

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева



Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

Таиров Артур Равшанбекович

Проектирование мехатронного комплекса для чистки и уборки в общественных
местах

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071600 – Приборостроение

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой РТиТСА
кандидат техн. наук

К. А. Ожикенов
«28» мая 2022 г.



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

На тему: «Проектирование мехатронного комплекса для
чистки и уборки в общественных местах»
по специальности 5В071600 – Приборостроение

Выполнил

Таиров А. Р.

Рецензент

Научный руководитель

Доктор PhD

Ассоциированный профессор

Ешмухаметов А. Н.

Доктор технических наук
Ассоциированный профессор
Джамартов А. А.
«25» мая 2022 г.

«24» мая 2022 г.

Алматы 2022

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт автоматики и информационных технологий

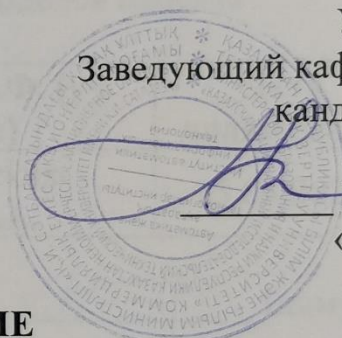
Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

5B071600 – Приборостроение

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой РТиТСА
кандидат техн. наук

К. А. Ожикенов
«28» мая 2022 г.



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Таирову Артуру Равшанбековичу

Тема: Проектирование мехатронного комплекса для чистки и уборки в общественных местах

Утверждена приказом Ректора Университета №489-п от «24» декабря 2021 г.

Срок сдачи законченной работы «28» мая 2022 г.

Исходные данные к дипломному проекту: Arduino IDE

Перечень подлежащих разработке вопросов в дипломном проекте:

- а) вычитка, подбор компонентов для рабочего концепта
- б) сборка блока питания
- в) построение связанных чертежей и схем

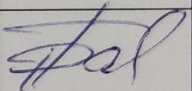
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Представлены 15 слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: 16 наименований

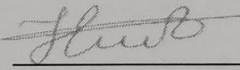
ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Изучение сборочных элементов	22.03-25.04.2022 г.	Выполнено
Работа с Arduino IDE	20.04-2.05.2022 г.	Выполнено
Построение модели	15.04-2.05.2022 г.	Выполнено

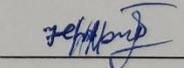
Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченный проект с указанием
относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Магистр технических наук, Баянбай Н.А.	25.05.2022	

Научный руководитель

 Ешмухаметов А. Н.

Задание принял к
исполнению обучающийся

 Таиров А. Р.

Дата

«17» ноября 2021 г.

АННОТАЦИЯ

Данный дипломный проект направлен на превентивную борьбу с грязью на полу в общественных местах путём создания улучшенного варианта мехатронного средства для очистки обувных подошв.

Основной целью работы является создание рабочего концепта портативного и удобного устройства с многоразовым применением, что будет устанавливаться в уборных, гардеробных, медицинских учреждениях или на входе/выходе из помещений с не лучшими санитарными условиями.

В работе приведён теоретический базис, необходимый для понимания выбора того или иного элемента, использованного в проекте, и подробное описание его роли, а также схемы по сборке проекта.

ABSTRACT

This project is developed as a mean of overcoming the issue of having dirty floors on public places by making an improved “Quality of life” version of the device for cleaning foot soles.

The main point is to develop real working concept of a cleaning complex as a portable and multi-usable solution, which can then be installed on washrooms, medical institutions, closets or in any kind of public places with poor sanitary conditions.

The paperl provides a theoretical basis necessary for understanding how or why certain elements were chosen, their purpose, detailed description, and some electrical circuits with explanations and analysis.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жоба аяқ киім табанын тазартуға арналған мехатронды құралдың жетілдірілген нұсқасын жасау арқылы қоғамдық орындардағы едендегі кірмен алдын-ала күресуге бағытталған.

Жұмыстың негізгі мақсаты дәретханаларда, киім ілетін орындарда, медициналық мекемелерде немесе санитариялық жағдайлары жақсы емес үй-жайларға кіре беріс пен шыға берісте орнатылатын көп рет қолданылатын портативті және ыңғайлы құрылғының жұмыс тұжырымдамасын жасау болып табылады.

Жұмыста жобада қолданылатын белгілі бір элементті таңдауды түсіну үшін қажет теориялық негіз және оның рөлінің егжей-тегжейлі сипаттамасы, сондай-ақ жобаны құру схемасы берілген.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Концепция и основные понятия	10
1.1	Возникновение идеи и подводка	10
1.2	Изучение состава половой грязи	10
1.3	Анализ рынка	11
2	Основные сборочные элементы	15
2.1	Электродвигатели	15
2.2	Обзор платы	20
2.3	Питание	22
2.4	Включение прибора	23
3	Сборка устройства	25
	Заключение	27
	Список использованной литературы	28
	Приложение А	29
	Приложение Б	30
	Приложение В	32

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире, где царствует эпоха глобализации, когда важно не то, кто ты или откуда ты, сколько твои навыки, как никогда важным становится вопрос улучшения качества жизни. Обеспечение хороших условий на рабочем месте является главным фактором для выбора работодателя, и что же может являться первым критерием оценки этих самых условий? Чистота в помещении. Так как главным источником грязи в помещении является уличная грязь, а людей в таком количестве (в офисах, торговых центрах, помещениях с массовым скоплением людей) принудить снимать обувь достаточно тяжело, и к повышению уровня чистоты в помещениях это не приведёт. Данная разработка позволит сделать процесс чистки подошв обуви более обыденным и не требующим каких-либо усилий, что, в свою очередь, сделает чище всё окружение и повысит санитарные качества любого рабочего пространства.

Будучи до конца честным, данный проект не является чем-то принципиально новым — подобные девайсы уже были сделаны в Германии в начале нулевых. Принципиальное отличие конкретно этой разработки в идейных улучшениях, направленных на улучшение качества жизни — все предыдущие концепции подразумевали чистку ногой о закреплённый стационарно щёточный вращающийся валик, тут же достаточно просто разместить ногу в девайсе, и он сам проведёт все необходимые процедуры. О ходе разработки и моей реализации этой идеи я и расскажу далее.

1 Концепция и основные понятия

1.1 Возникновение идеи и подводка

В ходе последних написание работы событий в лице коронавирусного кризиса и пандемии, возрос спрос на товары, обеспечивающие более высокие санитарные стандарты. Никто не хочет, чтобы пандемия повторилась, посему стоит решать проблему до момента, когда она получит своё развитие. К борьбе с грязью в общественных местах можно подойти разными путями - проветриванием, дезинфекцией поверхностей и мест, которых люди часто касаются, чисткой полов. Также в качестве меры борьбы с распространением инфекции можно отнести ограничение контактов людей через касания.

К товарам, повышающим санитарные стандарты, можно отнести всякого вида дозаторы антисептиков, дезинфицирующие рамы, и, как ни странно, роботы-пылесосы. Повышение спроса на данную категорию товаров, в свою очередь, может говорить о повышении уровня жизни населения и готовности на подобного рода траты. Была и ещё одна незаслуженно малоизвестная категория бытовой (или околбытовой) техники, вызвавшей у меня интерес. Это – обувные чистильщики, разработанные в допандемийное время и без учёта современных санитарных реалий. В ходе работы я предложу свои способы решения данного вопроса на уровне изменения подхода к конструкции девайса. Работа организована в следующем порядке: постановка проблемы рассмотренная в этом разделе, её актуализация через исследование состава половой грязи, анализ существующих устройств на рынке, обзор составных компонентов моего решения с подробным их описанием, дальнейшая сборка всех компонентов в одно целое, а также планы по развитию аппарата.

1.2 Изучение состава половой грязи

Вопреки убеждениям большинства, домашняя пыль не состоит преимущественно из чешуек кожи [5]. Исходя из исследования Университета Аризоны компьютерным моделированием, было выявлено, что в жилом помещении большая часть пыли берётся не из-за грязной обуви или одежды, а попутно с воздухом, из взвеси. За две недели в одной комнате за закрытыми окнами на пол может осесть порядка двенадцати тысяч частиц на 1 см², в состав которых входит 35% минеральных частиц, 19% частиц отмершего эпидермиса, 12% тканевых волокон, 7% пылицы и 3% продуктов горения (дым, сажа). Остальные 24% имеют неизвестное происхождение, что отчасти может быть и космической пылью [3]. Однако простая чистка пола может значительно сократить количество пыли на горизонтальных поверхностях и мебели. Очистка же подошвы способна частично предотвратить занесение грязи в помещение, сокращая и её количество в воздухе от повторного взвешивания, и,

следовательно, сокращая её количество на поверхностях, где она может осесть. Пылью, упоминаемой в исследованиях, может стать только мелкая грязь (по определению пылью считают частицы диаметром от долей микрона до 0.05 мм), только вот чистка подошвы избавляется не только от мелкой пыли, но ещё и от крупной грязи, которая, согласно более расширенному определению слова "пыль", может иметь размер, сопоставимый с диаметром гипотетической сферы плотностью 1г/см^3 с той же скоростью оседания в невозбуждённом воздухе, что и рассматриваемая частица, вне зависимости от её геометрических параметров и истинной плотности. Говоря более простым языком, пылью может считаться любая частица, способная удерживаться в воздухе в течение некоторого времени за счёт одних лишь естественных сил (потоков воздуха) [4], и нет сомнений, что подобная грязь есть у нас на подошвах.

1.3 Анализ рынка

Начать разработку бы стоило с анализа рыночной ситуации. В Казахстане устройства для очистки обуви не представлены, посему рассматривать придётся глобальную картину. Среди крупных игроков на рынке можно подчеркнуть немецкие устройства компании Blue Level Cleaning Systems. Они изготавливают как станции для чистки подошв (линейка устройств Sole Cleaning machine), так и устройства для ухода за кожаной обувью (все остальные Shoe cleaner'-ы) в этом сегменте. Из более близких к нам выделяется российская фирма ГИЯР, занимающаяся разработкой примерно того же класса устройств. Ассортимент в данном сегменте у фирмы ГИЯР не очень богат, и в основном составляет конкуренцию крайне похожими аналогами из линеек Shoe polish machine и Shoe cleaning machine с, разумеется, более низкими и приемлемыми для региона ценами.



Рисунок 1.1 – Sole cleaning machine DRY 90

Аппараты фирмы Blue Level Cleaning Systems [2] могут похвастаться немецким качеством сборки и надёжностью материалов. Рассматриваемая модель была собрана в 2007 году. Включается аппарат кнопкой внизу, что удобно для нажатия ногой. Конструктивно же их модели выглядят несколько устаревшими (рис. 1.1) и собранными в "заводской эстетике", что, в отношении дизайна, публичным местам не подходит - такая машина будет отпугивать потенциального пользователя. Схема расположения валиков для очистки обуви, как видно из Рисунка 1.2, и является набором из четырёх вращающихся в одном направлении щёток (внешней стороной от пользователя), дабы грязь не летела обратно, а копилась в специальном поддоне-контейнере. Также присутствуют нейлоновые щётки для чистки боковин и ранта. Как понятно из названия, аппарат осуществляет чистку «на сухую».

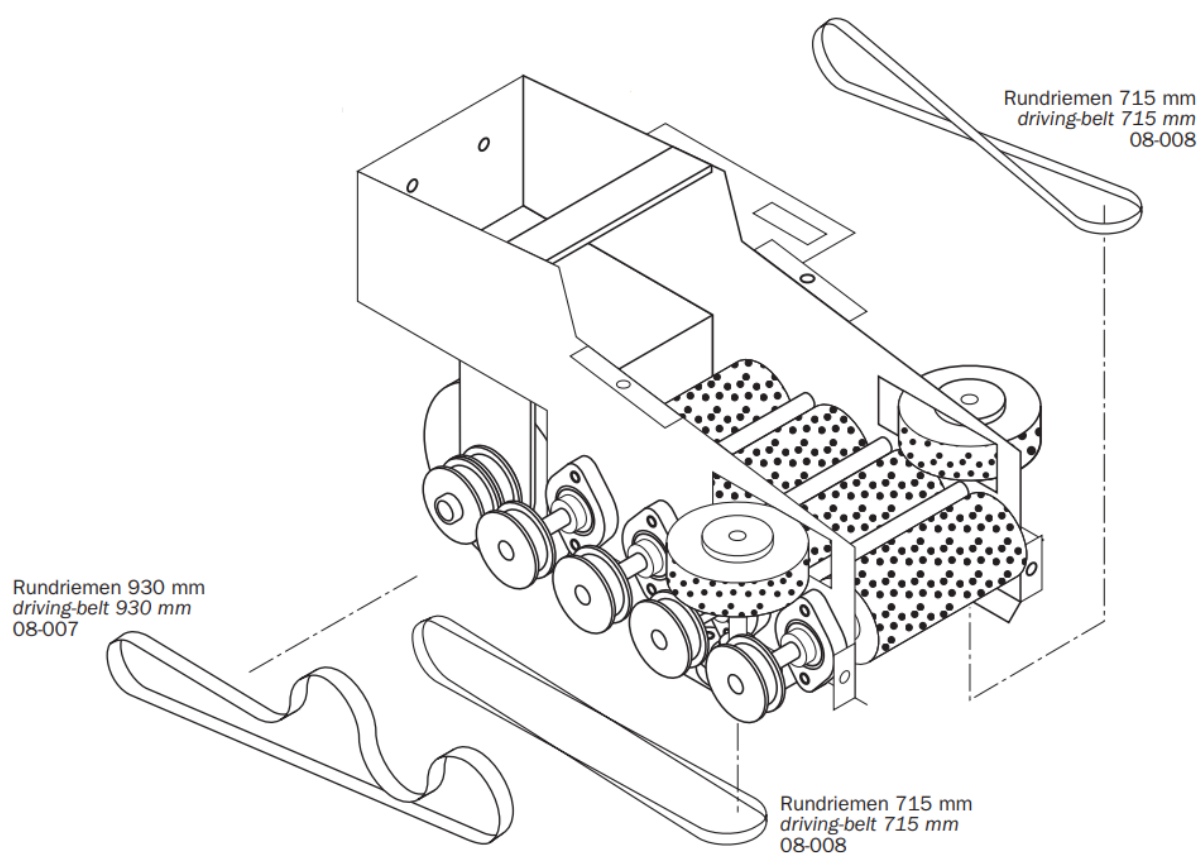


Рисунок 1.2 – Datasheet Sole Cleaning machine DRY 90 [2]

Благодаря замечательному немецкому инженерному подходу, к аппарату прилагается подробный datasheet, в котором представляется возможным рассмотреть схему сборки в деталях. Как видно из чертежа на Рисунке 1.2, основная система, что приводит в движение набор чистящих валиков, сделана с использованием ремневого привода и шкивов. Преимущество подобного подхода в том, что мощность распределяется между всеми валиками равномерно, и в случае избыточного давления (вплоть до торможения) на валик, ремень

может просто начать проскальзывать (если, конечно, двигатель на 180 Ватт возможно остановить ногой и устоять при этом). Не сказал бы, что это хорошо, ведь происходит износ ремня ввиду повышенного трения и нагрева, но так, по крайней мере, не осуществляется торможение электродвигателя напрямую.

Фирма ГИЯР собирает свои машинки на заводе "Эко Лайн" в России [1]. Первые упоминания о конкурентоспособных устройствах датируются 2016 годом. Их дизайн (рис. 1.3) уже больше подходит для офисных помещений или публичных пространств, также они занимают намного меньше места. Устройства "Эко Лайн" положительно отличаются своей гибридностью - они подходят как для чистки подошвы, так и для полировки кожаной обуви. Включение производится кнопкой, находящейся в опорной ручке, также предусмотрена функция автовыключения в течение минуты. В гибридном аппарате, как видно на Рисунке 1.3, имеется только одна щётка для чистки подошвы, что менее удобно. Также отсутствует возможность очистки ранта и боковин ботинка. Подробный datasheet отсутствует, однако на сайте производителя указано, что все щётки приводятся в движение ремневым приводом, а мощность двигателя достигает 120 Ватт.



Рисунок 1.3 – Эко Лайв Royal Compact

В отношении чистящего функционала выигрывает немецкая модель Sole Cleaning machine DRY 90 – большее число чистящих щёток увеличивает скорость применения девайса, что очень важно для потенциального

пользователя. К тому же, там имеется замечательная опция для грубой очистки ранта, что встречается в девайсах такого назначения крайне редко. В обоих аппаратах включение производится непосредственно нажатием кнопки – в случае применения девайса в общественных местах, данная кнопка быстро превратится в место распространения разного рода инфекций. Наличие поручней для опоры также не способствует улучшению санитарного фона по схожим причинам. Я постараюсь разработать практичный и интуитивно понятный дизайн, не требующий ни наличия поручней для пользования аппаратом, ни кнопок.

2 Основные сборочные элементы

Исходя из области применения устройства, необходимо правильно выбрать подход к сборке и типы материалов. В ходе эксплуатации не исключён контакт с водой, едкой грязью, мелкими камнями. Вес не должен являться проблемой, поскольку, чем его больше, тем меньше будет у аппарата средств для того, чтобы убежать из-под клиента в ходе работы.

2.1 Электродвигатели

Дабы обеспечить устройству эффективную работу, следует правильно выбрать основной двигатель. Данный аппарат будет осуществлять свою работу без использования пневматики или гидравлики ввиду сложности их подключения, посему самым простым, дешёвым и компактным вариантом является электродвигатель. Согласно ГОСТу 183-74 [6], электродвигатели классифицируют по следующим режимам работы:

- Продолжительный - S1. Характеризуется продолжительной работой от сети с неизменной нагрузкой. Нагрев происходит до рабочей температуры без изменения параметров выдаваемой мощности.
- Кратковременный - S2. Работает непродолжительное время с допустимым нагревом, за время простоя успевает остыть до внешней температуры.
- Повторно-кратковременный - S3. Не перегревается, но в отличие от кратковременного, при остановке остыть до внешней температуры не успевает.
- Повторно-кратковременный с частыми пусками - S4. Работает циклично, число пусков примерно равно продолжительности работы.
- Повторно-кратковременный с электрическим торможением - S5. Каждый цикл работы сопровождается принудительной остановкой аппарата.
- Переодический режим - S6. Чередование нагрузки и холостого хода, повторяющиеся циклы работы, предельного нагрева не происходит.
- Переодический режим с торможением - S7. Как и S6, но в конце цикла производится торможение.
- Продвинутый периодический - S8. Кратковременная нагрузка, изменяемая количеством оборотов в единицу времени.

В нашем случае будет применяться кратковременный режим работы преимущественно, поскольку поток людей, желающих чистить обувь, не будет постоянным, а даже если так, между каждым человеком аппарат будет вставать на паузу. В электродвигателях частота вращения и крутящий момент являются следствием взаимодействия вращающегося магнитного поля и ротора. Так получается, что магнитное поле обмоток ротора стремится "догнать" магнитное поле статора. Процентную разницу отставания частоты вращения ротора и статора называют скоростью скольжения. Чем выше нагрузка, оказываемая на

двигатель, тем больше скольжение. Из этого следует, что скольжение - основной параметр двигателя, что характеризует его нагрузку и режим работы. Величина магнитного поля зависит от конструкции статора - геометрических особенностей и материалов. Частота тока и напряжение также играют роль в результирующем вращательном моменте, как показано на Рисунке 2.1 [9]. Мощность же электродвигателя является связующим звеном между частотой вращения и вращающим моментом.



Рисунок 2.1 – Влияние изменения напряжения на вращательный момент

Нагрузка на валу при выборе двигателя также играет немалую роль. Необходимо понимать, какие нагрузки будет испытывать двигатель, и уже от этого отталкиваться в своём выборе - это поможет определиться с необходимым для задачи вращательным моментом и скоростью вращения. Наиболее нагруженные части двигателей – это, как правило, подшипниковые узлы, из чего следует понимать, каким внешним осевым и радиальным усилиям будет подвергаться двигатель со стороны нагрузки.

Учитывая, что электродвигатели для своей работы используют магнитное поле, применение большой нагрузки на электромотор может привести к перегреву обмоток. Решить проблему можно несколькими способами - снизить нагрузку на мотор понижением передаточного числа, либо обеспечить принудительный сброс нагрузки при достижении критических её значений. С этим отчасти может справиться ременный привод - если сопротивление вращающихся валиков будет слишком велико, ремень начнёт проскальзывать между шкивами. К тому же, использование редуктора может также обеспечить

прирост вращательного момента двигателя снижением итоговых оборотов вала.

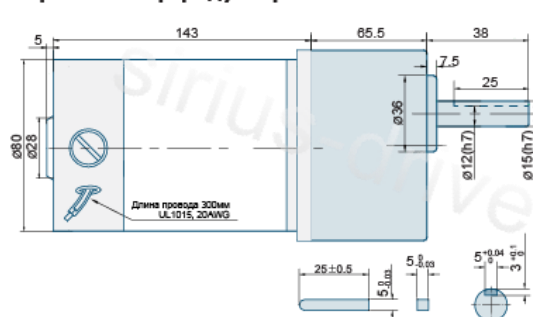
Мотор-редуктор - это своеобразный выход для маломощных двигателей в мир станкостроения и электроинструментов, где необходим большой момент силы и высокий крутящий момент при небольшом количестве оборотов вала в минуту. Увеличение крутящего момента обратно пропорционально уменьшению скорости вращения. Различают несколько типов редукторов: цилиндрические, червячные и планетарные [10].

- Цилиндрические редукторы отличаются возможностью кастомизации – можно изменять передаточные числа. Не самое дешёвое решение и сложная конструкция компенсируются высоким КПД и малым размером.
- Червячные редукторы плавно разгоняются и тормозят, но обладают самым низким КПД, и способны работать только на средних оборотах. Также могут передавать крутящий момент под прямым углом.
- Планетарные редукторы больше по размеру, чем цилиндрические, но самые надёжные и эффективные среди всех редукторов в плане КПД.

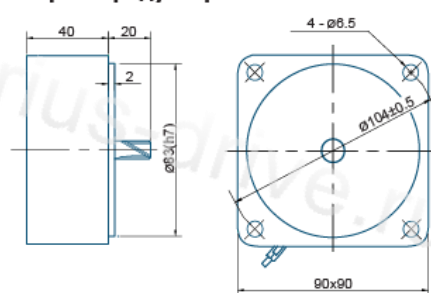
В основном моторы-редукторы применяют для задач, где необходимо управление крутящим моментом, resultирующее в управлении мощностью, а также для задач, где необходима регулировка скорости двигателя.

Двигателем, подходящим по всем параметрам, является электрический мотор-редуктор постоянного тока модели Z5D90-24GU, изображённый на Рисунке 2.2. Он оснащён зубчатым валом, что впоследствии облегчит крепление к нему шкива.

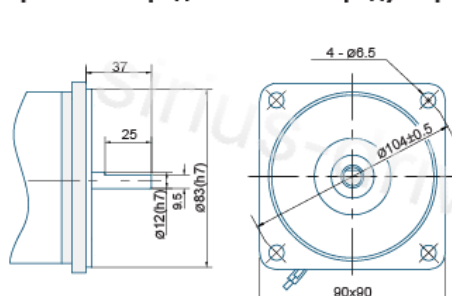
Чертеж мотор-редуктора Z5D90



Чертеж редуктора 2GN10XK



Чертеж электродвигателя без редуктора



Чертеж редуктора с ушками

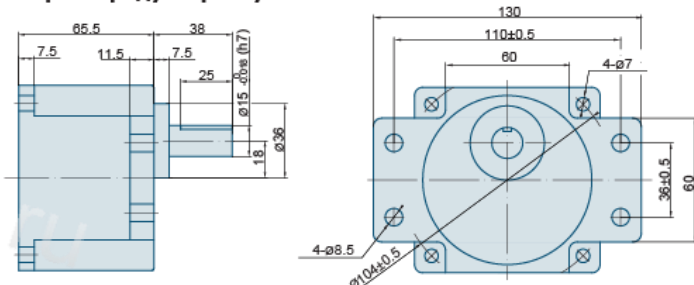


Рисунок 2.2 – Редукторный электродвигатель Z5D90-24GU

Его характеристики, согласно datasheet-у [7]:

- Мощность двигателя: 90 Вт;
- Напряжение питания: 24 В постоянного тока;
- Потребляемый ток: 5 А (в нагрузке), 1 А без нагрузки;
- Температурный диапазон: -10°C - $+40^{\circ}\text{C}$;
- Номинальная скорость вращения: 2800 RPM
- Передаточное число редуктора: 7.5;
- Крутящий момент: 1.86 Н*м ;
- Вес: 3.7 кг (2.2 – двигатель, 1.5 – редуктор).

Учитывая опыт уже существующих устройств, я предпочту использовать схему размещения из трёх чистящих валиков, приводимых в движение одним двигателем на шкивах и ременный тяге. Валики и двигатель закрепляются на подвижной каретке, что будет совершать поступательные движения в пределах пяти сантиметров для обеспечения полного доступа щёток к подошве пользователя. Дабы ограничить прилегание ноги к щёткам, необходимо сделать её поддержку - в её роли выступают два параллельных металлических прута, протянутых поверх валиков. Данное ограничение необходимо для того, чтобы не вызвать в процессе эксплуатации случайное полное торможение двигателя, застопорив вращение движимых частей. В теории это должно ограничить максимально возможный нагрев двигателя и снять с него нагрузку в пике. Для движения каретки задействуются два шаговых двигателя, работающих через драйвер, вращающихся в противоположных направлениях - они через зубчатые колёса будут осуществлять подачу и возврат каретки по мере работы аппарата.

Шаговый двигатель относится к типу бесщёточных синхронных электрических двигателей. Главная его особенность заключается в роторном вращении, и характеризуется дискретностью угловых перемещений, что приводит к невероятно точной работе в сравнении с обычными двигателями постоянного тока. Подача потенциала на обмотки результирует в повороте на строго определённый угол, что можно использовать в работе с зубчатыми механизмами. Также, из-за особенности конструкции, до определённого момента исключается вероятность произвольной прокрутки шестерней, присоединённых к нему. Эффект также можно усилить добавлением двигателю редуктора. Для поставленной задачи вполне себе сгодится пара шаговых двигателей модели 17HS8401-S Nema17, представленных на Рисунке 2.3.

Технические спецификации 17HS8401-S Nema17 [8]:

- Потребляемый ток: 1.8 А;
- Номинальное напряжение: 12-24В постоянного тока;
- Угол шага: $1.8^{\circ} \pm 5\%$;
- Количество шагов: 200;
- Момент удержания: 0.52 Н*м ;
- Момент фиксации: 0.026 Н*м ;
- Рабочая температура: -20°C – $+50^{\circ}\text{C}$;
- Вес: 400 г;

- Габариты: 42*42*48 мм (размер фланца 22 мм).



Рисунок 2.3 – Двигатель 17HS8401-S Nema17

Данная модель двигателя часто применяется в станках ЧПУ и 3D-принтерах. Имеет четыре контакта – два на питание, два на управление. Осуществлять управление двигателем лучше через драйвер, поскольку, во-первых, управляющая плата не способна предоставить необходимые параметры тока, а во-вторых, управление через драйвер на порядок упрощает взаимодействие микроконтроллера и шагового двигателя.

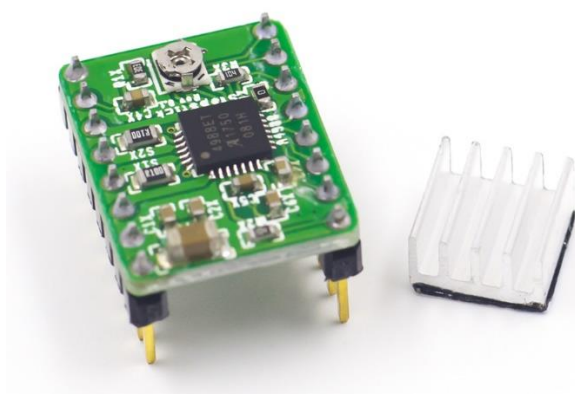


Рисунок 2.4 – Драйвер A4988 и его радиатор

С данной моделью шагового двигателя совместим драйвер на базе микросхемы A4988 (рис. 2.4). Преимуществами платы является регулируемый ток и поддержка внешнего питания, а также защита от перегрева и перегрузки. Драйвер способен рассеивать тепло от прохождения по плате 1А тока, в случае большего расхода необходимо подключение радиатора.

Технические характеристики драйвера A4988 [13]:

- Ток на фазу: 2А (с радиатором, 1А без);
- Входное напряжение: 8-35В;
- Напряжение на логику: 3-5.5В;
- Вес с радиатором: 3 г (2 г без);
- Габариты: 20х15х10 мм;
- Размер радиатора: 9х5х9 мм.

Для работы драйвера необходимо подключить питание внутренней драйверной логики (3-5.5В) через пины VDD и GND. Плата может сгореть при скачке напряжения, если значение питания двигателя дойдёт до 35В. Подключение драйвера происходит по схеме на Рисунке 2.5. Питание от 12В будет производиться от внешнего блока питания, дабы не перенапрягать микроконтроллер. Драйвер в данном случае выступит в роли и управляющего элемента, и в роли реле. Импульс на входе "step" драйвера выражается в одном шаге двигателя, и направление этого шага будет зависеть от сигнала на пине "direction".

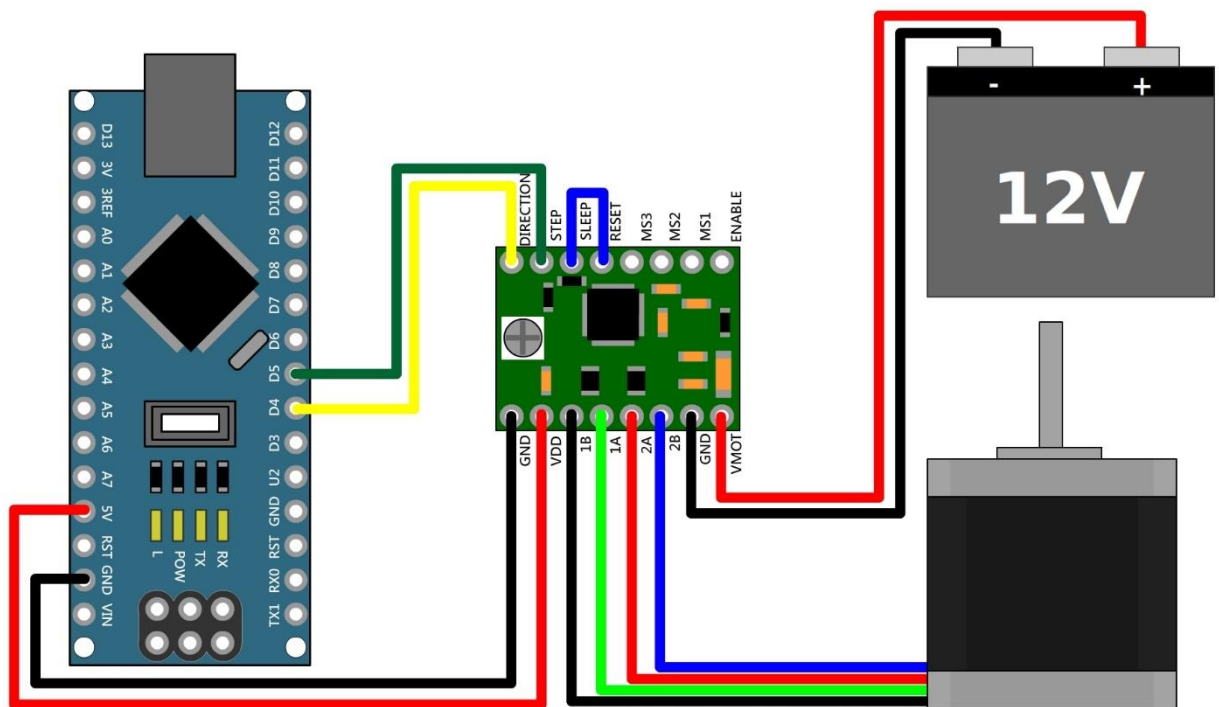


Рисунок 2.5 – схема подключения драйвера A4988 к микроконтроллеру и шаговому двигателю 17HS8401-S Nema17

2.2 Обзор платы Arduino Nano

Arduino Nano (рис. 2.6) – это микроконтроллер, собранный на базе чипа ATmega328. Главное её отличие от Arduino Uno заключается в малом размере и типе контактов - в случае Nano это гребень из ножек, тогда как в Uno - контакты

типа "мама". Вопреки мнению большинства, Arduino является вполне себе полноценным и конкурентоспособным микроконтроллером, в некоторых случаях даже выигрывающим у промышленных аналогов - большая база пользователей постоянно пополняет интегрированную среду новыми библиотеками на все случаи жизни. В целом, главное преимущество платы - простота использования и поддержка сообщества.

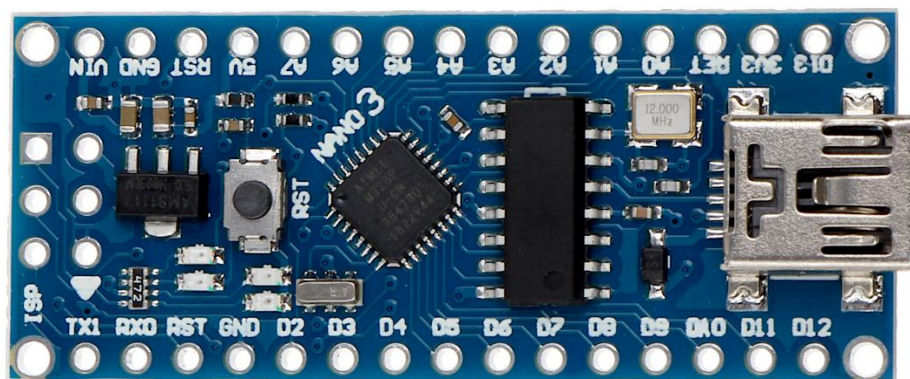


Рисунок 2.6 – плата Arduino Nano третьей ревизии

Технические спецификации платы [11]:

- Напряжение питания: 5В;
- Входное питание: 7-12В;
- Ток цифрового выхода: 40 мА;
- Память: флэш-типа, 16-32 Кб в зависимости от модели, 1-2 Кб ОЗУ;
- Частота вычислительного блока: 16 МГц;
- Контакты: 14 цифровых пинов (6 обладают ШИМ), 8 аналоговых пинов;
- Габариты: 42x19 мм;
- Вес: 7 г.

Плата обладает пином внешнего питания, что безусловно полезно в данном проекте. Но даже так, питания от самой платы не будет достаточно для таких мощных двигателей по очевидным причинам, посему работать микроконтроллер будет в качестве управляющей платы реле, через которое уже, от блока питания, будет осуществляться поступление электроэнергии. Питание платы от USB является самым неэффективным из-за наличия по линии USB диода-предохранителя, что ограничивает максимальный ток, доступный плате, 500 мА. Ещё, из-за этого же диода, образуется падение входного напряжения на 0.3В, что может привести к некорректным измерениям с аналоговых контактов, бледному LCD-дисплею и просадкам напряжения в нагрузке вплоть до перезагрузки микроконтроллера ввиду преодоления критически низкого порога. Плата Arduino Nano обладает стабилизатором AMS1117, что позволяет снять с пина VIN до 2А на 7В и около 500 мА при 12В входного напряжения [12], чем мы и воспользуемся.

2.3 Питание

Дабы обеспечить все электронные компоненты энергией, необходимо иметь блок питания, преобразующий 220В из розетки в доступные для всех компонентов 12 и 24 вольт. Питание всего устройства я решил организовать через простой, но стабильный блок питания на базе LM317 (рис. 2.7). Заявленная частота пульсации у схемы LM317 составляет 0.1% [14], сама же плашка может обеспечить ток до 1.5А. Входное напряжение может варьироваться от 1.2 до 37В. Предусмотрена защита от перегрева и короткого замыкания, способна работать до температуры 125гр. Транзистор в схеме подключен по схеме с общим коллектором (схема эмиттерного повторителя), что позволяет производить усиление только по току, но не по напряжению. Напряжение меняется только на 0.6В в результате рассеивания его на открытие р-п перехода. Усиление им тока может достигать значений до 10А. В результате малых пульсаций у LM317, при усилении тока транзистром усиление пульсаций тоже производится незначительное. Резистор R3 обеспечивает обратную связь от транзистора, подавая результаты изменения напряжения на управляющий контакт LM317. Это также компенсирует увеличенную проводимость транзистора, вызванную его нагревом в ходе работы.

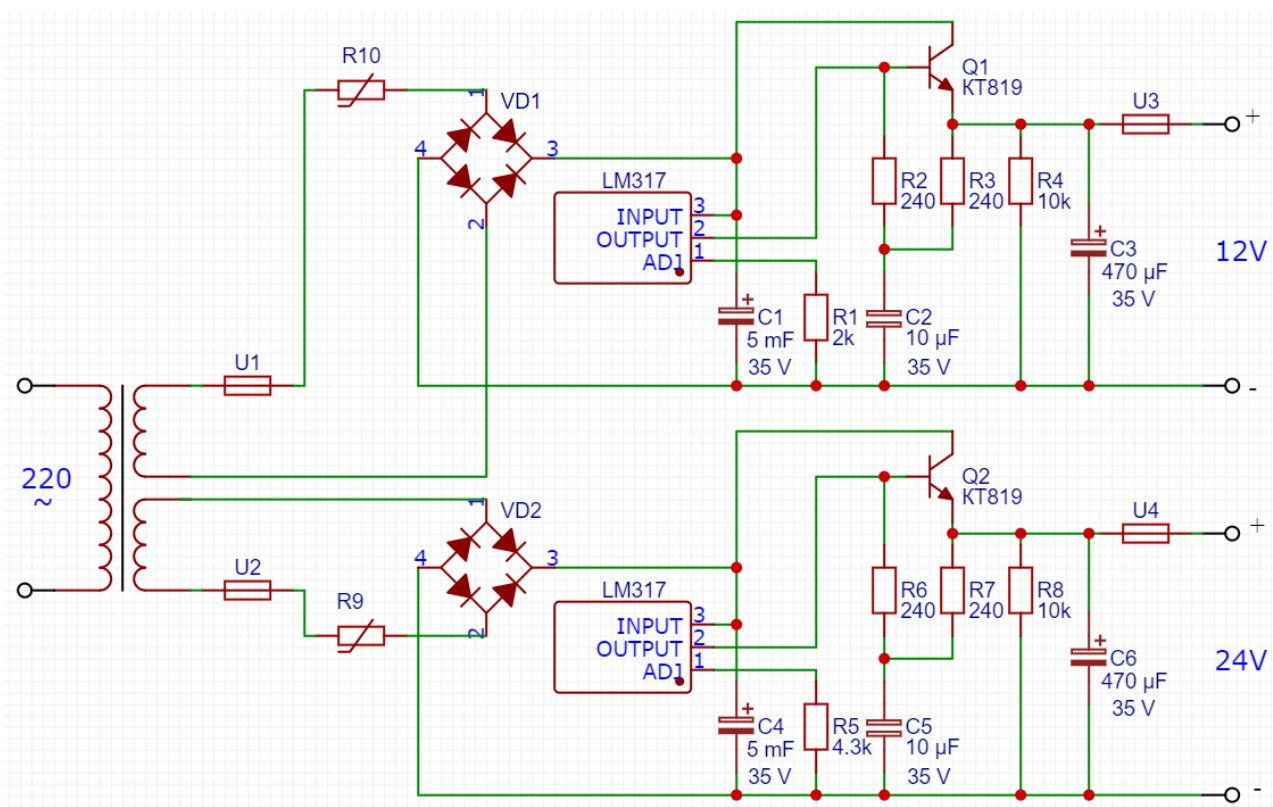


Рисунок 2.7 – Схема блока питания на базе LM317

Схема блока питания является по своей сути линейным стабилизатором, и всё лишнее напряжение она переводит в тепло – в нагрев как транзистора, так и

LM317. Резистор R1 является подстроечным – можно как поставить в схему на его место потенциометр и заниматься ручной регулировкой напряжения, либо оставить резистор с постоянным сопротивлением. Именно от резистора R1 зависит, какую величину напряжения мы получим с выводов блока питания. Схема занимается стабилизацией напряжения от обмоток трансформатора. Блок питания содержит две копии линейных стабилизаторов для 12В и 24В, подключенных к двум вторичным обмоткам. От 24В питаться будет двигатель постоянного тока, вращающий валики, от 12В брать энергию будут драйверы шаговых двигателей, осуществляющих поступательные движения каретки, и через DC-DC преобразователь (рис. 2.8) от 12В напряжение будет переходить в 9В, безопасные для внешнего питания микроконтроллера. Ардуино можно запитать и от 12В, но в случае непредвиденных обстоятельств это может стоить самой платы. Необходимо также наличие радиатора для LM317, транзистора и диодного моста.

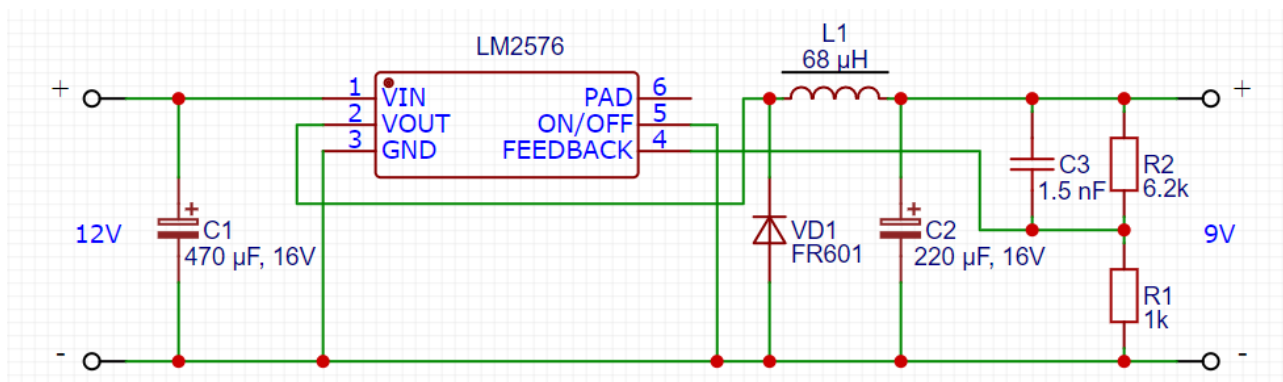


Рисунок 2.8 – Схема DC-DC преобразователя на базе LM2596

DC-DC преобразователь собран по схеме на Рисунке 2.8 – на базе микросхемы LM2596 [15]. Она по своей сути является понижающим импульсным регулятором напряжения. Частота генератора достигает 150 кГц, выходной ток пропускается до 3А. Диод VD1 является импульсным быстросовстанавливающимся. Вся схема преобразователя рассчитывается на 5А, но подключенная плата Ардуино никогда не будет столько потреблять. Резистор R2 является подстроечным, но в этот конкретный момент он заменён на постоянный, поскольку напряжение питания микроконтроллера варьироваться не будет. В режиме питания платы LM2596 не будет нагреваться слишком критически, посему радиатор не требуется - тепло от тока между 1-2А она способна рассеивать самостоятельно.

2.4 Включение прибора

Включение должно производиться без касания - посредством датчика, определяющего наличие объекта перед ним. Для этой задачи прекрасно подойдёт

инфракрасный датчик YL-63 (рис. 2.9), фиксирующий наличие, но не расстояние до объекта. Состоит из фотоприёмника и ИК-излучателя. Работает датчик дискретно, отправляя либо сигнал HIGH при наличии объекта, либо LOW при его отсутствии. Дистанция его срабатывания регулируется предусмотренным в плате потенциометром.

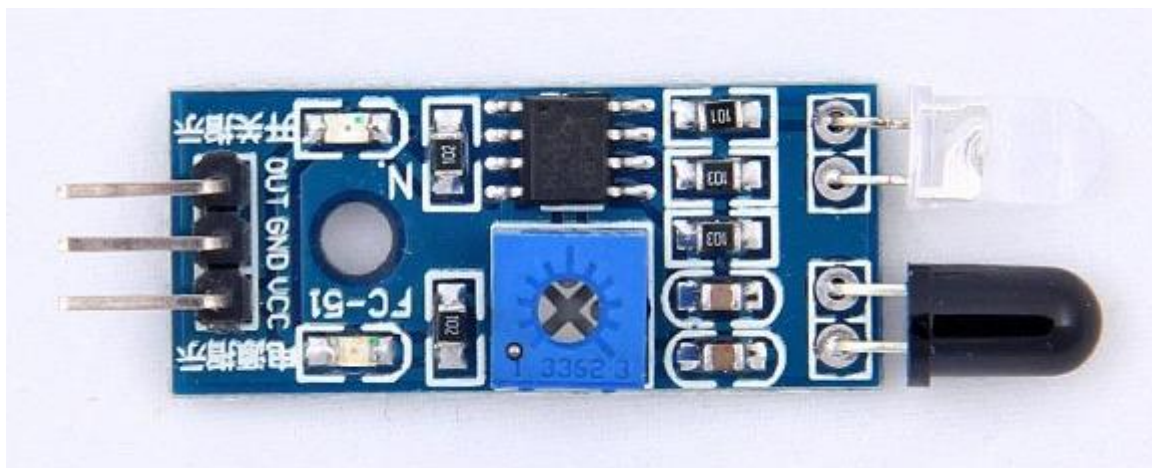


Рисунок 2.9 – Датчик YL-63

Технические спецификации датчика [16]:

- Напряжение питания: 3.3-5V;
- Дистанция срабатывания: 2-30 см;
- Эффективный угол обнаружения препятствий: 35°;
- Тип датчика: диффузионный;
- Габариты: 43x16x7 мм.

Подключение данного датчика избавит пользователя от необходимости нажимать на кнопку или рычаг активации, а также предохранит от риска передачи грязи с одних рук на другие – как-никак, девайс рассчитан на массовое пользование людьми.

3 Сборка устройства

Управление девайса ляжет на плечи платы Arduino Nano, включенную в общую схему из Приложения А. Вместо платы Ардуино на место главного микроконтроллера может встать любой другой с достаточным количеством выводов – тут нет привязки к конкретной платформе. В данной схеме питание подаётся от блока питания (от контактов на 24В) на реле, переключением которого занимается микроконтроллер, обращая внимание на сигнал с датчика приближения YL-63. С этого реле производится активация двигателя постоянного тока, вращающего чистящие валики. С контактов блока питания на 12В происходит доставка энергии до драйверов A4988 шаговых двигателей, и они занимаются перемещением каретки, на которой закреплены чистящие щётки и двигатель постоянного тока. Цикл чистки будет повторяться до тех пор, пока сигнал с датчика YL-63 говорит о наличии предмета перед ним. Мало сделать удобное и рабочее устройство - необходимо также и продумать эффективное время его использования, чтобы оно не шло в разрез с мнением клиента. Обеспечение быстрой и ничего от тебя не требующей чистки подошвы - главная и изначально поставленная цель сего проекта. Рабочий скрипт для данного проекта находится в приложениях к работе. Выбор дизайна из Приложения Б обусловлен тем, что в данном форм-факторе не нужно предусматривать дополнительную точку опоры, как это было в предыдущих устройствах – не хочу сказать, что поручень стоит демонтировать совсем - нет, он останется, но без привязки к самому устройству. Изменением конструкции я хочу снять полную необходимость им пользоваться. В условиях, когда нога, подверженная чистке, пытается убежать из-под тебя, наличие дополнительной силы, в лице силы тяжести, вкуче с естественным стремлением ноги вернуться в исходное для прямого хождения положение, позволит обеспечить более устойчивую стойку при эксплуатации аппарата.

3.1 Планы по развитию

В дальнейшем данный аппарат возможно улучшить посредством замены шаговых двигателей на двигатели постоянного тока с датчиком Холла и редуктором с целым передаточным числом, чтобы известное количество оборотов двигателя результировало в понятное количество изменений позиций крайнего редукторного колеса - это позволит аппарату меньше шуметь при работе, поскольку шаговики при изменении позиции издадут заметный звук, как и сгладить движение каретки и уменьшить износ двигателей повышением крутящего момента. Также возможно совершенствование датчика определения объекта - существуют некоторые проблемы с его применением, ведь он использует инфракрасный свет. Наличие освещения лампами накаливания в помещении или на открытом солнце может частично помешать его работе. В данном проекте всё не крутится вокруг платформы Ардуино - можно заменить

микроконтроллер на более широко распространённый промышленный аналог, если он имеет схожий функционал. Имеется также потенциальная возможность интеграции данного устройства в систему умного дома, дабы аппарат собирал или отправлял статистику по своему использованию. Некоторое время эксплуатации может позволить выявить слабые места аппарата, и на основе этих данных можно подстраивать конструкцию в угоду большей ремонтпригодности.

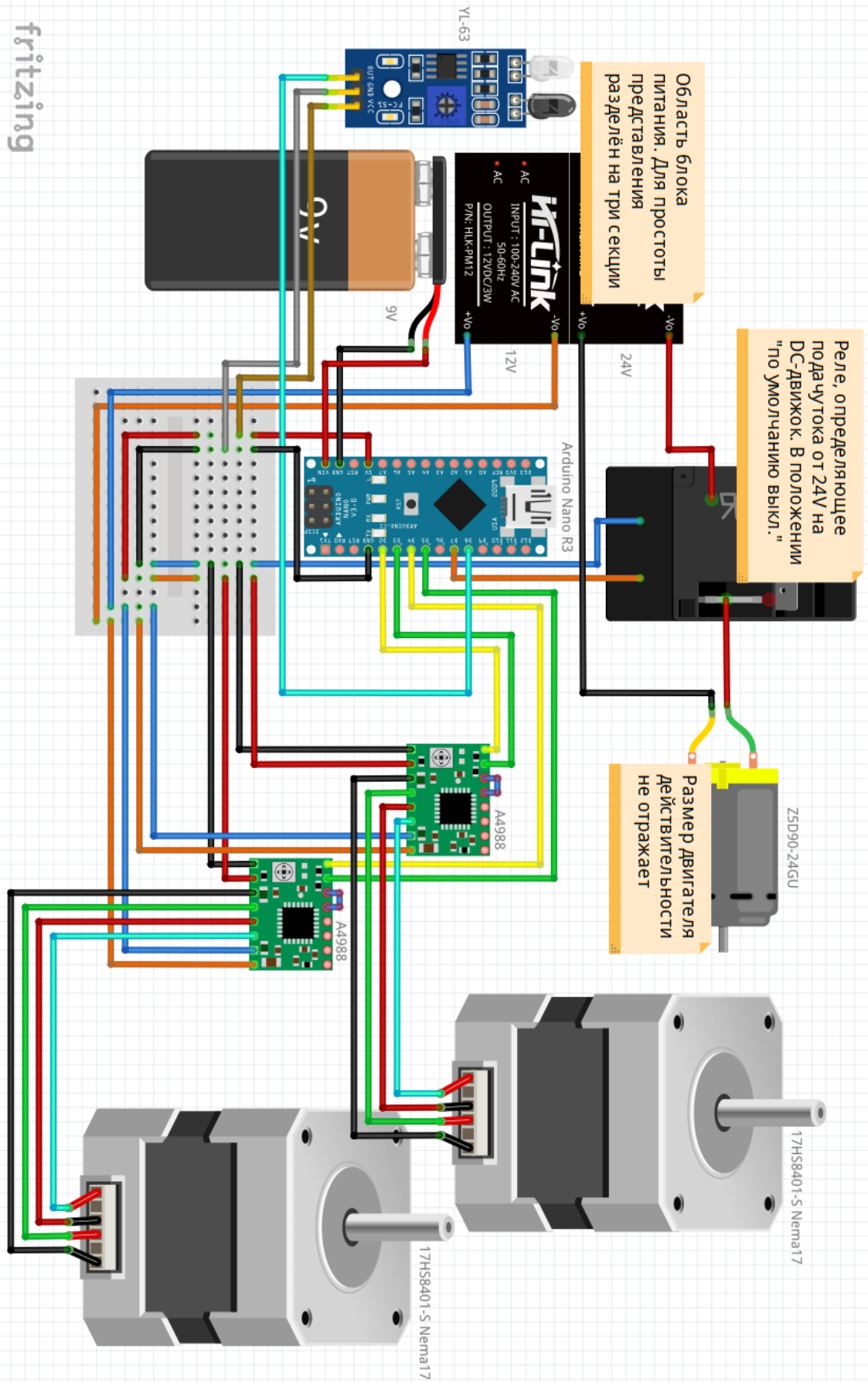
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данного дипломного проекта был проанализирован рынок существующих устройств категории чистильщиков подошв, изучен принцип их работы и рассмотрены проблемы существующих аппаратов. Были рассмотрены комплектующие, необходимые для сборки схожего устройства, а также разработан и собран в виде электронной схемы стабильный импульсный блок питания на основе стабилизатора напряжения LM317. Был выявлен состав домашней пыли на основе существующих исследований, и позже, базирясь на этом, подтверждена актуальность чистки подошвы. Разобравшись в нынешней рыночной ситуации, были предложены способы решения существующих проблем у устройств посредством проектирования нового мехатронного комплекса, направленного на облегчение и улучшение пользовательского опыта. Также была произведена актуализация аппарата для современных санитарных стандартов - конструкционные изменения привели к снижению необходимости касаться самого аппарата для его включения, как и к уменьшению потребности в наличии дополнительной опоры. Разработана 3D-модель на базе САПР AutoCAD, иллюстрирующая дизайн и общие принципы сборки, а также рабочий скрипт на языке C++ под микроконтроллер Arduino. Выбор данного языка программирования позволит безболезненно в будущем перейти на любой другой коммерческий чип, что было описано в перспективах на развитие данного девайса.

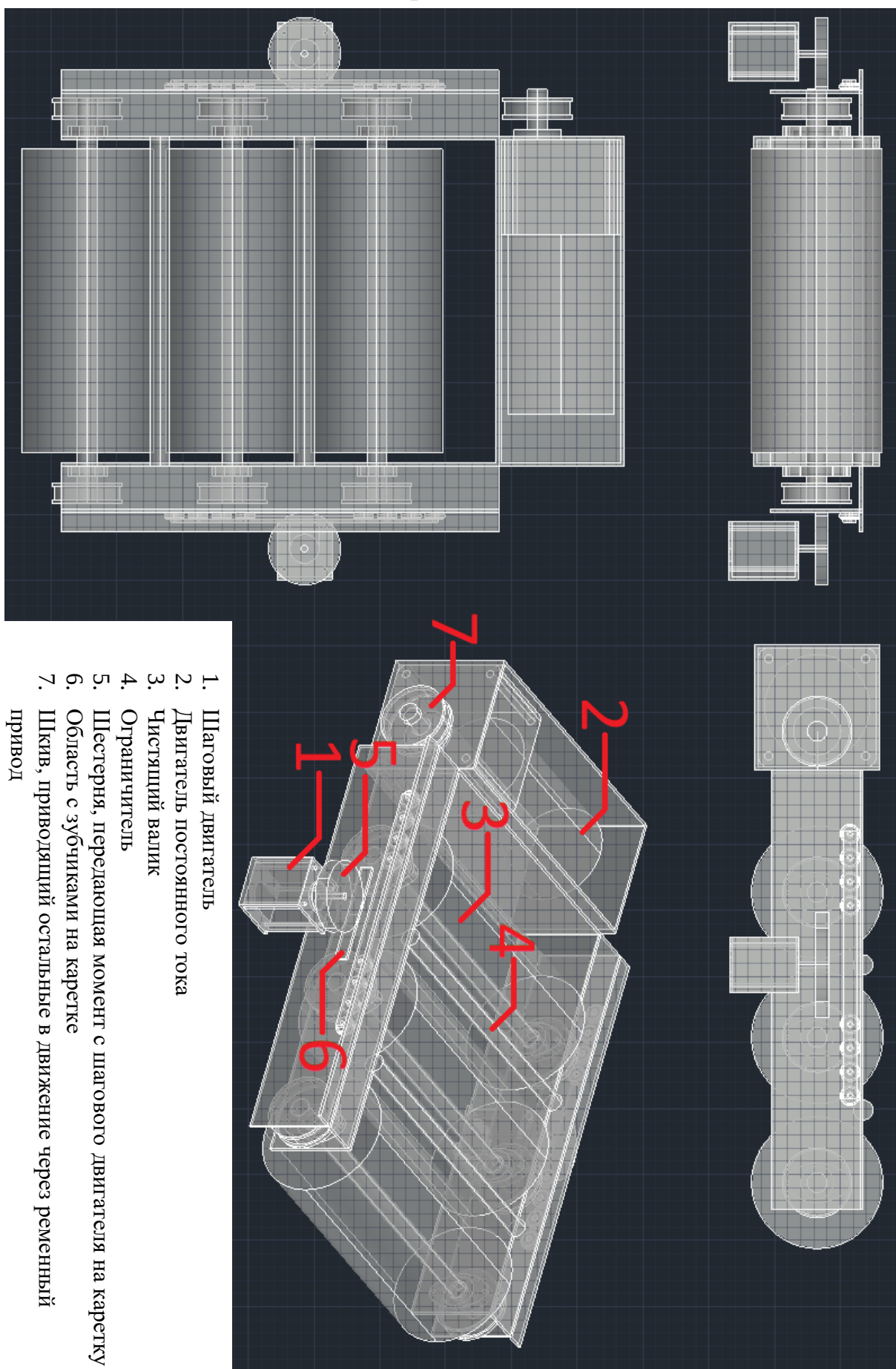
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Основной сайт с каталогом товаров ГИЯР:
<https://giyar116.ru/>
- 2 Сайт компании Blue Level Cleaning System:
<https://www.schuhputzmaschine.ch/en/>
- 3 Илонова В. А., "Откуда родом пыль?", М.: "Санитарное просвещение", 1996 г.
- 4 "House dust biology for allergists, acarologists and mycologists", J.E.M.H. van Bronswijk
- 5 <https://www.sciencefocus.com/science/what-is-dust-made-of/>
- 6 Пояснение ГОСТа 183-74 о "Вращающихся электрических машинах":
<https://h4e.ru/elektricheskie-mashini/130-rezhimy-raboty-elektrodvigateli/>
- 7 Datasheet рассматриваемого редукторного двигателя:
<http://www.sirius-drive.ru/Z5D-90W.html>
- 8 Datasheet рассматриваемого шагового двигателя:
<https://roboshop.spb.ru/mechanics/shagovye-dvigateli/17hs8401-s>
- 9 Влияние напряжения на вращательный момент двигателя:
<https://avtika.ru/kak-napryazhenie-vliyaet-na-moment-dvigatelya/>
- 10 Технический словарь – типы редукторных двигателей:
https://пустехно.рус/teh_slovar/D/dvigatel_reductor.php
- 11 Технические спецификации платы Arduino Nano:
<https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-nano/>
- 12 Питание платы Arduino:
<https://alexgyver.ru/lessons/arduino-power/>
- 13 Datasheet драйвера A4988:
https://www.pololu.com/file/0J450/a4988_DMOS_microstepping_driver_with_translator.pdf
- 14 Описание микросхемы LM317:
<https://shematok.ru/stabilizatory/lm317t>
- 15 Описание микросхемы LM2596:
<https://shematok.ru/mikroshema/lm2596>
- 16 Описание датчика YL-63:
<https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/infrakrasnyj-datchik-prepyatstvuj-yl-63/>

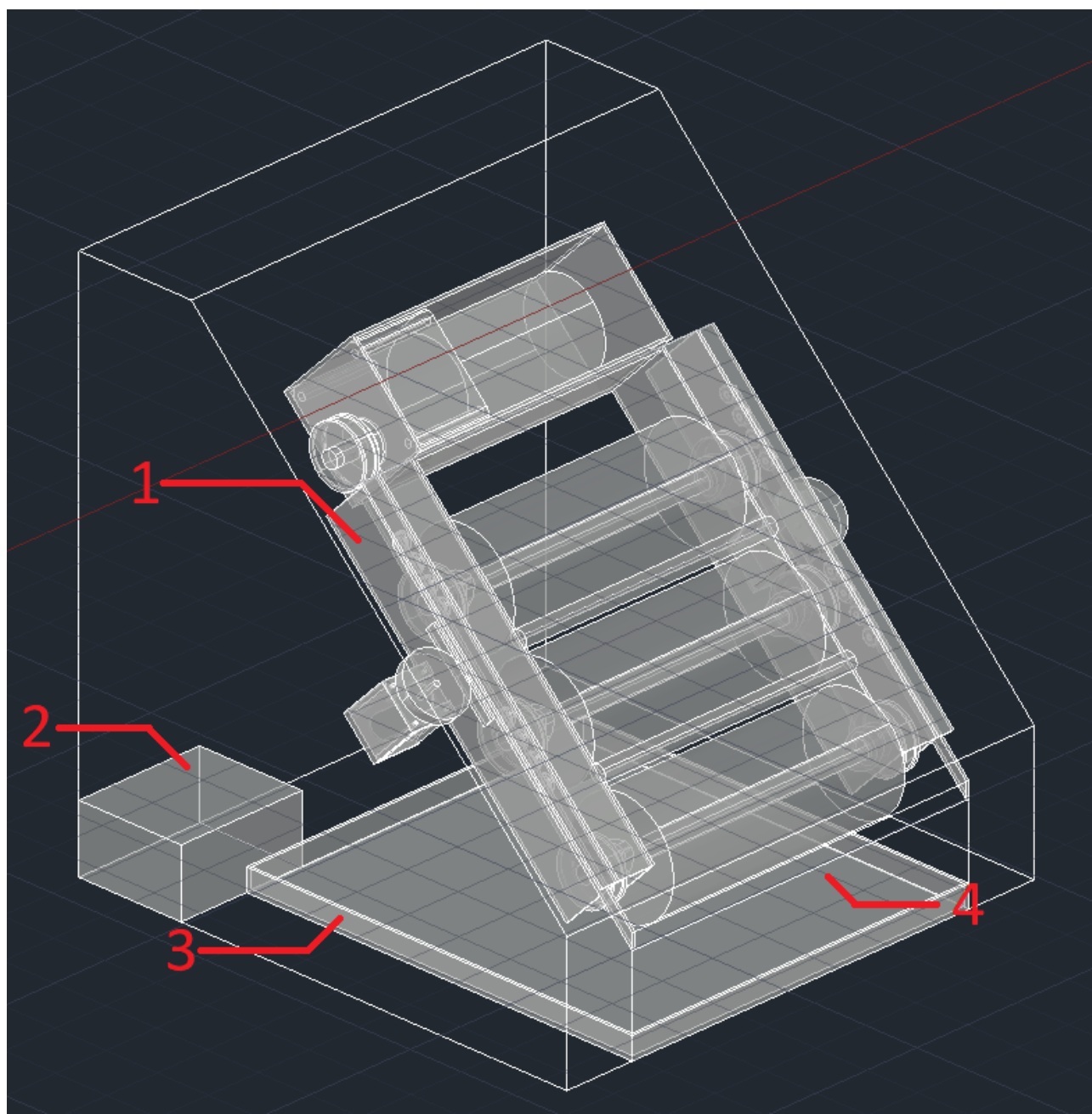
Приложение А



Приложение Б



Продолжение Приложения Б



1. Чистящая каретка
2. Место под блок питания и электронику
3. Поднос для мусора
4. Упор для ноги. Датчик приближения располагается там же

Приложение В

```
#define pinStepL 3
#define pinStepR 5
#define pinDirL 2
#define pinDirR 4
#define pinDCM 7
#define pinIR 8
```

```
const int steps_rotate_360 = 200; // количество шагов, соответствующее одному
обороту
const int move_delay = 3; // задержка между шагом
```

```
void setup()
{
    pinMode(pinStepL, OUTPUT); // устанавливает режим работы - выход для
3го вход/выхода
    pinMode(pinStepR, OUTPUT); // устанавливает режим работы - выход для
5го вход/выхода
    pinMode(pinDirL, OUTPUT); // устанавливает режим работы - выход для
2го вход/выхода
    pinMode(pinDirR, OUTPUT); // устанавливает режим работы - выход для 4го
вход/выхода
    pinMode(pinDCM, OUTPUT); // устанавливает режим работы - выход для 7го
вход/выхода
    pinMode(pinIR, INPUT); // устанавливает режим работы - вход для 8го
вход/выхода
}
```

```
void main() // главная точка входа
{
    if (digitalRead(pinIR) == 1)
    {
        digitalWrite(pinDCM, HIGH); // передаёт управляющее значение на реле
        MakeRoundRotation(); // исполнение функции движения каретки
    }
    else
    {
        digitalWrite(pinDCM, LOW); // передаёт управляющее значение на реле
        delay(1500); // задержка до следующего считывания при отсутствии
сигнала на IR-датчике
    }
}
```

Продолжение Приложения В

```
void MakeRoundRotation() // функция движения каретки
{
    digitalWrite(pinDirL, HIGH); //устанавливаем направление вращения
    digitalWrite(pinDirR, LOW);

    for(int i = 0; i < steps_rotate_360; i++)
    {
        digitalWrite(pinStepL, HIGH);
        digitalWrite(pinStepR, HIGH);
        delay(move_delay);
        digitalWrite(pinStepL, LOW);
        digitalWrite(pinStepR, LOW);
        delay(move_delay);
    }

    delay(move_delay*10);

    digitalWrite(pinDirL, LOW); //устанавливаем направление вращения
    обратное
    digitalWrite(pinDirR, HIGH);

    for(int i = 0; i < steps_rotate_360; i++)
    {
        digitalWrite(pinStepL, HIGH);
        digitalWrite(pinStepR, HIGH);
        delay(move_delay);
        digitalWrite(pinStepL, LOW);
        digitalWrite(pinStepR, LOW);
        delay(move_delay);
    }
    delay(move_delay*10);
}
```