятором с тремя степенями подвижности, концевыми датчиками и камерой, но не может самостоятельно перемещать себя в пространстве, в соответствии с ГОСТ Р 60.0.0.8, данное изделие является робототехническим устройством.

Практическая значимость: данное устройство имеет большую практическую значимость для организаторов научных, культурных и образовательных мероприятий, поскольку позволяет привлечь и удержать аудиторию мероприятия, не выделяясь из концепции и идеологии события.

Креативность и новизна:

Мероприятия, проводимые различными компаниями, со временем нуждаются во всё большем привлечении внимания посетителя. При этом для тех, кто проводит мероприятия, важен уход клиента с брендированной сувенирной продукцией. Такой подход позволяет компаниям оставить

хорошее впечатление о себе у клиента, а также осуществлять пассивную рекламу. Если для подобных площадок разработать робототехническое устройство, которое быстро изготавливают портрет, нанося при этом логотип мероприятия, то это станет хорошим инструментом для привлечения внимания, поскольку роботы и робототехнические устройства привлекают внимание посетителей, в отличие от существующих решений, поскольку не являются стандартным, привычным решением.

Глава 2 Разработка технологического процесса

2.1 Описание процесса проектирования, изготовления, программирования, отладки, модификации проекта

Проектируем, используя метод Waterfall (водопад). Метод Waterfall предполагает последовательное выполнение этапов проектирования, начиная с определения требований, затем переходя к проектированию, разработке, тестированию и внедрению. Этот метод хорошо подходит для проектов с четко определенными требованиями и стабильной средой, каким и является данный проект.

Процесс изготовления разделён на несколько этапов:

1. Моделирование и корректировка деталей для 3D – печати.
2. Слайсинг, 3D-печать
3. Сборка
4. Подключение электронных компонентов лазерного станка
5. Прошивка лазерного станка
6. Разработка Open-CV части
7. Подключение модуля Open-CV к лазерному станку с ЧПУ

Процесс изготовления.

За основу манипулятора был взят Open-source проект «Laser Engraving with DIY Arduino SCARA Robot» .



Рисунок 1. Ссылка на опорный проект


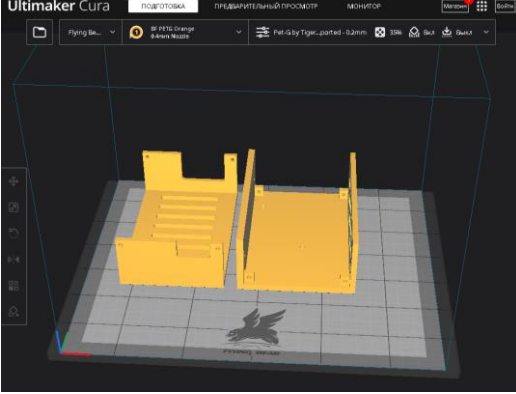

Дополнительно в Autodesk Fusion 360 были добавлены рёбра жёсткости для основания. Крепление трапециевидального винта также было изменено, устранён люфт. Убрана вращательная ось подвижности и захват. Вместо них смоделирован подвес для лазерного модуля. Разработан блок управления.

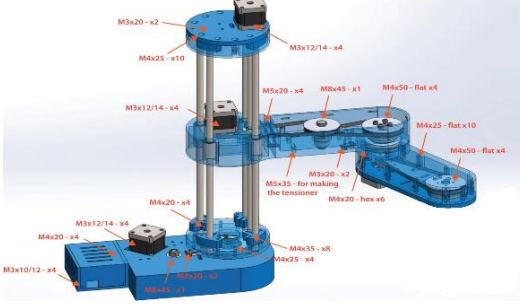
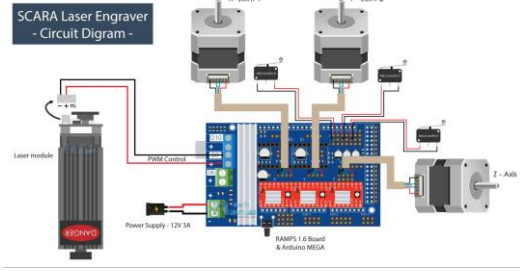

Для изготовления была использована технология 3D – печати. Использовался FDM 3D – принтер Flying Bear Ghost 5. Нарезка модели на слои производилась в Ultimaker Cura 5.1.1. Постобработка, включающая шлифовку наждачной бумагой (2000 зернистость), производилась в ручном формате по мере необходимости.

Сборка производилась «снизу-вверх», от основания и блока управления к плечам манипулятора и верхней платформы. По мере сборки также осуществлялась коммутация электронных частей.

Таблица 3 – Технологическая карта изготовления робота

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование операции</i>	<i>Эскиз</i>	<i>Оборудование, инструменты, приспособления</i>
------------------	----------------------------------	--------------	--

№ n/n	Наименование операции	Эскиз	Оборудование, инструменты, приспособления
1	3D- моделирование, корректировка имеющихся моделей.	 <p data-bbox="580 875 1107 965"><i>Рисунок 2 – общий вид моделируемого устройства</i></p>	Ноутбук, компьютерная мышь. ПО: Autodesk Fusion 360, Solidworks
2	Слайсинг	 <p data-bbox="580 1402 1059 1491"><i>Рисунок 3 – пример расположения деталей при слайсинге.</i></p>	Ноутбук, компьютерная мышь. ПО: Ultimaker Cura 5.1.1
3	3D – печать	 <p data-bbox="580 1850 1107 1939"><i>Рисунок 4 – фото всех напечатанных деталей от опорного проекта</i></p>	3D-принтер Flying Bear Ghost 5, адгезионное средство, шпатель, пинцет, канцелярский нож

№ n/n	Наименование операции	Эскиз	Оборудование, инструменты, приспособления
4	Сборка	 <p data-bbox="582 649 1104 739"><i>Рисунок 5 – указания к используемым креплениям</i></p>	Набор отвёрток, напильник, набор подшипников, набор крепежей, пассатижи
5	Подключение электронных компонентов лазерного ЧПУ	 <p data-bbox="582 1064 1104 1153"><i>Рисунок 6 – диаграмма подключения электронных компонентов</i></p>	Паяльная станция с феном, припой ПОС-60, канифоль сосновая, набор термоусадок, набор комплектующих.
6	Сборка OpenCV-модуля	 <p data-bbox="582 1400 1104 1489"><i>Рисунок 7 – Иллюстрация модуля OpenCV</i></p>	Набор отверток

Описание процесса программирования

Поскольку определено, что робот должен использовать общепринятые принципы в данной отрасли, в качестве программного обеспечения для лазерного ЧПУ станка была выбрана прошивка Marlin 2.1.1 (самая стабильная версия на момент разработки) с открытым исходным кодом. Также был использован встроенный файл конфигурации для работы с кинематикой MP-SCARA, что значительно упростило процесс разработки.

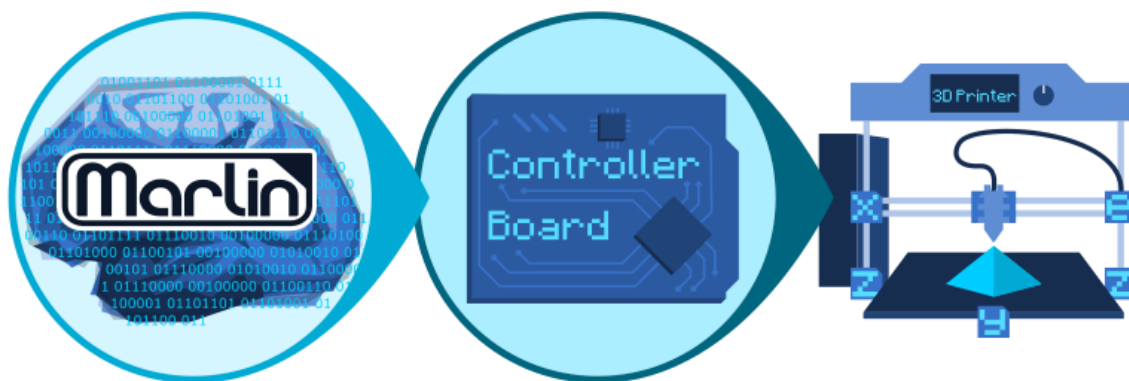


Рисунок 8 – последовательность взаимодействия частей ЧПУ-станка

Первым делом необходимо выбрать в среде разработки VS Code PlatformIO контроллер Arduino Mega 2560, в прошивке выбрать нужную плату расширения. В данном случае используется Ramps 1.6, подключения которого идентичны Ramps 1.4, поэтому в прошивке указан BOARD_RAMPS_14_EFB. Расчётные формулы для MP-SCARA несколько сложнее, чем для Cube и Prusa, но значительно проще, чем для Delta и в общих чертах их можно изложить на одной картинке.

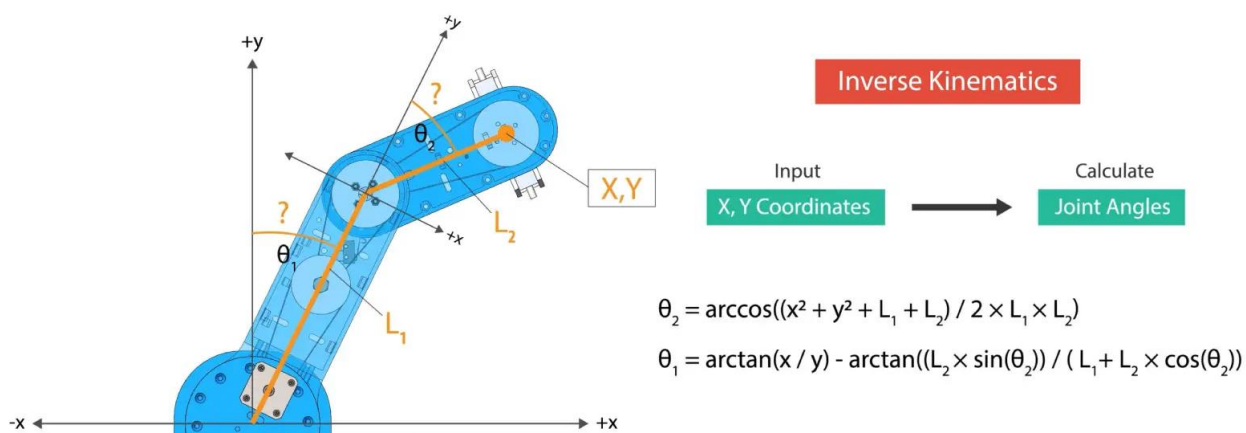


Рисунок 9 – переводные формулы из координат в углы поворота

Далее необходимо настроить количество шагов двигателя для поворота на заданное количество градусов. Двигатели Nema 17 совершают оборот на 360 градусов за 200 шагов. Драйвера DRV8825 работают в режиме микрошагов, дробление 1/32. Таким образом получаем 200*32=6400 шагов на оборот.

Таблица 4 – расчёт шагов на один оборот для моторов X, Y, Z

Мотор X	Передаточное отношение для этого мотора
---------	---

	20:1, следовательно для полного обращения необходимо 128000 шагов, что равно 355,5 шагов на оборот.
Мотор Y	Передаточное отношение для этого мотора 16:1, следовательно для полного обращения необходимо 102400 шагов, что равно 284,4 шагов на оборот.
Мотор Z	На данный мотор установлен тропецидальный винт T8 с шагом 1мм. Для перемещения на 1мм необходимо провернуть мотор на 6400 шагов.

Также для корректного позиционирования по Z-оси были установлены параметры конечных выключателей, соответствующие их положению на работе:

```
#define Z_HOME_DIR -1
```

```
#define USE_ZMAX_PLUG
```

Модуль машинного зрения основан на контроллере Raspberry Pi 3 model B. На одноплатный компьютер установлена ОС Raspbian на базе Linux Ubuntu. Для обработки изображений с камеры Logitech используется Python-библиотека OPENCV2. Изображение преобразуется из цветного формата в градации серого, где яркость каждого пикселя означает мощность лазера в данной точке при гравировке. Алгоритм гравировки записывается в формате G-Code. Взаимодействие с Arduino происходит по USB с помощью утилиты OctoPI, специализированной для управления станками с ЧПУ.

В процессе всей разработки программного обеспечения использовалась среда VS-code, поскольку данный редактор обладает множеством расширений, позволяющих работать из одной среды как Python, так и с C++, а также загружать исходный код на микрокомпьютеры и микроконтроллеры.

Подробнее с прошивками можно ознакомиться по ссылке на Google-диск в разделе «прошивка».



Рисунок 10 – QR-ссылка на Google-диск проекта

Описание процесса отладки, модификации проекта

Для отладки была использована утилита RepiterHost. Данная программа позволяет управлять устройством при помощи G-code, отслеживать логи происходящего, а также отправлять задание для гравировки. В процессе отладки было определено оптимальное напряжение на драйверах шаговых двигателей $V_{ref} = 0.7-0.8(V)$, а также подобраны оптимальные скорости перемещения и ускорения, проведены пробные запуски. Также опытным путём была определена несовместимость лазерного модуля с PWM режимом, необходимым для работы спикера, сообщающего об ошибках. Было решено не подключать спикер в прошивке Marlin. Также было выявлено провисание ремня в передаче мотора Y. Были добавлены дополнительные натяжители.

Также в процессе отладки были выявлены несоответствия в направлениях координатных осей, были внесены соответствующие коррективы в подключение шаговых двигателей.

Во время разработки была выявлена проблема с парковкой и приходом манипулятора в нулевое положение. Решением стало удаление комментариев в прошивке при

```
#define QUICK_HOME
```

То есть активация быстрого прихода в положение дома.

2.2 Разработка графической документации

С подробными чертежами можно ознакомиться в Приложении Б.

3D-модели можно изучить на Google-диске проекта в разделе «модели».



Рисунок 11 – QR-ссылка на Google-диск проекта

Передачи:

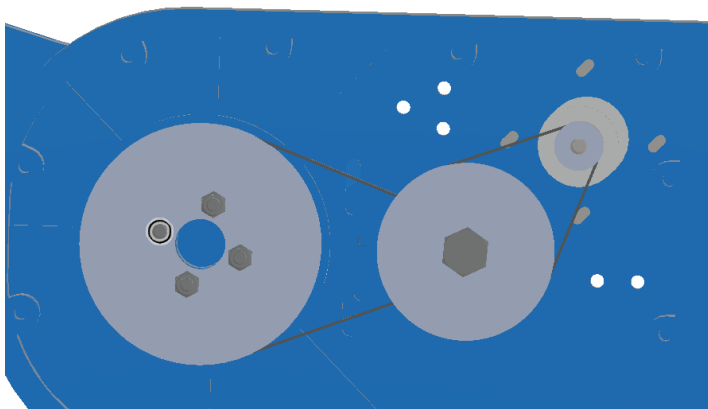


Рисунок 12 – Двухступенчатая ремённая передача мотора X

Передаточное отношение данной передачи 20:1, шестерни и ремни соответствуют формату GT2.

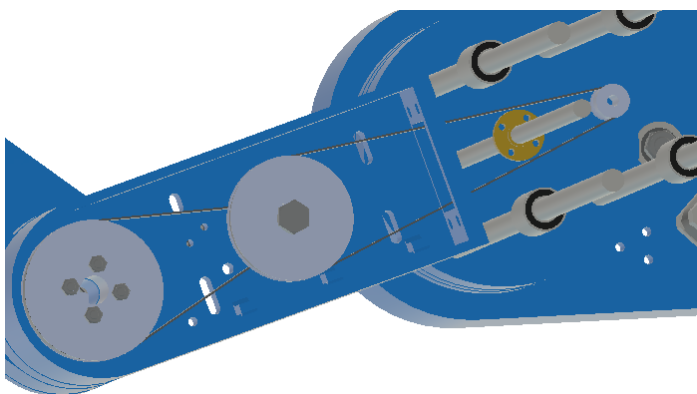


Рисунок 13 - Двухступенчатая ремённая передача мотора Y

Передаточное отношение данной передачи 16:1, шестерни и ремни соответствуют формату GT2.

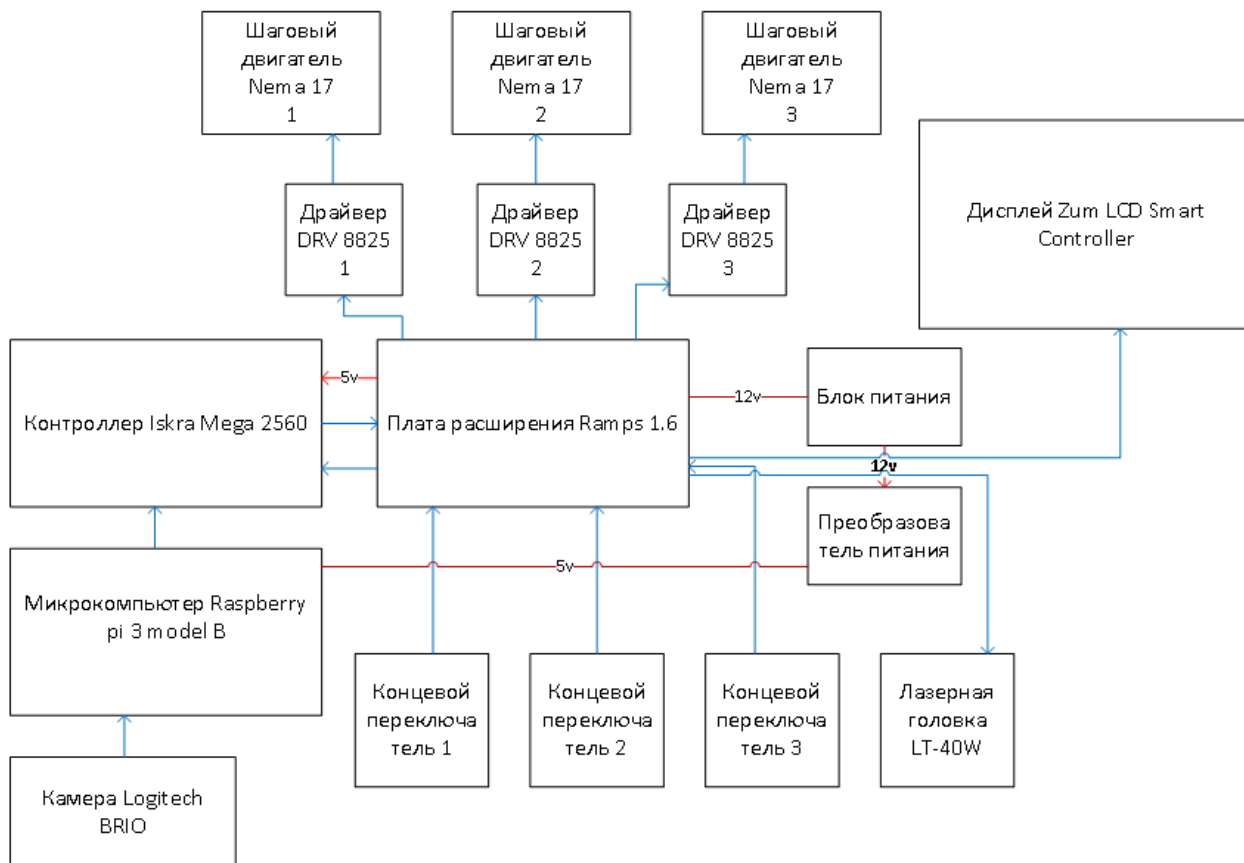
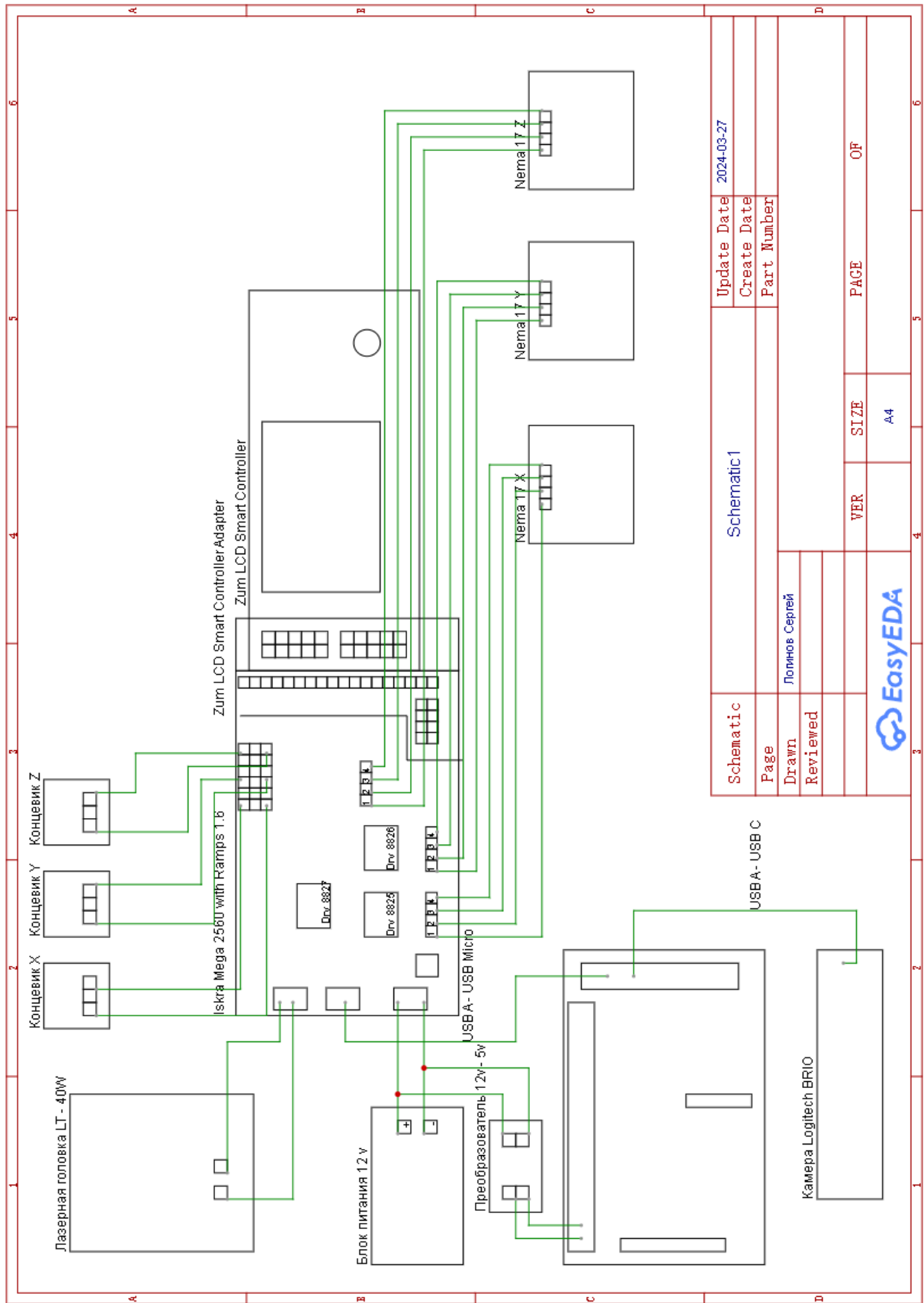


Рисунок 14 – Структурная электрическая схема Э1



Schematic	Schematic1	Update Date	2024-03-27
Page		Create Date	
Drawn	Лопиков Сергей	Part Number	
Reviewed			
		VER	PAGE
		SIZE	OF
		A4	



Рисунок 15 – Принципиальная электрическая схема ЭЗ

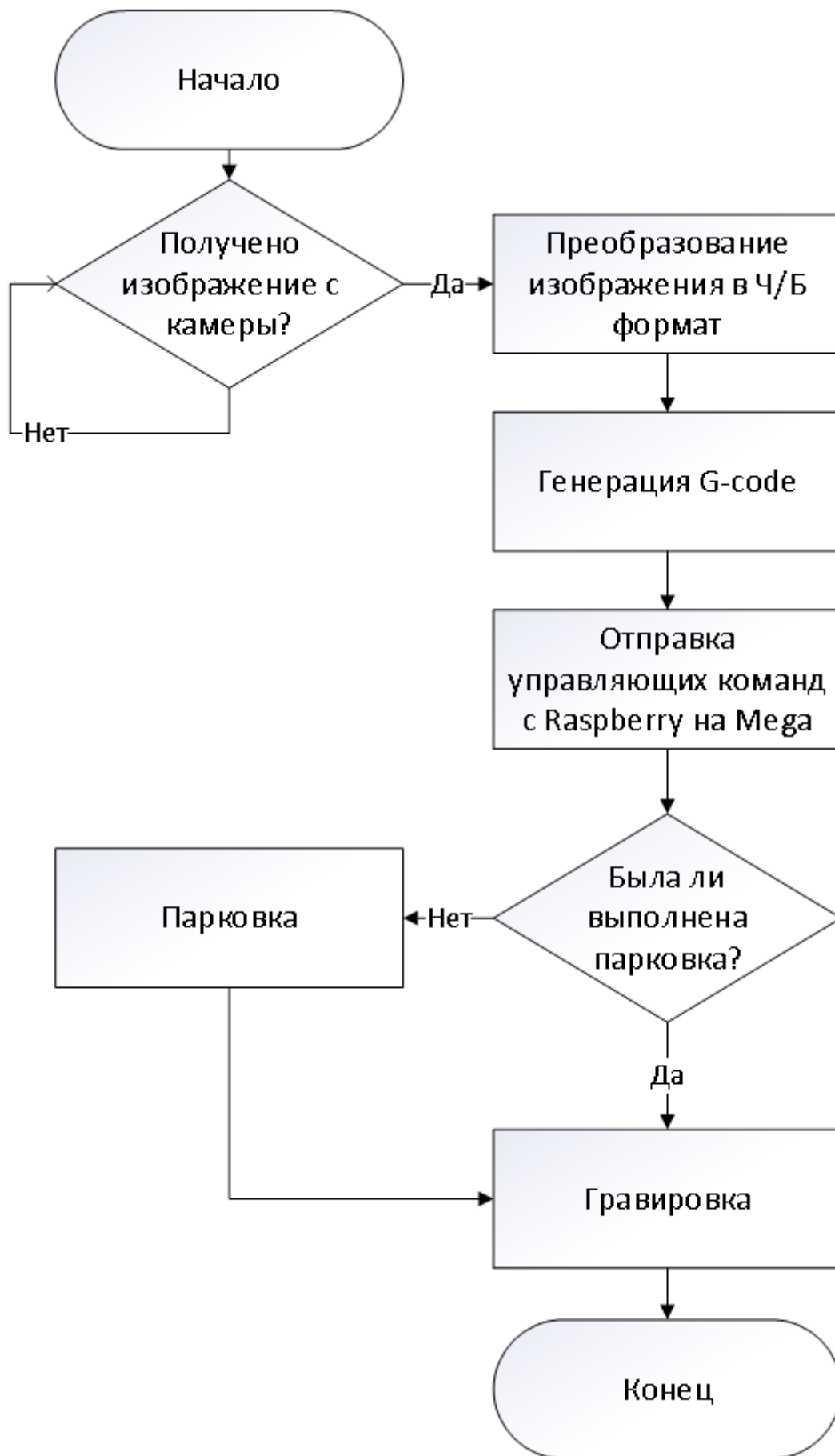


Рисунок 16 – Блок-схема алгоритма

2.3 Обоснование выбора материалов, электронных компонентов, технологий проектирования и изготовления

Так как в конструкции робота присутствуют геометрически сложные детали, изготавливать их из листового материала проблематично. Изготовление корпусных деталей из древесных материалов не безопасно с точки зрения огнеупорности. Таким образом из популярных методов производства остаётся отливка деталей из металла и 3D-печать. Однако, литые детали обладают большей массой, чем напечатанные, за счёт возможности уменьшения плотности заполнения.

Материалы выбираем, используя метод сравнительного анализа.

Таблица 5 – сравнительная таблица пластиков

Тип пластика	Достоинства	Недостатки
PLA	<ul style="list-style-type: none">• Биоразлагаемый и экологически чистый материал, изготовленный из натуральных ресурсов.• Легко печатается и имеет низкий уровень сжатия, что позволяет избежать деформации при печати.• Не требует нагрева печатной платформы, что делает его подходящим для большинства 3D-принтеров.	<ul style="list-style-type: none">• Имеет более низкую температурную стойкость и устойчивость к ударам по сравнению с некоторыми другими материалами.• Может быть менее подходящим для функциональных деталей из-за более низкой прочности.
ABS	<ul style="list-style-type: none">• Высокая прочность и устойчивость к ударам, что делает его подходящим для функциональных прототипов и деталей.• Хорошая термостойкость и устойчивость к химическим	<ul style="list-style-type: none">• Требуется нагрев печатной платформы и обычно печатается при более высоких температурах, что может вызывать проблемы с искажением.• Имеет более сильный запах

	<p>воздействиям.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Обладает хорошей степенью детализации при печати. 	<p>при печати по сравнению с другими материалами.</p>
SBS	<ul style="list-style-type: none"> • Хорошая прочность и устойчивость к ударам, что делает его подходящим для функциональных деталей. • Более стойкий к химическим воздействиям и влаге по сравнению с PLA и ABS. • Имеет низкую склонность к искажениям и деформациям во время печати. 	<ul style="list-style-type: none"> • Требуется специальное оборудование и процесса печати (стереолитография), что может быть более сложным и дорогостоящим. • Материал более склонен к износу и воздействию ультрафиолетового излучения по сравнению с некоторыми другими пластиками.
PETG	<ul style="list-style-type: none"> • Хорошая прочность и устойчивость к ударам, что делает его подходящим для функциональных деталей. • Более стойкий к химическим воздействиям и влаге по сравнению с PLA и ABS. • Имеет низкую склонность к искажениям и деформациям во время печати. 	<ul style="list-style-type: none"> • Требуется нагрев печатной платформы и печатается при более высоких температурах, чем PLA. • Более подвержен образованию дефектов, таких как воздушные пузыри, если неправильно настроить параметры печати.

Исходя из выше представленных характеристик, выбор был сделан в пользу PETG-пластика.

Электронные компоненты выбираем, основываясь на требованиях к проектному решению.

Таблица 6 – обоснование выбора электронных компонентов

Электронный компонент	Обоснование
Шаговый двигатель Nema 17	Данный двигатель обладает достаточной

	<p>точностью шага. Устойчив к перегреву, в отличие от Nema 14. Низкая стоимость. Простота эксплуатации.</p>
Лазерная головка LT-40W	<p>Низкая стоимость среди аналогов. Обширная документация по подключению, эксплуатации и обслуживанию.</p>
Концевой переключатель тактовый	<p>Поскольку для робототехнического устройства критически важно определять положение координатного нуля, необходимо наличие концевого датчика. Тактовый сенсор является самым финансово доступным и простым в настройке решением.</p>
Zum LCD smart controller	<p>Для отладки необходим дисплей. Данный модуль легко встраивается в прошивку, а также обладает достаточным разрешением для комфортного использования.</p>
Ramps 1.6	<p>Данная плата расширения для плат семейства Mega 2560, обладает качественными силовыми цепями, что делает работу устройства стабильной. Удобное подключение драйверов, моторов, сенсоров, экрана позволяет быстро и просто вносить изменения.</p>
Iskra Mega 2560	<p>Данное семейство контроллеров обладает достаточным объёмом памяти, количеством портов и вычислительной мощностью для поставленных задач. Выбор изготовителя сделан в пользу Amperka (Iskra), с целью импортозаместить комплектующие.</p>
Драйвер DRV8825	<p>Данный драйвер обладает дроблением шага 1/32 и высокой мощностью, в сравнении с A4988. Данный драйвер не тихий, однако стоимость гораздо ниже, чем у бесшумных TMS2225.</p>

Raspberry Pi3 model B	Платы семейства Arduino редко обладают достаточной вычислительной мощностью, достаточной для реализации машинного зрения.
Logitech BRIO	Данная камера обладает высоким разрешением, что положительно скажется на качестве получаемого портрета. Также камера обладает функцией автофокусировки, что также повышает чёткость изображения.

Технология проектирования соответствует принципу Waterfall. Выбор обусловлен условным разбиением проектом на две части, а также простотой работы по данному принципу.

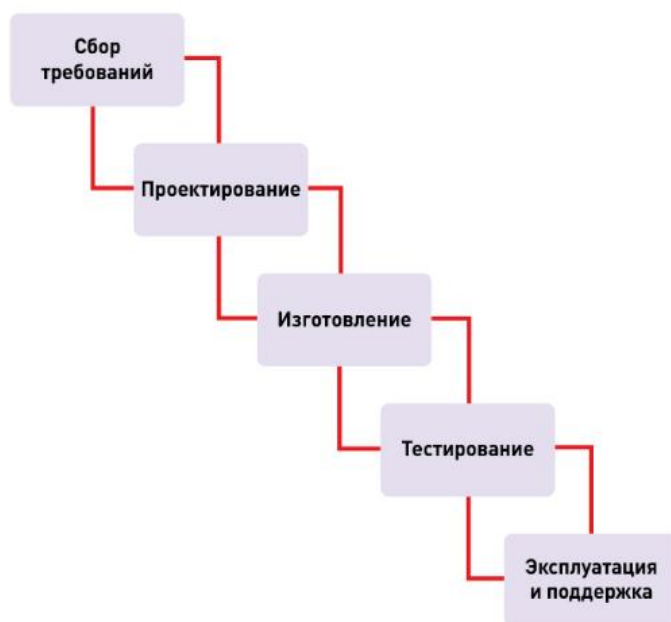


Рисунок 17 – диаграмма методологии Waterfall

2.4 Экономическая оценка

Себестоимость рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Себест-сть} = \text{Ст.мат.} + \text{Ст.эл.эн.} + \text{Аморт.об.}$$

Расчет стоимости материалов (Ст.мат.):

Детали и электронные компоненты на общую сумму 41999,12 Р

Таблица 7 – Используемые детали и их стоимость

Название	Количество	Цена	Стоимость
Зубчатый ремень замкнутый GT2-6 (ширина 6мм, длина 400мм)	2	314,00 Р	628,00 Р
Зубчатый ремень замкнутый GT2-6 (ширина 6мм, длина 200мм)	1	182,00 Р	182,00 Р
Зубчатый ремень замкнутый GT2-6 (ширина 6мм, длина 300мм)	2	134,00 Р	268,00 Р
Вал гладкий (направляющая) 10мм, 400мм	4	512,00 Р	2 048,00 Р
Винты М5	5	10,00 Р	50,00 Р
Подшипник упорный шариковый 35x52x12	2	307,50 Р	615,00 Р
Подшипник упорный шариковый 40x60x13	1	586,00 Р	586,00 Р
Ramps 1.6. - плата расширения для Arduino Mega 2560	1	925,00 Р	925,00 Р
Модуль Драйвер шагового двигателя DRV8825	3	281,00 Р	843,00 Р
Подшипник радиальный шариковый 8x22x7 мм	5	75,40 Р	377,00 Р
Винты М4	58	9,14 Р	530,12 Р
Гибкая муфта 6,35 мм, 8 мм, 10 мм	1	158,00 Р	158,00 Р
Линейные шарикоподшипники 10 мм x 19 мм x 29 мм	4	162,50 Р	650,00 Р
Подшипник 6807 2RS	2	224,00 Р	448,00 Р
Трапецевидный стержень Т8 с латунной гайкой, диаметр 8 мм, вывод 1 мм, длина 350мм	1	560,00 Р	560,00 Р
Винты М3	22	8,00 Р	176,00 Р
Винты М8	2	15,00 Р	30,00 Р
Шаговый двигатель Nema 17	3	660,00 Р	1 980,00 Р
Камера Logitech	1	13 400,00 Р	13 400,00 Р
Контроллер Iskra Mega	1	3 040,00 Р	3 040,00 Р
Контроллер Raspberry Pi 3 model B	1	9 200,00 Р	9 200,00 Р

Лазерная головка LT-40W	1	4 186,00 Р	4 186,00 Р
LCD - дисплей	1	1 119,00 Р	1 119,00 Р
Итого			41999,12 Р

Напечатанные детали на стоимость 2130 руб. Цена пластика 1.5руб./г.

Таблица 8 – себестоимость напечатанных деталей

Деталь	Стоимость	Время
Крепление лазера	48,97 Р	2:25:00
Крышка руки 2	122,70 Р	4:55:00
Крышка базы	70,43 Р	3:20:00
База	457,36 Р	18:08:00
Крепление камеры	3,96 Р	0:08:00
J1 муфта	114,09 Р	4:55:00
Зажимы стержня	89,04 Р	4:08:00
Верхняя крышка	76,69 Р	3:50:00
Крышка руки 1	68,40 Р	3:34:00
Рука 1	220,49 Р	9:00:00
Рука 2	194,02 Р	8:33:00
GT2 шестерня - 22-80 зубьев	19,22 Р	0:56:00
GT2 шестерня - 23-80 зубьев	19,45 Р	0:56:00
GT2 шестерня - 90 зубьев	29,43 Р	1:28:00
GT2 шестерня - 92 зубьев	29,31 Р	1:29:00
GT2 шестерня - 110 зубьев	42,59 Р	2:01:00
J2 муфта	60,58 Р	2:43:00
Нижняя плита z-оси	83,72 Р	3:30:00
Основная платформа Z-оси	221,95 Р	9:18:00
Крепление LCD дисплея	19,22 Р	0:56:00
Рамка LCD дисплея	70,43 Р	3:20:00
Крепление камеры	68,40 Р	3:34:00

$Ст.мат = 2130 + 41999 = 44129$ (руб.)

Стоимость электроэнергии (Ст.эл.эн.):

Мощность 3D-принтера 0.3кВт. Тариф на электроэнергию 2,95 р / (кВт*ч).

Суммарное время 93:17:00. Итоговая *Ст.эл.эн* = 82,55 руб.

Амортизация оборудования (*Аmort.об.*):

За два года работы 3D принтера Flying Bear Ghost 5 на комплектующие было потрачено около 4000 руб. Следовательно на амортизацию оборудования при печати одного робота необходимо заложить *Аmort.об.* = 20 руб.

Стоимость труда (*Ст.тр.*):

Оплата труда оператора 3D-принтера, схемотехника, сборщика и программиста, исходя из средних зарплат специалистов по региону, составит *Ст. тр.* = 7500 руб.

Себестоимость = 51 731 руб.

Реализация:

Цена продажи: 70000 руб.

Налоговые отчисления: 4% от оплаты труда каждого сотрудника как самозанятых (договор ГПХ), 20% НДС, суммарно 5900руб.

Прибыль: 12 369 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была выявлена проблема, проведён её анализ, а также анализ существующих решений. Для создания собственного решения был проведён анализ различных кинематических схем, электрических компонентов, материалов. Поставленные задачи выполнены, цель достигнута.

Данный проект получился экономически эффективным, однако с внедрением его в массовое производство возникнут сложности, поскольку данное решение основано на open-source проекте. В дальнейшем планируется заменить все детали исходного решения на свои собственные. Это позволит без существенного увеличения себестоимости проекта организовать производство.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Печатные издания:

1. Бейктал Дж., Конструируем роботов на Arduino.
2. Пёрышкин, Учебник физики 8, 9 классы
3. Джереми Блум., изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства.
4. Таранушенко С., Arduino, датчики и сети для связи устройств
5. В.Г. Клоков, Расчет зубчатых передач: Учебное пособие. Часть 1. - 2-е издание
6. Калашников С.Н., Калашников А.С. Зубчатые колеса и их изготовление
7. Филиппов С.А., Уроки робототехники. Конструкция. Движение. Управление

Электронные издания:

8. <http://arduino.ru>
9. <https://amperka.ru>
10. <http://wiki.amperka.ru>
11. <https://www.youtube.com>
12. <https://marketing.rbc.ru/>
13. <https://skysmart.ru/articles/useful/top-10-aktualnyh-specialnostej>
14. <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-razvitiya-obraznogo-tvorcheskogo-myshleniya-u-mladshih-shkolnikov/>
15. <https://eam.su/peredachi-ix-vidy-frikcionnye-remennye-cepnye-zubchatye-chervyachnye.html>

Депонированные научные работы

16. Анализ механических передач электрических рулевых приводов применительно к задаче проектирования малогабаритного летательного аппарата. Текст научной статьи по специальности «Электротехника, электронная техника, информационные технологии» Эльсесер Григорий Павлович; Васильев Александр Анатольевич

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями:

1. 3D – принтер – станок с ЧПУ, реализующий только аддитивные операции, то есть добавляющий порции материала к заготовке.
2. Лазерный станок – это оборудование, генерирующее стабильный луч высокой температуры, который падает на поверхность обрабатываемой заготовки малым световым пятном с высокой концентрацией энергии.
3. Физика – наука о законах природы.
4. Контроллер – устройство, управляющее работой внешних узлов.
5. Бета-тестирование – интенсивное использование почти готовой версии продукта с целью выявления максимального числа ошибок в его работе для их последующего устранения перед окончательным выходом продукта на рынок, к массовому потребителю.
6. Qr-код – это тип матричных штриховых кодов.
7. Робототехника – прикладная наука, занимающаяся разработкой автоматизированных технических систем.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

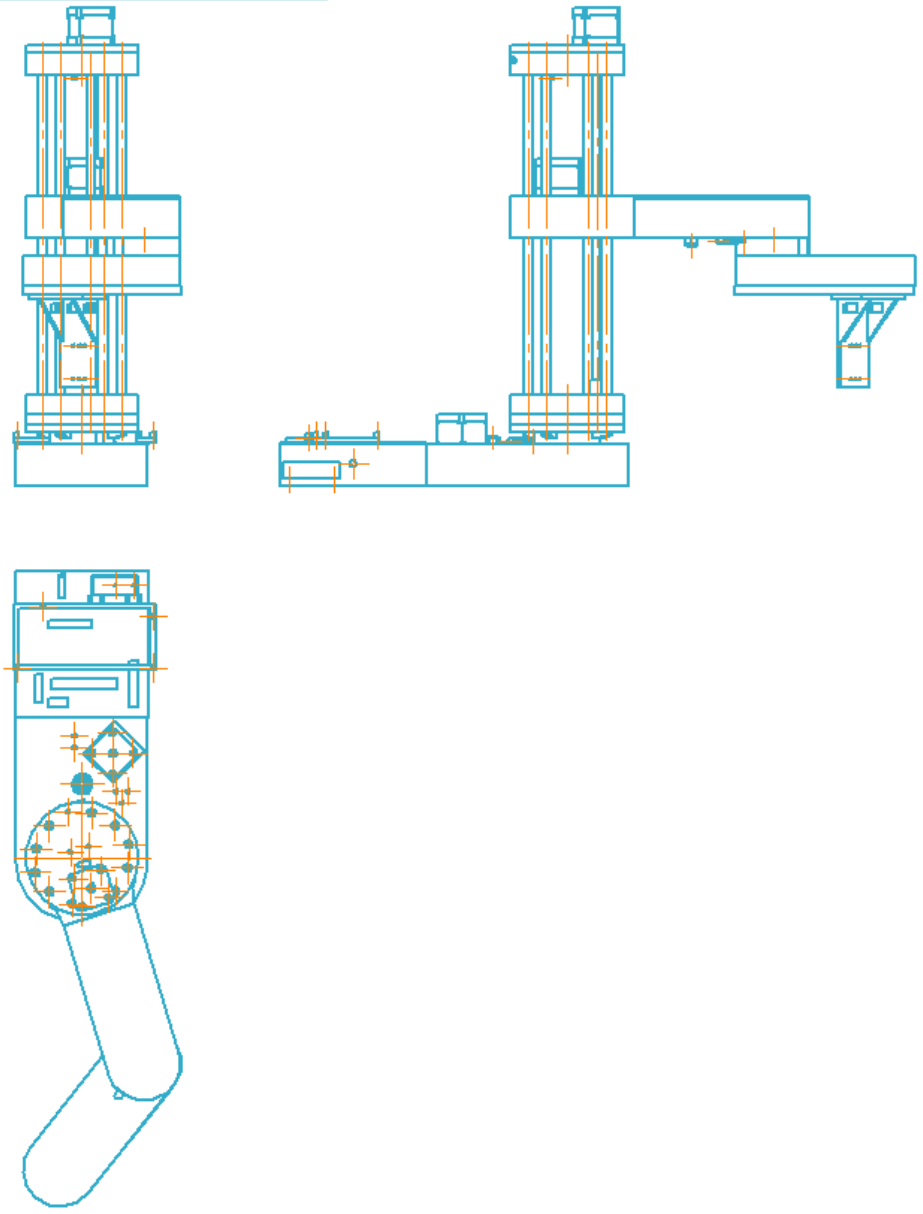
В настоящем отчете о НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

1. ЧПУ – числовое программное управление.
2. Опорный проект – open-source проект, на базе которого разрабатывалось данное решение.
3. Ст.Мат. – стоимость материала
4. Ст.тр. – стоимость труда
5. Ст.Эл.Эн – стоимость электроэнергии
6. Аморт.Об. – амортизация оборудования

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ЧЕРТЕЖИ

SCARA Robot 3D Model



						<i>SCARA Robot 3D Model</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Robot</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Логинов</i>							
<i>Проб.</i>								
<i>Т.контр.</i>								
<i>Н.контр.</i>								
<i>Утв.</i>					<i>Лист</i>	<i>Листов</i>	<i>1</i>	

Не для коммерческого использования
Копировал
Формат A4

Рисунок 18 – общий вид устройства

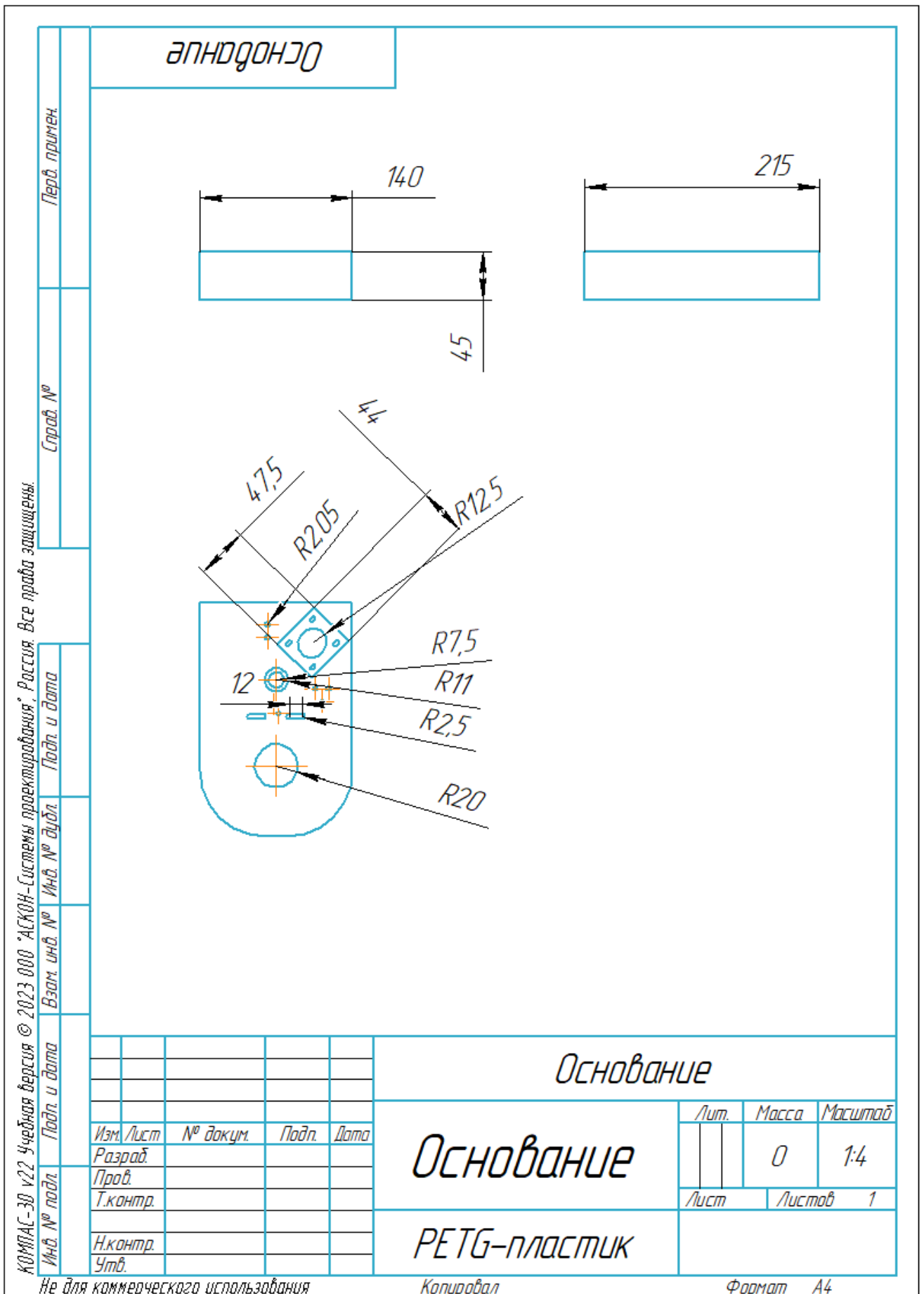


Рисунок 19 – чертёж основания

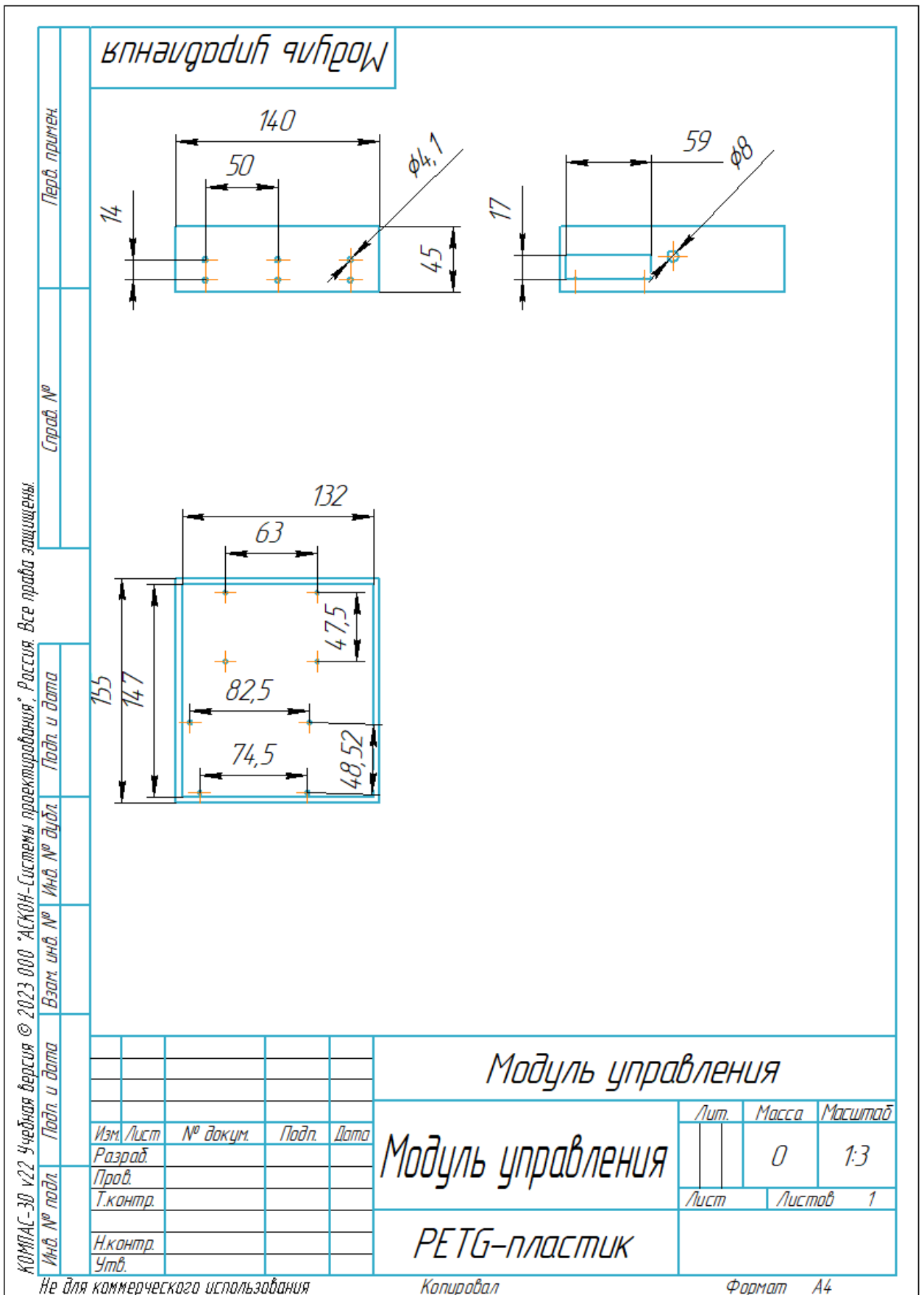


Рисунок 20 – чертёж модуля управления

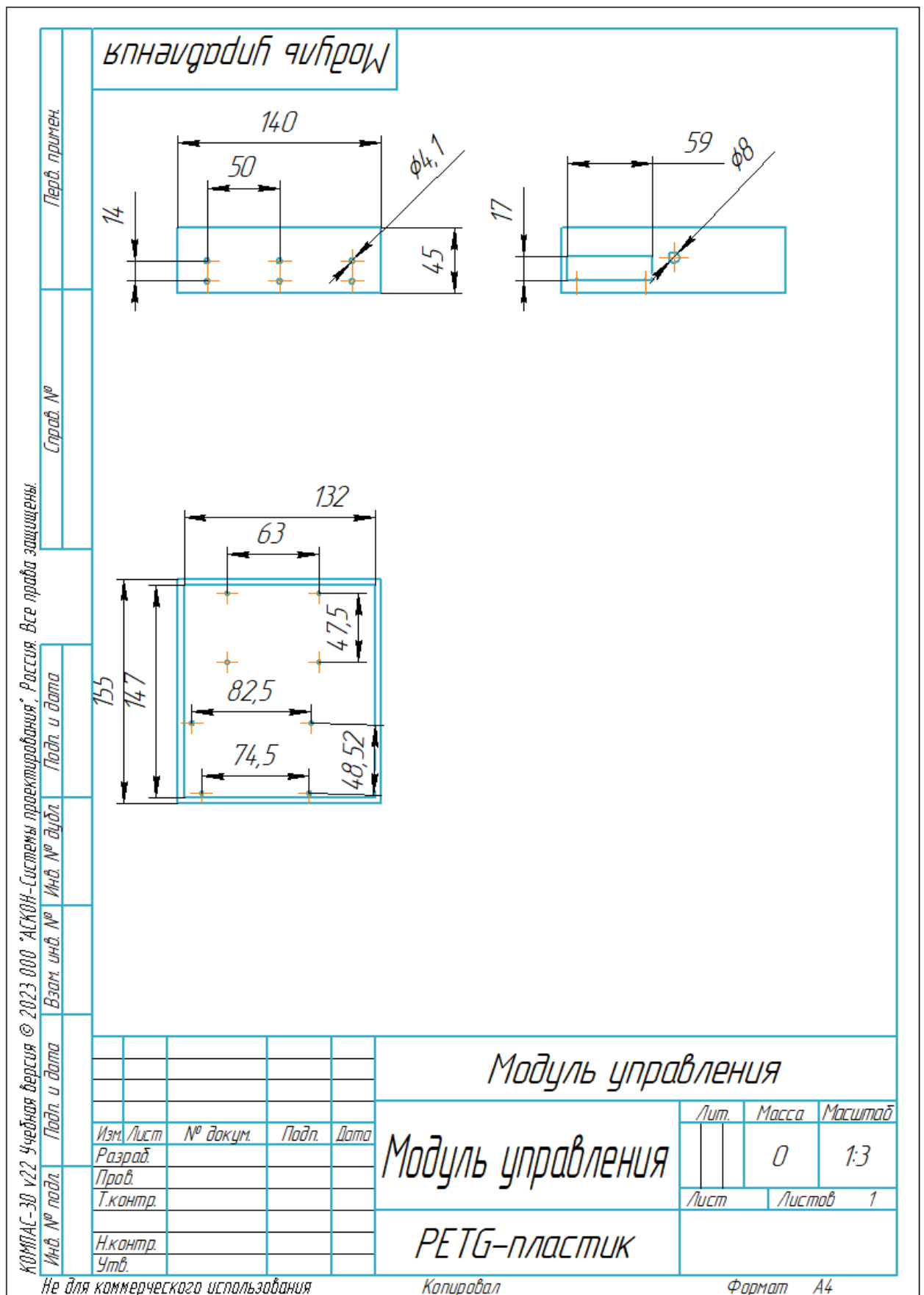


Рисунок 21 – чертёж модуля управления

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ЛИСТИНГИ

```
77 #define MP_SCARA
78 #if EITHER(MORGAN_SCARA, MP_SCARA)
79 // If movement is choppy try lowering this value
80 #define SCARA_SEGMENTS_PER_SECOND 100
81 // Length of inner and outer support arms. Measure arm lengths precisely.
82 #define SCARA_LINKAGE_1 228 // (mm)
83 #define SCARA_LINKAGE_2 130 // (mm)
84 // SCARA tower offset (position of Tower relative to bed zero position)
85 // This needs to be reasonably accurate as it defines the printbed position in the SCARA space.
86 #define SCARA_OFFSET_X 300 // (mm)
87 #define SCARA_OFFSET_Y 150 // (mm)
88 #if ENABLED(MORGAN_SCARA)
89 // #define DEBUG_SCARA_KINEMATICS
90 #define SCARA_FEEDRATE_SCALING // Convert XY feedrate from mm/s to degrees/s on the fly
91 // Radius around the center where the arm cannot reach
92 #define MIDDLE_DEAD_ZONE_R 0 // (mm)
93 #define THETA_HOMING_OFFSET 0 // Calculated from Calibration Guide and M360 / M114. See http://reprap.harleystudio.co.za/?page\_id=1073
94 #define PSI_HOMING_OFFSET 0 // Calculated from Calibration Guide and M364 / M114. See http://reprap.harleystudio.co.za/?page\_id=1073
95 #elif ENABLED(MP_SCARA)
96 #define SCARA_OFFSET_THETA1 0 // degrees
97 #define SCARA_OFFSET_THETA2 0 // degrees
98 #endif
99 #endif
```

Рисунок 22 – конфигурация инверсивной кинематики

```
599 // Comment the following line to disable PID and enable bang-bang.
600 #define PIDTEMP
601 #define BANG_MAX 255
602 #define PID_MAX BANG_MAX
603 #define PID_K1 0.95
```

Рисунок 23 – конфигурация ПИД-регуляторов

```
782 // Specify here all the endstop connectors that are connected to any endstop or probe.
783 // Almost all printers will be using one per axis. Probes will use one or more of the
784 // extra connectors. Leave undefined any used for non-endstop and non-probe purposes.
785 #define USE_XMIN_PLUG
786 #define USE_YMIN_PLUG
787 // #define USE_ZMIN_PLUG
788 // #define USE_IMIN_PLUG
789 // #define USE_JMIN_PLUG
790 // #define USE_KMIN_PLUG
791 // #define USE_XMAX_PLUG
792 // #define USE_YMAX_PLUG
793 #define USE_ZMAX_PLUG
794 // #define USE_IMAX_PLUG
795 // #define USE_JMAX_PLUG
796 // #define USE_KMAX_PLUG
```

Рисунок 24 – конфигурация максимальных/минимальных положений осей

```
869 #define X_DRIVER_TYPE DRV8825
870 #define Y_DRIVER_TYPE DRV8825
871 #define Z_DRIVER_TYPE DRV8825
```

Рисунок 25 – конфигурация драйверов шаговых двигателей

```

931  * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
932  * Override with M92
933  *
934  *           X, Y, Z [, I [, J [, K]]], E0 [, E1[, E2...]]
935  #define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 355.5, 284.4, 6400, 93 }
936
937  /**
938  * Default Max Feed Rate (mm/s)
939  * Override with M203
940  *
941  *           X, Y, Z [, I [, J [, K]]], E0 [, E1[, E2...]]
942  */
943  #define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 1000, 1000, 2.5, 25 }
944
945  // #define LIMITED_MAX_FR_EDITING // Limit edit via M203 or LCD to DEFAULT_MAX_FEEDRATE * 2
946  #if ENABLED(LIMITED_MAX_FR_EDITING)
947  #define MAX_FEEDRATE_EDIT_VALUES { 600, 600, 10, 50 } // ...or, set your own edit limits
948  #endif
949
950  /**
951  * Default Max Acceleration (change/s) change = mm/s
952  * (Maximum start speed for accelerated moves)
953  * Override with M201
954  *
955  *           X, Y, Z [, I [, J [, K]]], E0 [, E1[, E2...]]
956  */
957  #define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 1000, 1000, 10, 20000 }
958
959  // #define LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING // Limit edit via M201 or LCD to DEFAULT_MAX_ACCELERATION * 2
960  #if ENABLED(LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING)
961  #define MAX_ACCEL_EDIT_VALUES { 6000, 6000, 200, 20000 } // ...or, set your own edit limits
962  #endif

```

Рисунок 26 – конфигурация шагов на мм, ускорений, скоростей по каждой оси

```

1328 #define INVERT_X_DIR false
1329 #define INVERT_Y_DIR false
1330 #define INVERT_Z_DIR true

```

Рисунок 27 – конфигурация направлений осей

```

1375 // The size of the printable area
1376 #define X_BED_SIZE 600
1377 #define Y_BED_SIZE 450
1378
1379 // Travel limits (mm) after homing, corresponding to endstop positions.
1380 #define X_MIN_POS 0
1381 #define Y_MIN_POS 0
1382 #define Z_MIN_POS 0
1383 #define X_MAX_POS X_BED_SIZE
1384 #define Y_MAX_POS X_BED_SIZE
1385 #define Z_MAX_POS 140
1386 // #define I_MIN_POS 0
1387 // #define I_MAX_POS 50
1388 // #define J_MIN_POS 0
1389 // #define J_MAX_POS 50
1390 // #define K_MIN_POS 0
1391 // #define K_MAX_POS 50

```

Рисунок 28 – конфигурации зоны печати

```

1728 // Manually set the home position. Leave these undefined for automatic settings.
1729 // For DELTA this is the top-center of the Cartesian print volume.
1730 #define MANUAL_X_HOME_POS 312.72
1731 #define MANUAL_Y_HOME_POS -214.28
1732 // #define MANUAL_Z_HOME_POS 0

```

Рисунок 29 – координаты положения home