

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»
(наименование)

11.03.04 Электроника и микроэлектроника
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроника и робототехника
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Зацепное устройство для автоматической транспортной платформы

Обучающийся Л. И. Буйлов (Инициалы Фамилия) _____ (личная подпись)

Руководитель к.т.н., доцент, А. В. Прядилов
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант О.А. Головач
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Аннотация

Название бакалаврской работы: «Зацепное устройство для автоматической транспортной платформы».

Объем 48 страниц, 48 рисунков, 4 таблиц, 20 источников, 3 приложения и 6 графических представлений на листах формата А1.

Объектом исследования является зацепное устройство, управляемое цифровым сигналом.

Цель работы: разработка прототипа зацепного устройства для автоматической транспортной платформы с применением встроенного электронного блока управления.

Задачи работы:

- анализ исходных данных и используемых решений
- подбор необходимых комплектующих
- разработка и проектирование корпуса зацепного устройства
- изготовление и сборка корпуса
- разработка электронного блока управления
- разработка электрической принципиальной схемы
- написание программы для микроконтроллера

Степень внедрения: подобраны необходимые комплектующие, спроектирован и изготовлен корпус устройства, разработан блок электронного управления и написана программа для микроконтроллера.

В данной работе происходит разработка зацепного устройства для автоматической транспортной платформы. Выполнен обзор состояния вопроса, подбор комплектующих, проектирование и изготовление корпуса, разработка электронного блока управления и программы для микроконтроллера. Изготовленное зацепное устройство установлено в прототипе автоматической транспортной платформы, разработанной на кафедре «Промышленная электроника» Тольяттинского государственного университета.

Abstract

The title of the graduation work is «A hitching device for an automatic transport platform».

The graduation work consists 48 pages, including 48 figures, 4 tables, 20 references, 3 appendices, and 6 graphical representations on A1-sized sheets.

The object of the graduation work is a hitching device controlled by a digital signal.

The aim of the work: to develop a prototype of a hitching device for an automatic transport platform using an integrated electronic control unit.

Tasks of the work:

- analysis of the source data and the solutions used
- selection of necessary components
- development and design of the body of the hooking device
- manufacture and assembly of the housing
- development of an electronic control unit
- development of an electrical circuit diagram
- writing a program for a microcontroller

The degree of implementation: the necessary components have been selected, the device body has been designed and manufactured, an electronic control unit has been developed and a program for the microcontroller has been written.

In this work, a hitching device for an automatic transport platform is being developed. An overview of the status of the issue, the selection of components, the design and manufacture of the housing, the development of an electronic control unit and a program for the microcontroller. The manufactured hooking device is installed in a prototype of an automatic transport platform developed at the Department of «Industrial Electronics» of Togliatti State University.

Содержание

Введение.....	5
1 Состояние вопроса	6
1.1 Формулирование актуальности, цели и задач проекта	6
1.2 Исследование существующих решений	7
1.3 Анализ исходных данных, определение концепции проекта.....	11
2 Подбор комплектующих.....	13
2.1 Проектирование кинематики устройства	22
2.2 Разработка системы управления.....	30
2.3 Проектирование принципиальной схемы.....	35
3 Написание программы для микроконтроллера	36
Заключение	43
Список используемой литературы	44
Приложение А Диплом за победу в конкурсе научно-исследовательских и инновационных проектов.....	46
Приложение Б Диплом за II место во Всероссийском конкурсе научно-технологических проектов «Инженерия будущего 2.0»	47
Приложение В Диплом победителя полуфинала в XIII Национальной научно-технической конференции.....	48

Введение

Многие современные предприятия проходят этап автоматизации. Это связано с прогрессом в области робототехники. Автоматизация процессов производства заключается в распределении функций управления, регулирования и контроля технологическими комплексами с помощью роботизированных механизмов и информационных систем.

Промышленные роботизированные комплексы необходимы для выполнения сложных и однотипных операций. Интеллектуальные роботы могут выполнять поставленные задачи с высокой скоростью и точностью. Это позволяет увеличить эффективность работы и сократить ошибки производства. Такие роботы могут заменить работников на производственных участках с опасными и тяжелыми условиями труда. Для автоматизации широко применяются манипуляторы и автоматические конвейеры на сборочных или производственных линиях.

Основная цель автоматизации предприятий заключается в повышении эффективности и совершенства производственного процесса. Это позволяет повысить производительность труда и уменьшить нагрузку на персонал.

В зарубежной промышленности для автоматизации предприятий активно используются автоматические транспортные платформы. Такие платформы могут применяться на производствах, заводах, складах, где необходимо осуществлять грузовые перевозки в больших количествах. Автоматические транспортные платформы, удаленно управляемые оператором, перемещаются по запрограммированным маршрутам и обычно работают в паре с манипуляторами, которые, в свою очередь, принимают груз с конвейера и перемещают на прицеп платформы. Сложным техническим узлом в конструкции автоматической транспортной платформы является сцепное устройство, необходимое для сцепки прицепов.

1 Состояние вопроса

1.1 Формулирование актуальности, цели и задач проекта

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью разработки сложного технического узла - зацепного устройства для производства отечественных автоматических транспортных платформ, способствующих повышению уровня автоматизации предприятий в стране.

Цель работы заключается в разработке зацепного устройства, представляющего собой программно управляемый выдвигающийся пин, расположенный на автоматической транспортной платформе, посредством которого осуществляется зацепление буксируемого прицепа.

Для достижения поставленной цели были реализованы следующие задачи:

- анализ исходных данных и используемых решений
- подбор необходимых комплектующих
- разработка и проектирование корпуса зацепного устройства
- изготовление и сборка корпуса
- разработка электронного блока управления
- разработка электрической принципиальной схемы
- написание программы для микроконтроллера

1.2 Исследование существующих решений

При разработке автоматических транспортных платформ [1, 10] на кафедре «Промышленная электроника» Тольяттинского государственного университета была поставлена задача изготовить зацепное устройство, позволяющее производить сцепку с прицепом для перевозки груза. Внешний вид транспортной платформы и зацепного устройства показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Автоматическая транспортная платформа

1 – выдвижной пин зацепного устройства; 2- корпус зацепного устройства.

Автоматические транспортные платформы (AGV) перемещаются по предприятию ориентируясь на контрастную или магнитную ленту, обозначающую маршрутную линию. Маршрут платформы программируется оператором. Внешний вид AGV платформы с буксируемым прицепом показан на рисунке 2.

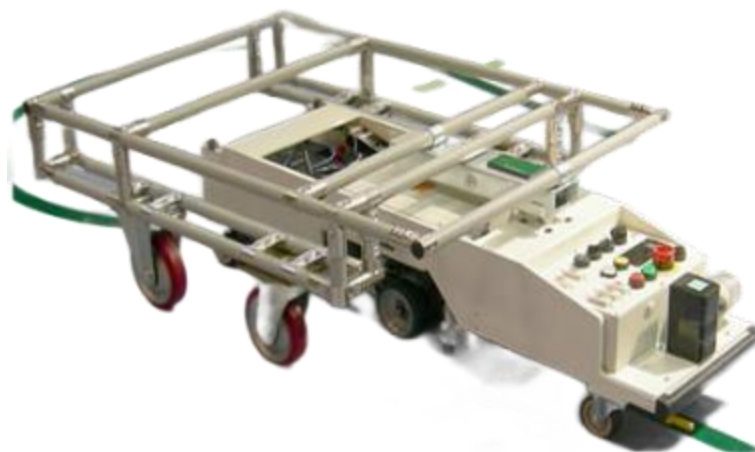


Рисунок 2 – AGV платформа следующая по контрастной линии с прицепом

Зацепное устройство подключается к бортовому компьютеру AGV платформы. Когда платформа подъезжает к буксировочному прицепу, выдвигается пин. Происходит сцепка с прицепом. На рисунке 3 представлена трехмерная модель зацепного устройства для автоматической транспортной платформы импортного производства.



Рисунок 3 – Трехмерная модель зацепного устройства

Зарубежная компания **TZBOT** производит единственный в продаже аналог зацепного устройства – **AGV Hook Device** (зацепное устройство для AGV) модели **TZJS-25-100** [14]. Стоимость данного аналога на 12.04.2024 составляет 30.000р. Внешний вид аналога компании **TZBOT** показан на рисунке 4.

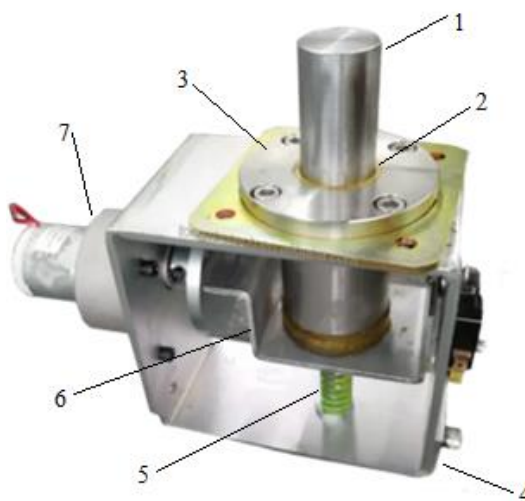


Рисунок 4 – Аналог зацепного устройства компании **TZBOT**

1 – пин; 2 – латунная втулка; 3 – обойма корпуса; 4 – корпус устройства; 5 – пружина; 6 – коленчатая пластина; 7 – коллекторный двигатель с редуктором.

Корпус зарубежного аналога изготавливается из квадратного металлического профиля. Выдвижной пин зацепного устройства перемещается в латунной втулке, которая, в свою очередь, впрессована в металлическую обойму корпуса.

Для поднятия и опускания пина используется коленчатая пластина. На рисунке 4 она поджата дополнительной пружиной, необходимой для уменьшения времени подъема выдвижного пина.

Для вращения коленчатой пластины используется коллекторный двигатель с редуктором. Устройство поставляется без электронного блока управления (ЭБУ). Для обнуления в начальном и конечном положении пина применяются концевые выключатели, представленные на рисунке 5.



Рисунок 5 – Концевые выключатели для обнуления положения пина

Данная конструкция зацепного устройства имеет не большие габариты и вес, а также простое производство. Слабые места данного аналога – перемещающийся пин в латунной втулке. Со временем, без необходимого обслуживания, будет появляться выработка и люфт, что приведет к заклиниванию подъемного механизма пина зацепного устройства. Технические характеристики зацепного устройства для AGV платформы компании **TZBOT** приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики **AGV Hook Device TZJS-25-100**

Рабочее напряжение питания, В	24
Потребляемая мощность, Вт	2.5
Крутящий момент двигателя, Нм	1.7
Скорость поднятия пина, С	4
Вес устройства, Кг	4

Изучая патенты на похожие устройства, был найден только один, зарегистрированный в Корее. Номер патента: **KR101863738B1** [17]. Внешний вид трехмерной модели зацепного устройства патента приведен на рисунке 6.

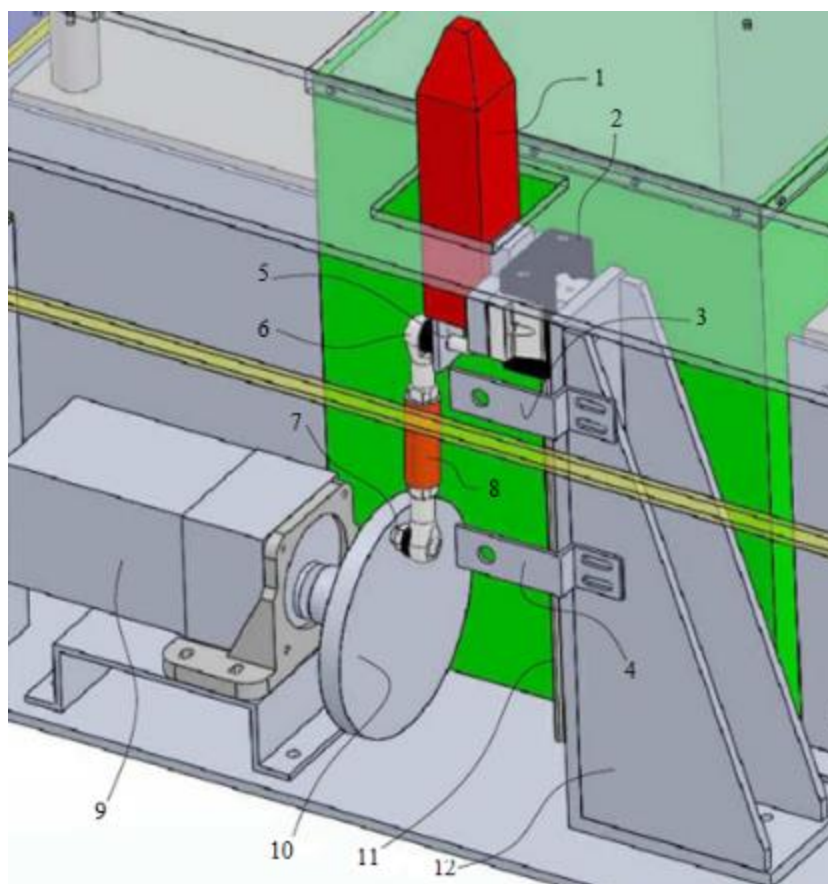


Рисунок 6 – Трехмерная модель зацепного устройства патента

1 – пин; 2 – передвижная каретка; 3,4 – уголки крепления обшивки; 5 – уголок крепления шарнира шатуна; 6 – шарнир шатуна; 7 – проставочная шайба; 8 – шатун; 9 – двигатель с редуктором; 10 – коленчатый вал; 11 – рельс; 12 – опорный уголок.

Строение зацепного устройства из приведенного выше патента схоже с аналогом компании **TZBOT**, модели **TZJS-25-100**. Для вращения коленчатого вала, который, в свою очередь, поднимает и опускает шатун, используется коллекторный двигатель с редуктором. Шатун через шарниры соединяется с пином при помощи уголка. В данной конструкции, пин зацепного устройства присоединен к каретке, передвигающейся по рельсу. Кареточный узел содержит в себе шарикоподшипники, для плавного и точного хода по рельсу.

Такое строение запатентованного зацепного устройства превосходит по надежности аналога компании **TZBOT** за счет применения кареточного узла с подшипниками скольжения.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод – строение импортных зацепных устройств схоже, различаются только применяемые комплектующие и узлы кареточных механизмов. Принцип работы одинаковый – поднять и опустить пин.

1.3 Анализ исходных данных, определение концепции проекта

Необходимо разработать рабочий образец зацепного устройства из комплектующих доступных в магазинах РФ. Устройство должно иметь компактные габариты для дальнейшего монтажа в уже разработанный прототип автоматической транспортной платформы, на кафедре «Промышленная электроника». На рисунке 7 представлен разработанный прототип транспортной платформы.



Рисунок 7 – Разработанный прототип AGV платформы

Для удобного подключения изготавливаемого зацепного устройства к автоматической транспортной платформе, необходимо разработать электронный блок управления. В импортных аналогах он не предусмотрен, что затрудняет монтаж зацепного устройства в неподготовленную аппаратно автоматическую транспортную платформу.

Для питания зацепного устройства в прототипе транспортной платформы предусмотрен понижающий стабилизатор ВС-12 [5] с током 3А и напряжением 12В. Используемый стабилизатор приведен на рисунке 8.



Рисунок 8 – Стабилизатор напряжения ВС-12

Уже встроенный стабилизатор напряжения позволит сэкономить место на плате электронного блока управления, для его дальнейшей установки на корпус зацепного устройства.

При анализе зацепных устройств импортного производства, было принято решение моделировать детали корпуса и изготавливать их из металла с применением лазерной резки. Такое решение позволит серийно производить качественные детали корпусов зацепных устройств.

В кареточном узле пина будут применяться комплектующие для 3д принтеров, которые дадут возможность сэкономить на дорогостоящем изготовлении узкоспециализированных деталей.

Таким образом, в данном разделе были исследованы существующие решения и проанализированы исходные данные для определения концепции проекта.

2 Подбор комплектующих

Проектирование зацепного устройства для AGV платформы началось с подбора комплектующих. Для выдвижного механизма главным параметром является развиваемое усилие, а также рабочий ход зацепного пина. Для создания необходимого усилия использовались шаговые двигатели Nema 17 [4] модели 42BYGH4426, а также трапециевидные винты [13] диаметром 8 мм с шагом 2 мм. Трапециевидный винт способен развивать высокое усилие, компактный, а также не подвержен деформации, как шарико-винтовая передача. При достижении каретки крайнего положения, шарико-винтовая передача разрушит сальник при помощи циркулирующих металлических шариков. Использование трапециевидной передачи позволит увеличить срок службы кареточного узла пина без смазки и обслуживания. На рисунке 9 представлен внешний вид шагового двигателя Nema 17 и трапециевидного винта с фланцевой гайкой. В таблице 2 приведены характеристики двигателя Nema 17.



Рисунок 9 – Шаговый двигателя Nema 17 (42BYGH4426) и трапециевидный винт с фланцевой гайкой

Таблица 2 – Технические характеристики Nema 17 (42BYGH4426)

Угол шага (°)	Ток (А)	Номинальное напряжение (В)	Соппротивление Фазы (Ом)	Фазная Индуктивность (мГн)	Момент удержания (Кг, см)
1.8	0.9	12	28	52	4.8

Для соединения и передачи крутящего момента с шаговых двигателей на трапециевидные винты применялись муфты [11] с встроенным силиконовым демпфером. Муфта позволяет снизить шум и вибрацию а также минимизировать несоосность соединения валов. На рисунке 10 изображена используемая в проекте муфта модели D25L30.



Рисунок 10 – Муфта D25L30

Фиксирование трапециевидных винтов в корпусе зацепного устройства осуществляется с применением фланцевых опорных подшипников [12] модели KFL08 с диаметром внутренней втулки 8 мм. Фланцевые опорные подшипники применяются для уменьшения износа привода, который может произойти из-за вибраций, а также постоянных нагрузок. Компактные габариты корпуса и надежное крепление позволяют использовать такие подшипники в высокоточных и компактных механических узлах. Внешний вид используемого опорного подшипника представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Подшипник опорный фланцевый KFL08

В качестве цилиндрических направляющих для кареточного узла пина были выбраны полированные валы диаметром 8 мм, главным преимуществом является низкая стоимость, а также удобная компоновка данного компонента. На цилиндрическую направляющую монтируется подшипник скольжения [2] LMK8UU, благодаря чему кареточный узел выдвижного пина плавно и точно перемещается по направляющей. На рисунках 12 и 13 изображены цилиндрическая направляющая и подшипник скольжения.



Рисунок 12 – Цилиндрическая направляющая (вал)



Рисунок 13 - Подшипник скольжения LMK8UU

Для крепления цилиндрической направляющей были выбраны опоры SHF8 обеспечивающие надежную фиксацию вала и точное позиционирование. Используемая опора приведена на рисунке 14.



Рисунок 14 – опора SHF8

Для разработки электронного блока управления применялся широко распространенный микроконтроллер ATmega328p на отладочной плате Arduino Nano [3] представленной на рисунке 15.



Рисунок 15 – Отладочная плата Arduino Nano

Микроконтроллер ATmega328P имеет тактовую частоту 16 МГц и 32 Кбайт Flash памяти, 2 Кбайт оперативной памяти и 1 Кбайт энергонезависимой памяти EEPROM. На отладочной плате Arduino Nano присутствует стабилизатор напряжения, позволяющий использовать источники с диапазоном питания от 6 до 20В. Рабочее напряжение микроконтроллера и логический уровень составляет 5В. Количество цифровых входов-выходов – 14, аналоговых – 8. Ток протекающей через один вывод составляет 40 мА. Для прошивки используется мультифункциональный конвертер CH341 распаянный на плате микроконтроллера. Для подключения к персональному компьютеру используется разъем Mini-USB.

Для обнуления кареточного узла зацепного пина в начальном или конечном положении используются концевые выключатели [8] для 3D принтеров. Внешний вид концевой выключателя изображен на рисунке 16.



Рисунок 16 – Концевой выключатель

Концевой выключатель имеет три вывода. Общий (COM) нормально замкнут с контактом NC. При нажатии на выключатель до характерного щелчка происходит смена положения общего контакта. В таком случае вывод COM размыкается с NC и замыкается с NO. Концевой выключатель в зависимости от подключения, позволяет отслеживать микроконтроллеру опорное напряжение на отслеживаемом входе. Схема устройства концевой выключателя приведена на рисунке 17.

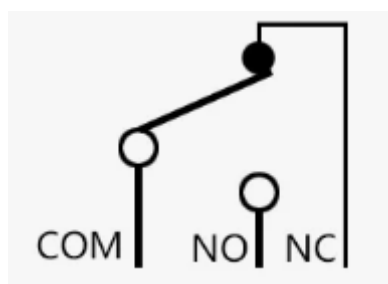


Рисунок 17 – Схема концевой выключателя

Для управления шаговыми двигателями применялись драйверы A4988. Это распространенные драйверы двухфазных двигателей [6] в производстве 3D принтеров и ЧПУ станков. Драйвер A4988 способен управлять одним шаговым двигателем с максимальным током 2А на одну фазу в режиме полного или микро шага. Для управления используются входы ENABLE (выключение драйвера), DIR (выбор направления вращения) и STEP (импульсы для инициирования шагов двигателем). На рисунке 18 показан внешний вид драйвера A4988 а в таблице 3 приведены характеристики.



Рисунок 18 - Драйвер шаговых двигателей A4988

Таблица 3 – Характеристики драйвера A4988

Напряжение питания двигателя, В	8-35
Напряжение питания логики, В	5
Ток на одну фазу двигателя, А	2
Частота входных импульсов, кГц	до 100
Максимальное деление шага	1:16
Управляющие входы	ENABLE, DIR, STEP
Поддерживаемые двигатели	Nema 17
Рабочая температура, °С	от – 55 до +150

Драйвер шаговых двигателей A4988 обеспечивает высокую точность позиционирования и повторяемости, а также возможность быстрого запуска и реверса. Схема подключения драйвера A4988 приведена на рисунке 19.

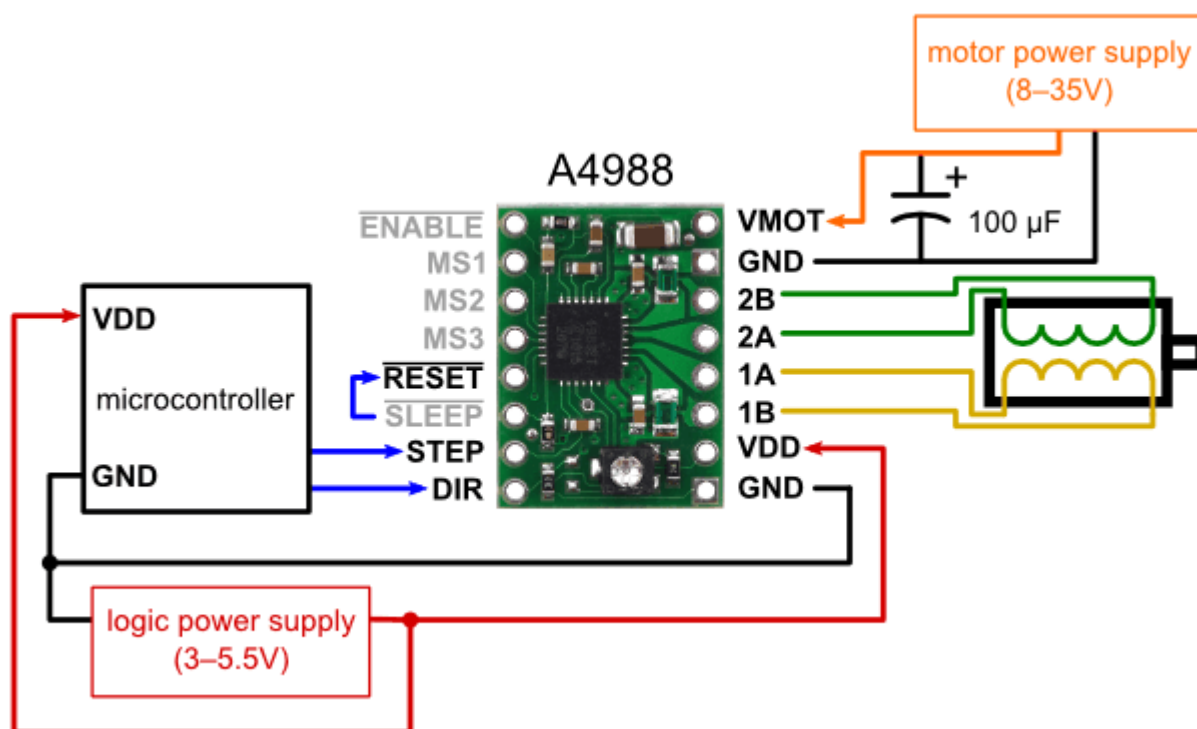


Рисунок 19 – Схема подключения драйвера A49

Обмотки шагового двигателя подключаются к соответствующим выходам. Выходные фазы А и В подписываются цифрами в соответствии с началом обмоток шагового двигателя. Входы VMOT и VDD отвечают за питание драйвера A4988. Питание логической составляющей драйвера на входе VDD варьируется от 3 до 5.5В, что позволяет использовать микроконтроллеры с логическим уровнем 3.3В.

Вход ENABLE необходим для выключения драйвера при подаче на него логической единицы 5В. Сброс драйвера осуществляется подтяжкой входа RESET к земле (логический ноль). Для перевода драйвера A4988 в спящий режим нужно на входе SLEEP установить логическую единицу. Для этого на схеме подключения из рисунка 19 входы RESET и SLEEP соединены, так как сброс подтянут к плюсу питания логики 5В.

В драйвере A4988 есть функция дробления шага. Микрошаговый режим [9] позволяет увеличить разрешающую способность шагового двигателя. Это позволяет снизить вибрации и избежать резонанса на низких оборотах. Благодаря такому режиму, ротор шагового двигателя можно остановить практически в любом положении, если установить правильное отношение токов в обмотках.

Вариация микрошага выбирается установкой соответствующего логического уровня на входах MS1, MS2 и MS3. В таблице 4 приведены логические уровни для выбора микрошага.

Таблица 4 – Логические уровни выбора микрошагового режима

MS1	MS2	MS3	Микрошаг
0	0	0	Полный 1/1
1	0	0	1/2
0	1	0	1/4
1	1	0	1/8
1	1	1	1/16

На рисунке 20 приведены временные диаграммы для микрошагового режима.

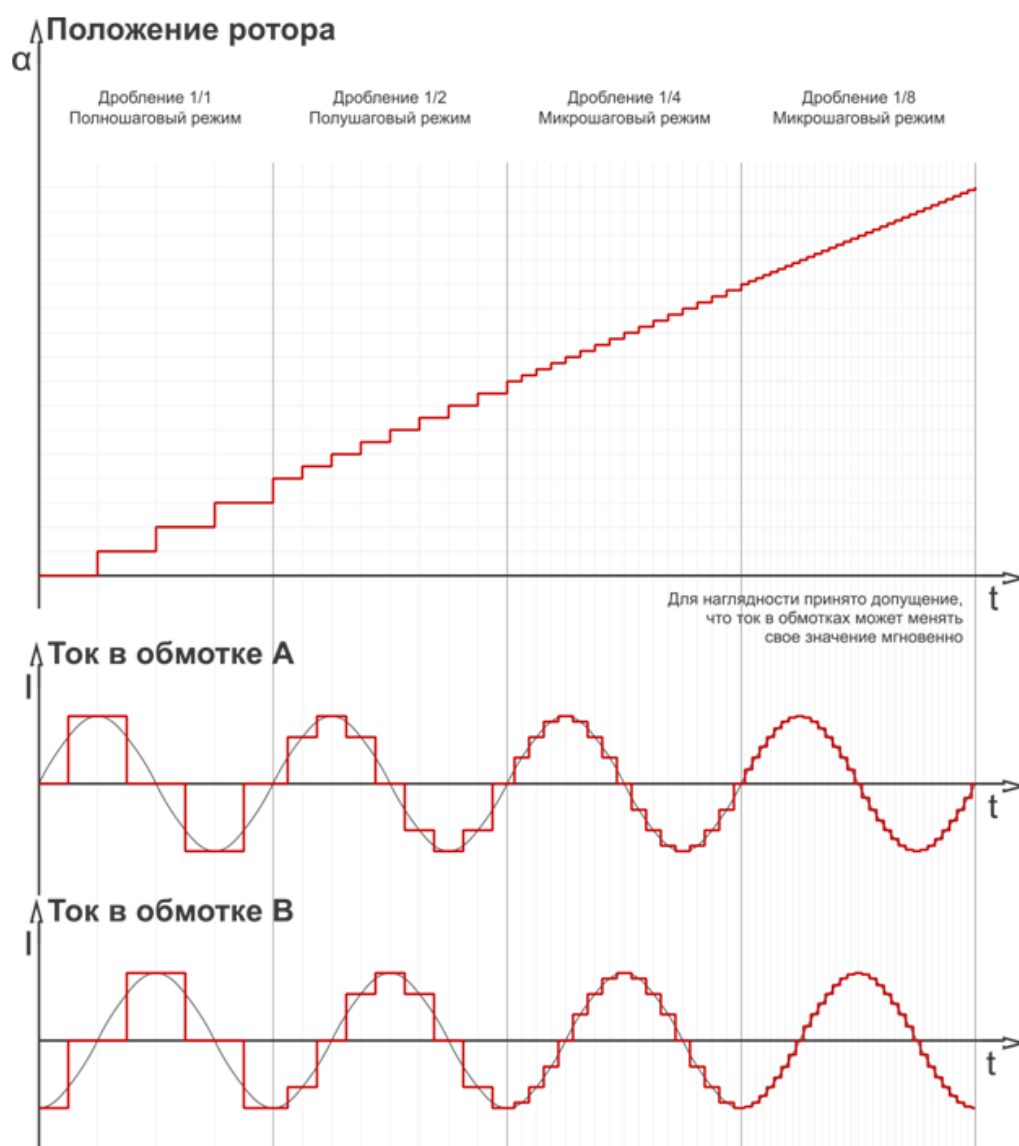


Рисунок 20 – Временные диаграммы микрошагового режима

Увеличение дробления шага способствует росту переключений напряжения и тепловых потерь в обмотках двигателя. Из графика на рисунке 21 можно сделать вывод – повышение дробление шага приведет к снижению момента и максимальной частоты вращения ротора двигателя.

Для выдвижного пина зацепного устройства главным требованием является скорость поднятия. Поэтому будет использоваться режим полного шага.

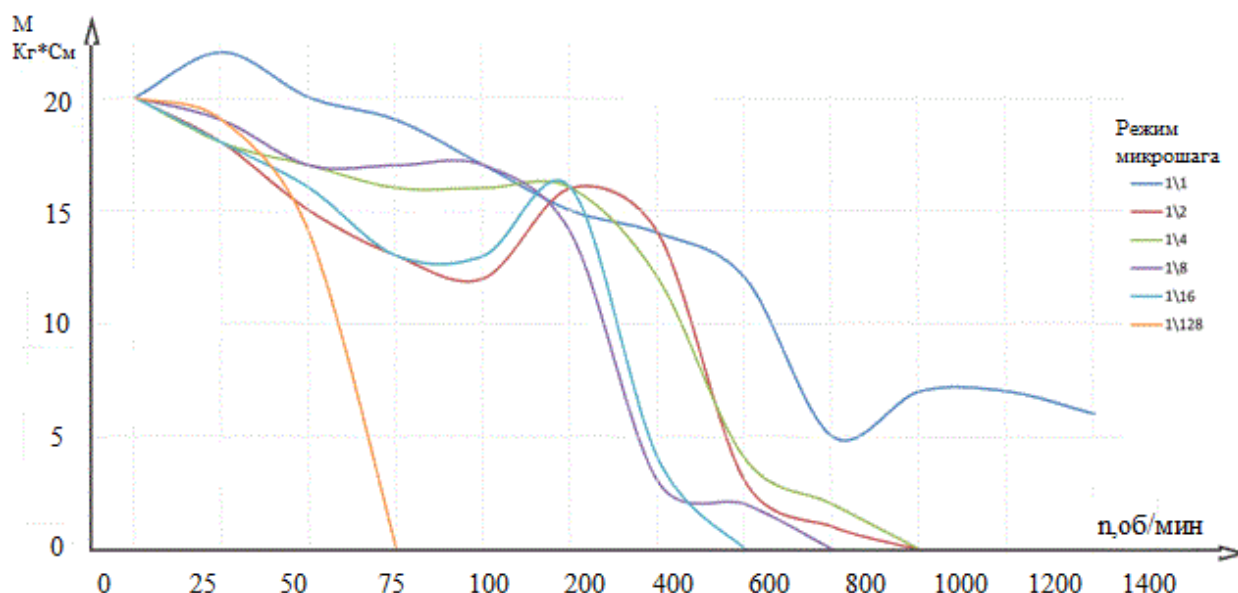


Рисунок 21 – График зависимости момента и скорости вращения ротора шагового двигателя от режима микрошага

Драйвер шаговых двигателей A4988 обеспечивает высокую точность позиционирования и повторяемости, а также возможность быстрого запуска и реверса. Для эффективной и продолжительной работы с током до 2А на фазу рекомендуется использовать дополнительный радиатор охлаждения, фиксирующийся при помощи термоскотча. Без радиатора, максимальный ток на фазу не должен превышать 1А для предотвращения перегрева и выхода из строя драйвера. На рисунке 22 изображен внешний вид драйвера с предустановленным радиатором охлаждения.



Рисунок 22 – Драйвер A4988 с радиатором

Подстроечный резистор на плате драйвера A4988 необходим для настройки максимального тока протекающего через катушки шагового двигателя.

2.1 Проектирование кинематики устройства

После выбора необходимых комплектующих было принято решение разработать компьютерную 3D-модель зацепного устройства автоматической транспортной платформы для последующего промышленного изготовления компонентов и частей механизма. Для проектирования зацепного устройства использовалось программное обеспечение «Компас-3D» [7], представленное на рисунке 23.

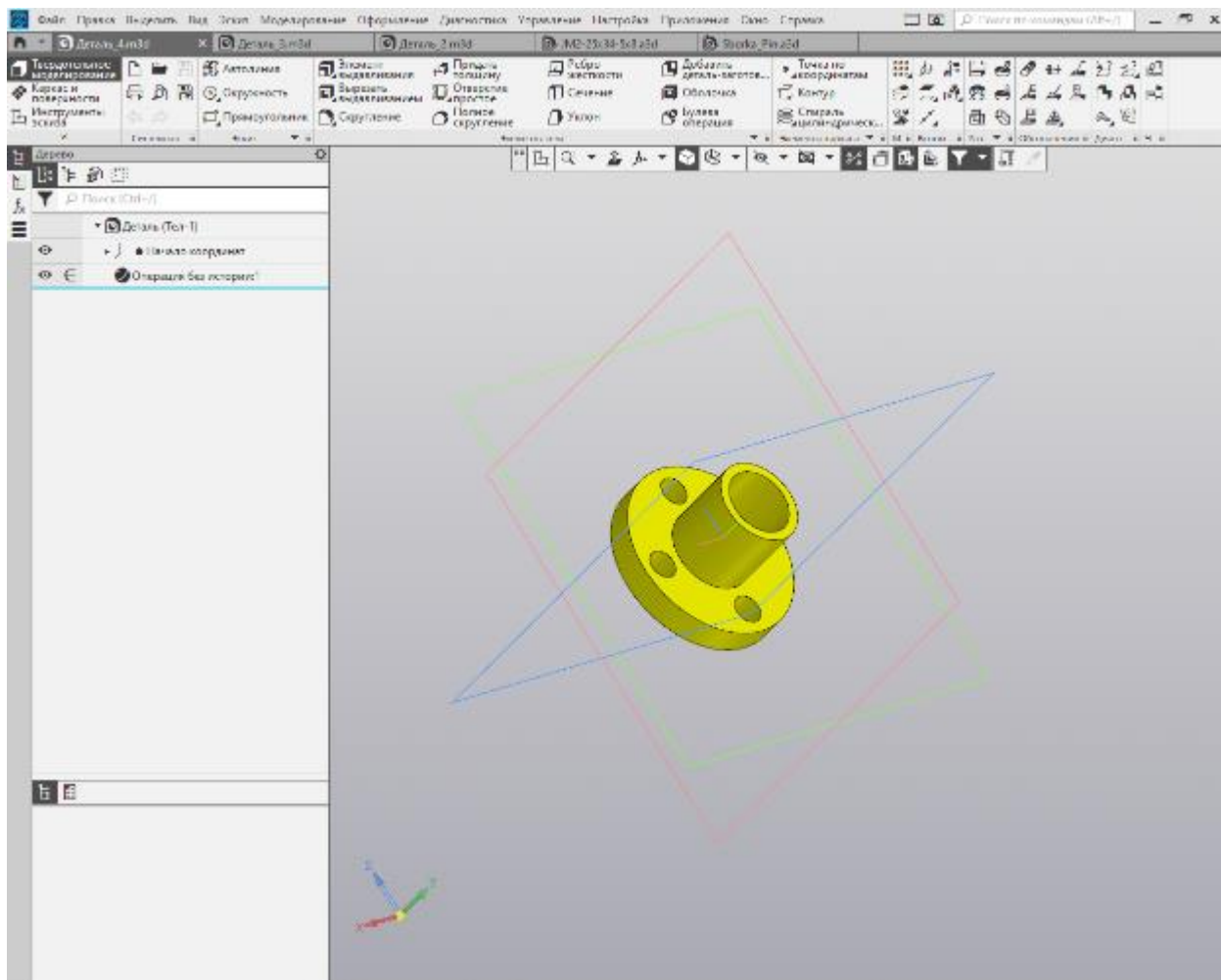


Рисунок 23 – Программа для проектирования Компас-3D

Подобранные комплектующие, необходимые для разработки зацепного устройства, были смоделированы в целях дальнейшего проектирования. На рисунке 23 в окне программы «Компас-3D» изображена точная копия фланцевой гайки для трапециевидного винта. Проектирование позволяет проработать разрабатываемое устройство с большой точностью.

Немаловажным ограничением для компоновки устройства послужили габариты и конструкция AGV платформы. Для компактного размещения устройства было принято решение об установке шаговых двигателей Nema 17 между центральной балкой рамы платформы. На рисунке 24 представлена компоновка двигателей с уже предустановленными муфтами D25L30.

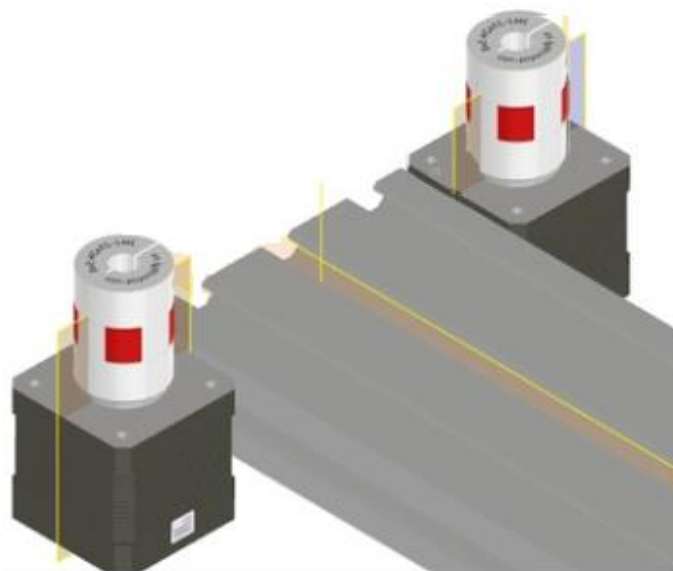


Рисунок 24 – Компоновка двигателей

На рисунке 25 изображена пластина основания корпуса зацепного устройства с закрепленными на ней двигателями. Пластина основания надежно фиксируется на балке с использованием болтов и т-образных гаек.



Рисунок 25 – Пластина основания с шаговыми двигателями

К пластине основания прикручиваются опоры SHF8 для фиксации цилиндрических направляющих. Трапецеидальные винты закрепляются в муфтах, передающих крутящий момент с шаговых двигателей. На рисунке 26 представлено расположение направляющих и трапецевидных винтов.

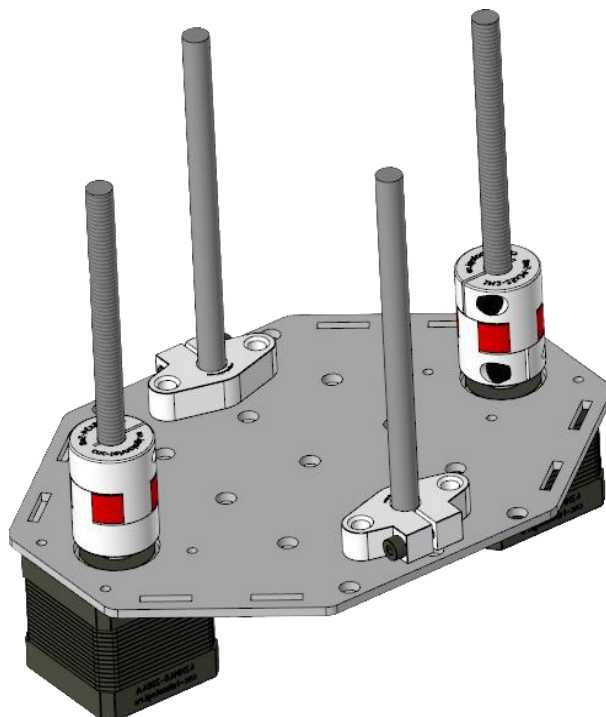


Рисунок 26 – Расположение направляющих и трапецевидных винтов

В пластину основания кареточного узла пина, изображенную на рисунке 27, устанавливаются подшипники скольжения LMK8UU с фланцевыми гайками соосно цилиндрическим направляющим и трапецевидным винтам.

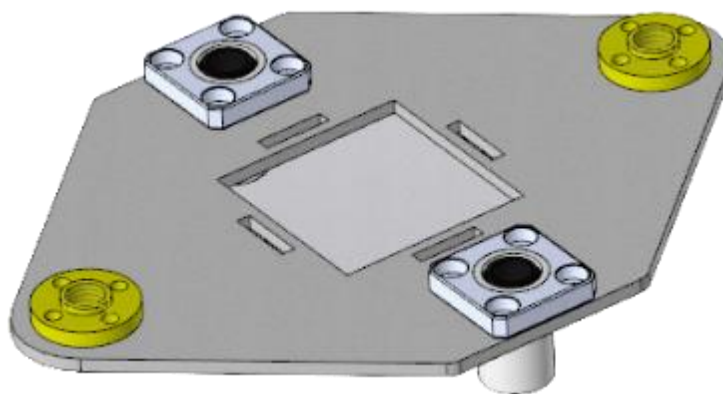


Рисунок 27 – Вид установленных подшипники скольжения и фланцевых гаек трапецевидных винтов

Тело выдвижного пина состоит из четырех пластин, имеющих гнезда для гаек, в которые вкручиваются винты М3 через пазы в основании кареточного узла образуя соединение шип-паз. На пластины одевается втулка выполненная с помощью 3D-принтера [19] PLA филаментом (полилактид). Температура стола при печати составляет 70 градусов, температура экструдера 220, скорость печати 50мм/с. На рисунках 28 и 29 изображена сборка выдвижного пина.

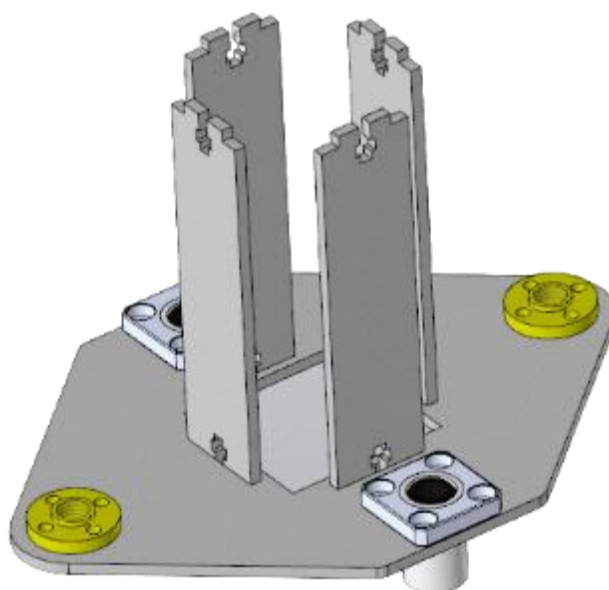


Рисунок 28 – Установленные пластины тела пина

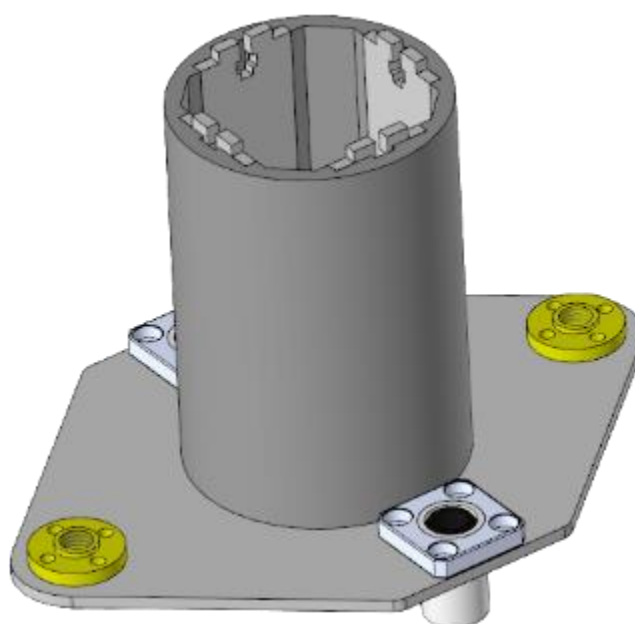


Рисунок 29 – Собранный выдвижной пин зацепного устройства

Пластина основания кареточного узла выдвижного пина, изображенная на рисунке 30, опускается по цилиндрическим направляющим и вкручивается трапецевидными винтами. Для обеспечения жесткости конструкции необходимо зафиксировать с помощью опорных фланцевых подшипников KFL08 трапецевидные винты, а также цилиндрические направляющие опорами SHF8 на верхней пластине корпуса зацепного устройства.

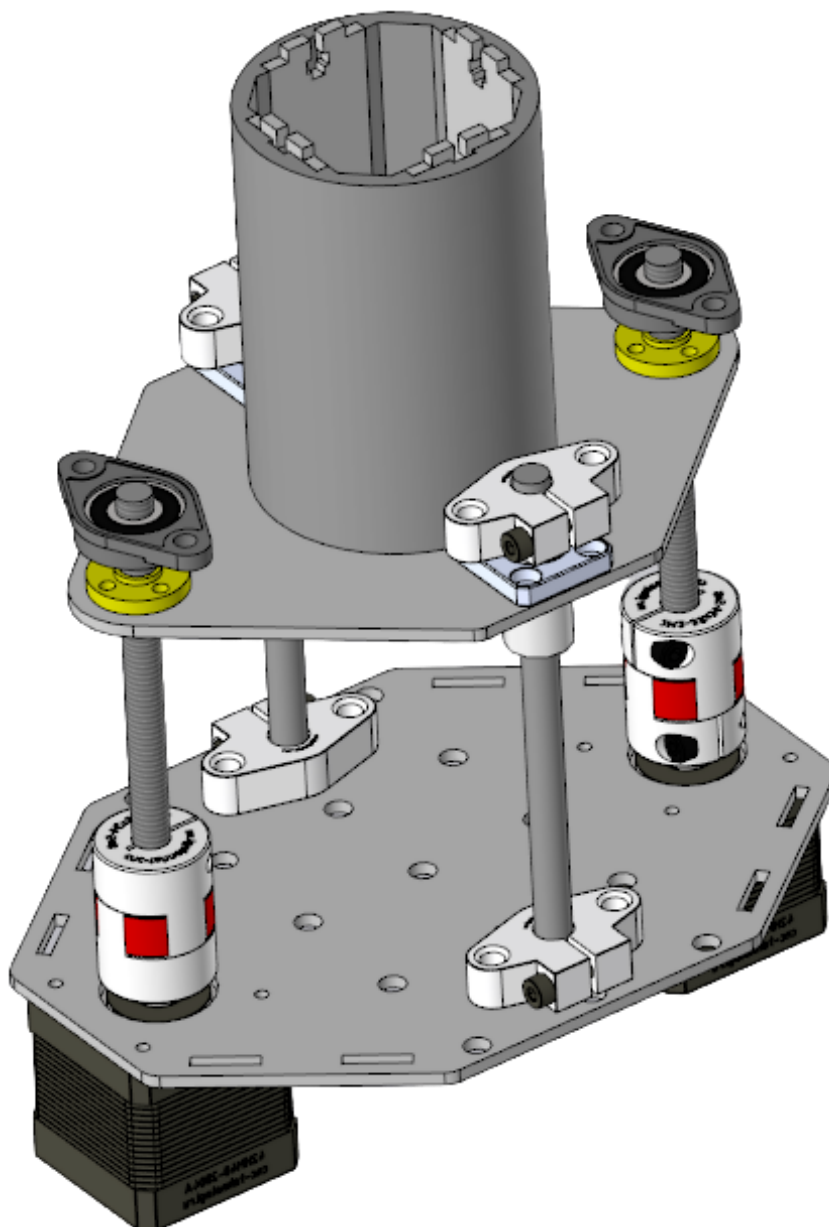


Рисунок 30 – Собранный кареточный узел выдвижного пина

Верхняя и нижняя пластины корпуса зацепного устройства зажимаются при помощи боковых опор через соединение шип-паз. Опорные пластины, установленные развернуто, образуют восьмиугольник. Такая конструкция позволяет облегчить и усилить корпус зацепного устройства.

Корпус электронного блока управления, выполненного с применением 3D-принтера, размещается на опорной пластине для удобного подключения шаговых двигателей и концевых выключателей. На рисунке 31 изображен собранный корпус зацепного устройства с блоком электронного управления. Для наглядности, одна из опорных пластин убрана из видимости.

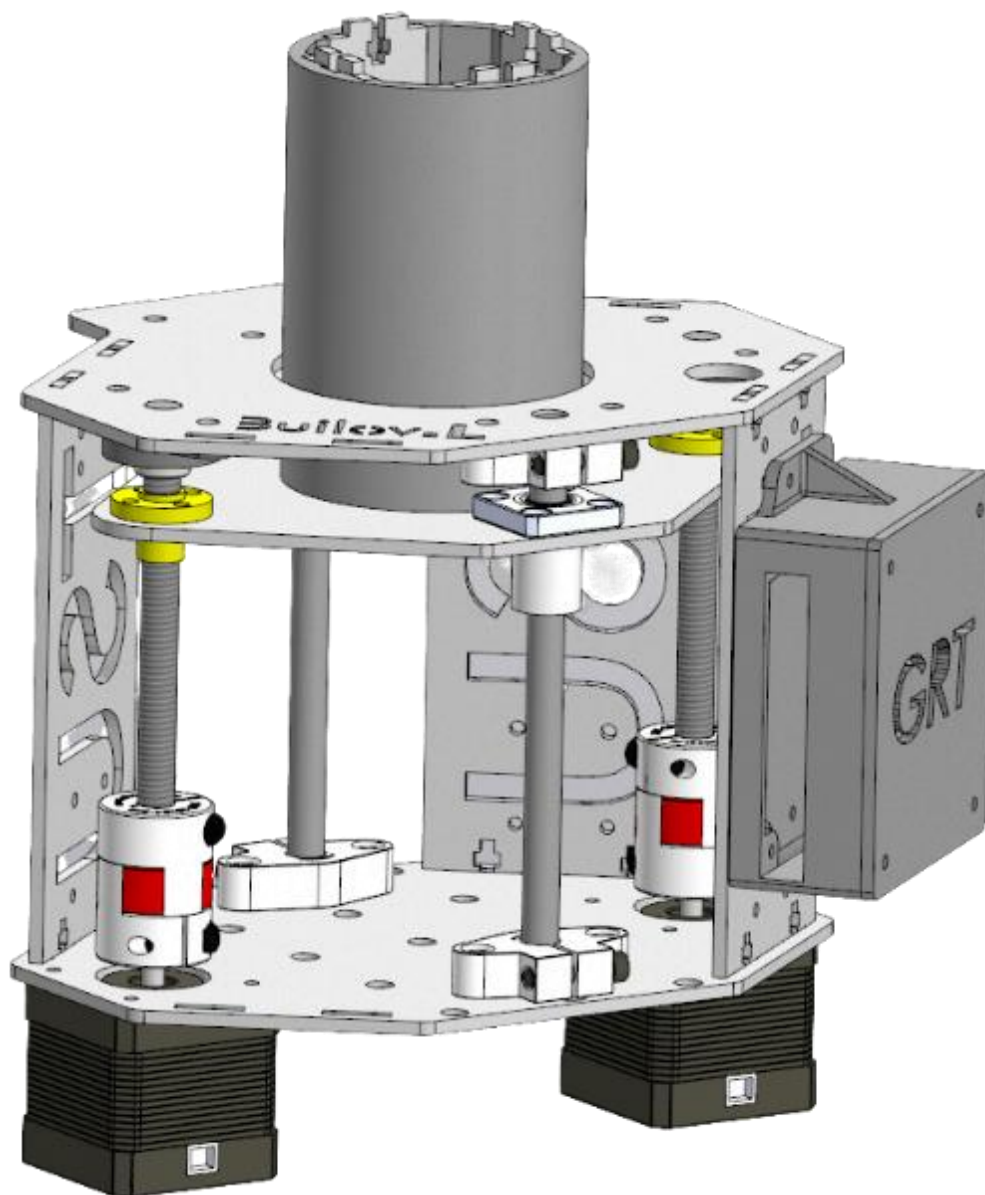


Рисунок 31 – Собранный корпус зацепного устройства

После проектирования 3D-модели зацепного устройства каждая деталь экспортируется в формате DXF, чтобы ее можно было открыть в программе для управления лазерным станком [20]. На рисунке 32 изображены изготовленные детали зацепного устройства из металла толщиной 3мм.



Рисунок 32 – Изготовленные детали зацепного устройства

Перед сборкой корпуса детали обрабатываются кислотным грунтом и окрашиваются порошковой краской. На рисунке 33 изображен окрашенный корпус зацепного устройства.



Рисунок 33 – Окрашенный корпус зацепного устройства

Зацепное устройство необходимо устанавливать ближе к осям ведущих колес для повышенной управляемости транспортной платформы с прицепом. На рисунке 34 изображена транспортная платформа с установленным зацепным устройством. Корпус устройства для надежной фиксации закреплён уголками к поперечной балке, изображенной на рисунке 35.



Рисунок 34 – Вид транспортной платформы с установленным зацепным устройством

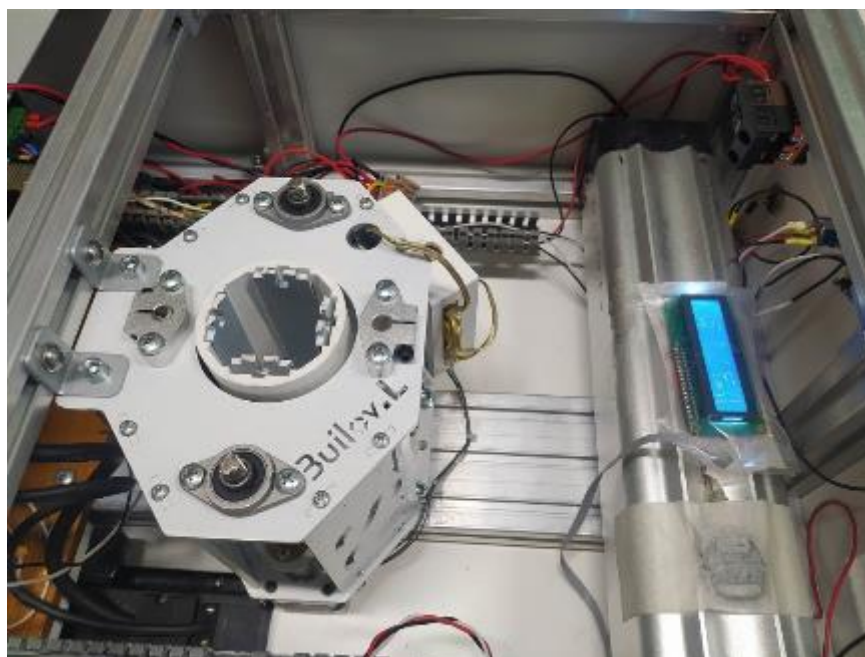


Рисунок 35 – Фиксация зацепного устройства на поперечную балку

2.2 Разработка системы управления

Для внедрения зацепного устройства в AGV платформу принято решение разработать электронный блок управления с дальнейшей установкой на опорную пластину в подготовленный пластиковый корпус. На рисунке 36 приведена структурная схема ЭБУ.

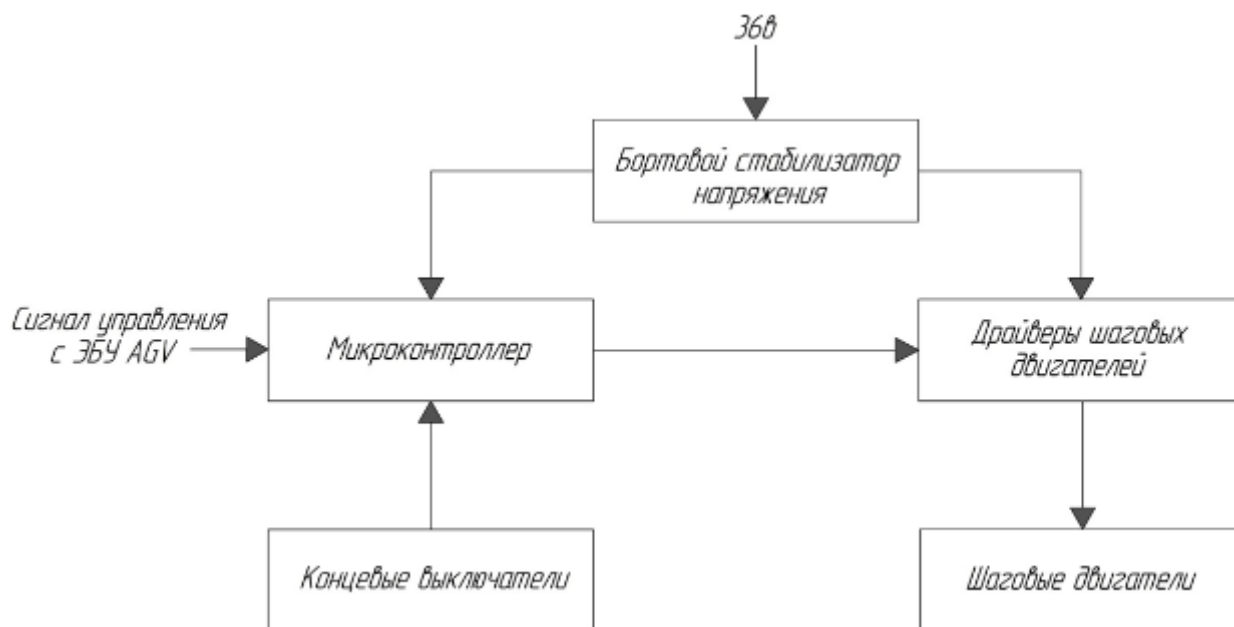


Рисунок 36 – Структурная схема ЭБУ зацепного устройства

Микроконтроллер ATmega328p отладочной платы Arduino Nano управляет драйверами шаговых двигателей A4988, основываясь на обработанных данных с концевых выключателей и сигнала управления. Напряжение 36В, поступающие с литиевого аккумулятора транспортной платформы на бортовой стабилизатор, понижается до 12В, необходимых для питания микроконтроллера и драйверов шаговых двигателей.

Управление зацепным устройством осуществляется цифровым сигналом [18]. Данный метод широко используется в робототехнике для автоматизации и управления системами. На рисунке 37 представлены два основных состояния цифрового сигнала – логический ноль и единица.

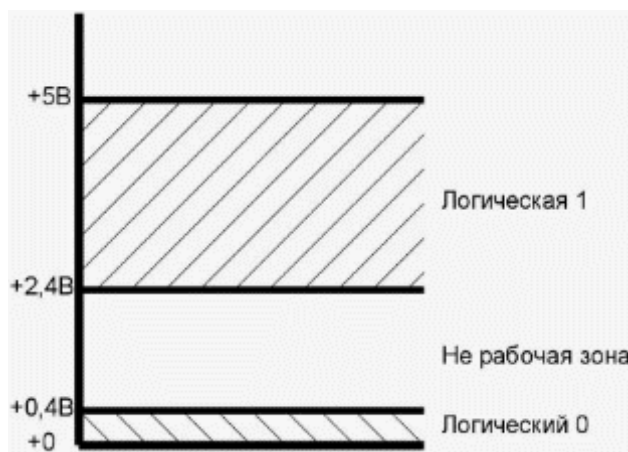


Рисунок 37 - Диаграмма состояния цифрового сигнала

По алгоритму программы записанной в микроконтроллер зацепного устройства, пин выдвигается и удерживается при подаче постоянной логической единицы на управляющий вход. Задвигается при логическом нуле. Данную конфигурацию состояния управляющего сигнала можно изменить программно.

Для обнуления выдвигающегося пина зацепного устройства в начальном и конечном положении используются концевые выключатели. На рисунке 38 изображены установленные концевые выключатели в корпусе зацепного устройства. Срабатывание осуществляется при нажатии на концевой выключатель пластиной кареточного узла выдвижного пина.

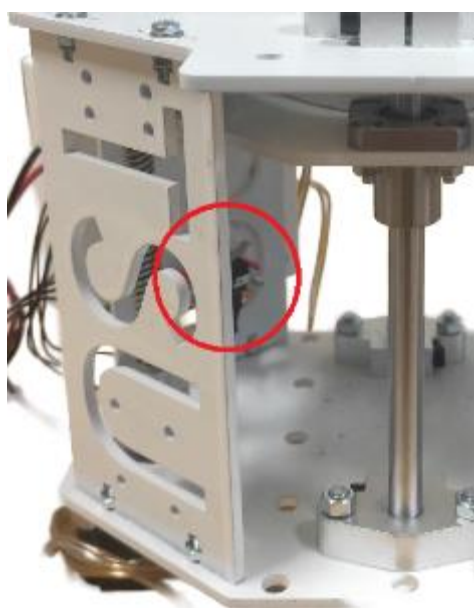


Рисунок 38 – Установленные концевые выключатели

На рисунках 39 и 40 отображаются состояния выдвижного пина, обнуленного в начальном и конечном положении при помощи концевых выключателей.

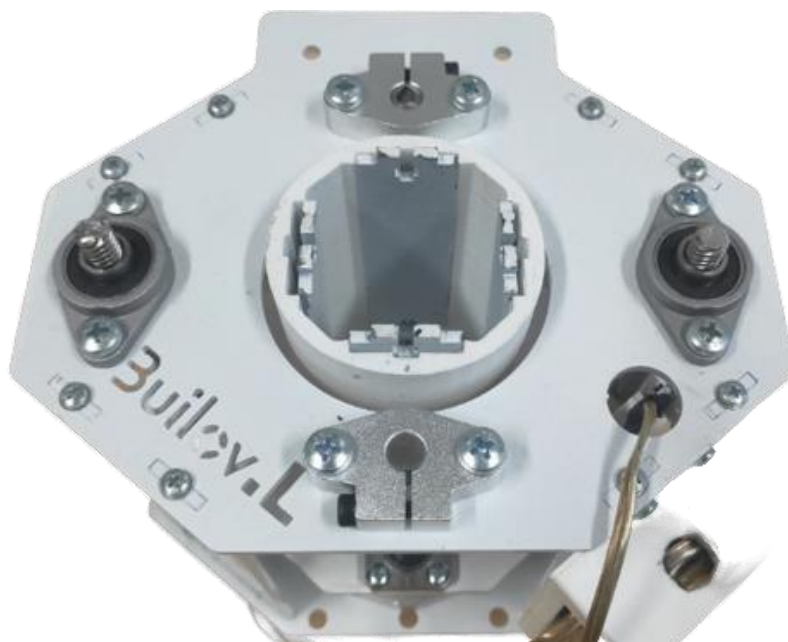


Рисунок 39 – Выдвижной пин обнулен в начальном положении



Рисунок 40 – Выдвижной пин обнулен в конечном положении

Сборка электронного блока управления осуществляется на макетной плате, приведенной в рисунке 41. Такое решение позволяет вносить изменения в структуру блока без кардинальных изменений конструкции. Для удобного подключения проводов использовались винтовые клеммы модели KLS2-350. На рисунке 42 изображена установленная плата электронного блока управления в пластиковый корпус на пластине опоры.

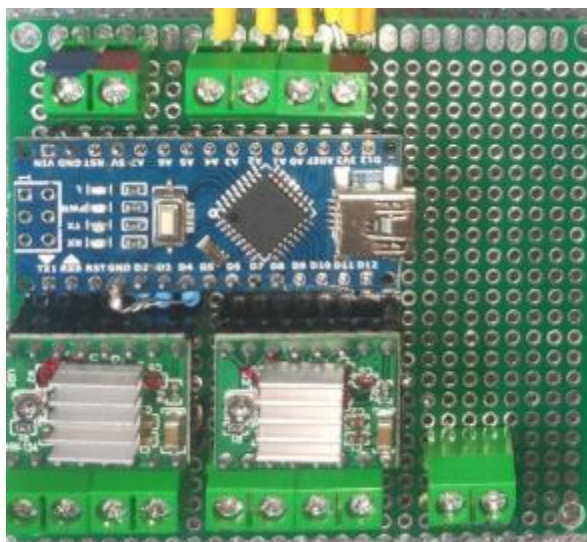


Рисунок 41 – Плата электронного блока управления

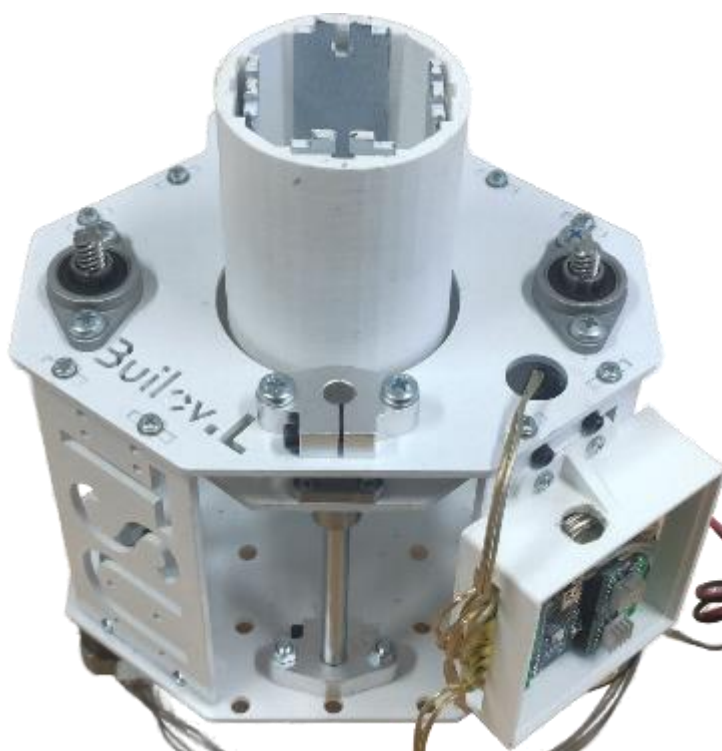


Рисунок 42 – Установленная плата в корпус блока управления

После сборки электронного блока управления необходимо настроить ток протекающий через обмотки шаговых двигателей. Для этого нужно выставить опорное напряжение на подстроечном резисторе драйвера A4988. Опорное напряжение рассчитывается по формуле 1.

$$U_{ref} = I_{trip} \times 8 \times R_s = 0,9A \times 8 \times 0,1\text{Ом} = 0,72V \quad (1)$$

Где U_{ref} – опорное напряжение, В;

I_{trip} – общий ток двух обмоток двигателя, А;

R_s – Сопротивление шунта на драйвере, Ом.

Рассчитанное опорное напряжение будет обеспечивать максимальный рабочий ток, но при таком режиме двигатели будут греться при удержании. Необходимо уменьшить опорное напряжение до 70%, то есть:

$$U_{ref} \times 0,7 = 0,504V$$

Опорное напряжение выставляется мультиметром, относительно общей массы и корпуса подстроечного резистора. На рисунке 43 отображена методика установки тока протекающего через обмотки шаговых двигателей.



Рисунок 43 – Установка опорного напряжения на драйвере A4988

2.3 Проектирование принципиальной схемы

Принципиальная схема электронного блока управления зацепным устройством, изображенная на рисунке 44, проектировалась в программе «Компас-3D».

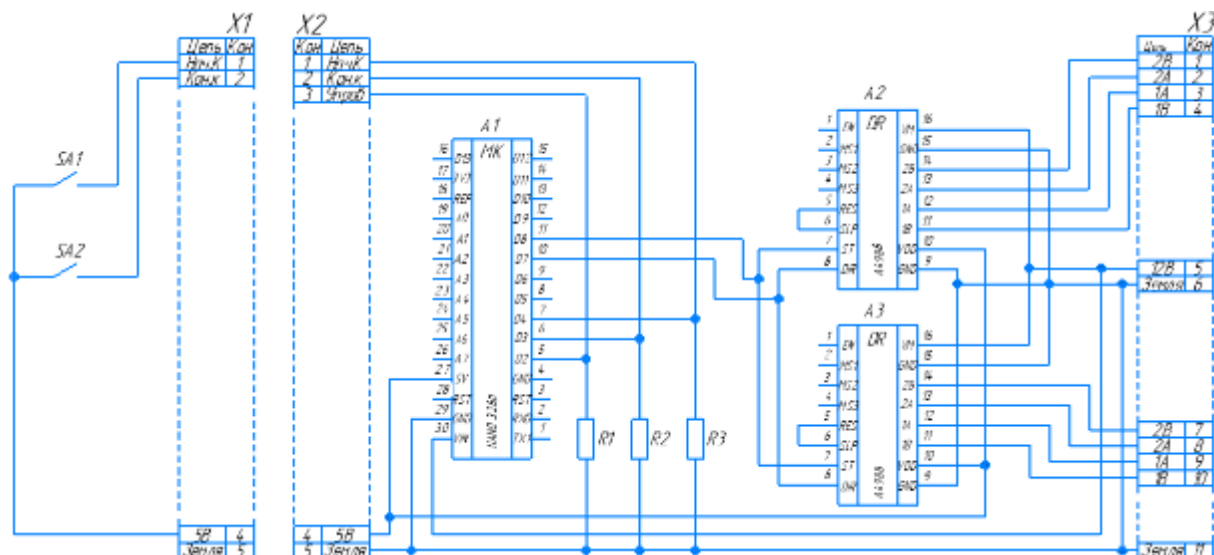


Рисунок 44 – Принципиальная схема электронного блока управления

Концевые выключатели, обозначенные как SA1 и SA2, соединяются последовательно относительно плюса питания 5В. Резисторы R1, R2 и R3 обеспечивают подтяжку цифровых входов к земле (логический ноль). При срабатывании одного из концевых выключателей происходит подтяжка входа к плюсу питания (устанавливается логическая единица). Управляющий вход работает по аналогии с концевыми выключателями.

Входы STEP и DIR драйверов шаговых двигателей, соединены параллельно. Такое решение необходимо для синхронной работы двигателей. Питание логической составляющей драйверов шаговых двигателей A4988 обеспечивается стабилизатором микроконтроллера на 5В.

Таким образом, в данном разделе спроектирована 3D-модель корпуса зацепного устройства. Описан процесс изготовления и сборки. Разработан электронный блок управления и принципиальная схема.

3 Написание программы для микроконтроллера

Для написания программного кода использовалась среда разработки Arduino IDE, позволяющая создавать и загружать программы на совместимые платы Arduino [15, 16]. Программа для электронного блока управления зацепным устройством приведена ниже.

```
#define STEP_PIN 8 // Присваиваем имя STEP_PIN для пина 8
#define DIR_PIN 7 // Присваиваем имя DIR_PIN для пина 7

const int input_PIN = 2; //Управляющий вход
const int DOWN_PIN = 3; //Вход нижнего концевого выключателя
const int UP_PIN = 4; //Вход верхнего концевого выключателя
const bool DIR_UP = 0; // Состояние DIR необходимое для поднятия пина вверх
int HL_PIN = 13; //Индикаторный светодиод работы двигателей

int input = 0; //Состояние входа. 0 - опустить (вниз), 1 - выдвинуть (вверх)
int DOWN = 0; //Состояние нижнего концевого выключателя. 1 - замкнут
int UP = 0; //Состояние верхнего концевого выключателя. 1 - замкнут

int speed = 500; //Скорость вращения, шагов/сек. (1 оборот равен 200 шагов)
int limit_time = 5000; //Предельное время на движение пина, мс. Дальше
двигатели не будут вращаться. Для продолжения вращения необходима смена
управляющего цифрового сигнала на входе input

void setup() {
    pinMode(STEP_PIN, OUTPUT); // используем STEP_PIN для вывода
    pinMode(DIR_PIN, OUTPUT); // используем DIR_PIN для вывода
    pinMode(HL_PIN, OUTPUT); // используем HL_PIN для вывода
}
```

```

void loop() {
    if (!digitalRead(input_PIN) && !digitalRead(DOWN_PIN)) { //Если на
управляющем входе 0 и нижний концевой выключатель не замкнут
        digitalWrite (DIR_PIN, !DIR_UP); //Устанавливаем направление
вращения двигателей для опускания пина
        digitalWrite (HL_PIN, 1); //Зажигаем индикаторный светодиод
        tone (STEP_PIN, speed, limit_time); //Запускаем двигатели с предельным
временем вращения limit_time
        while (!digitalRead(input_PIN) && !digitalRead(DOWN_PIN))
delayMicroseconds(10); //Пока на управляющем входе 0 и нижний концевой
выключатель не замкнут
            noTone (STEP_PIN); //Останавливаем вращение двигателей
        }
    if (digitalRead(input_PIN) && !digitalRead(UP_PIN)) { // Если на управляющем
входе 1 и верхний концевой выключатель не замкнут
        digitalWrite (DIR_PIN, DIR_UP); // Устанавливаем направление
вращения двигателей для поднятия пина
        digitalWrite (HL_PIN, 1); //Зажигаем индикаторный светодиод
        tone (STEP_PIN, speed, limit_time); // Запускаем двигатели с предельным
временем вращения limit_time
        while (digitalRead(input_PIN) && !digitalRead(DOWN_PIN))
delayMicroseconds(10); // Пока на управляющем входе 1 и нижний концевой
выключатель не замкнут
            noTone (STEP_PIN); //Останавливаем вращение двигателей
        }
        digitalWrite (HL_PIN, 0); // Индикаторный светодиод гаснет
    }
}

```

На рисунках 45 - 47 изображена блок-схема разработанной программы для электронного блока управления сцепным устройством.

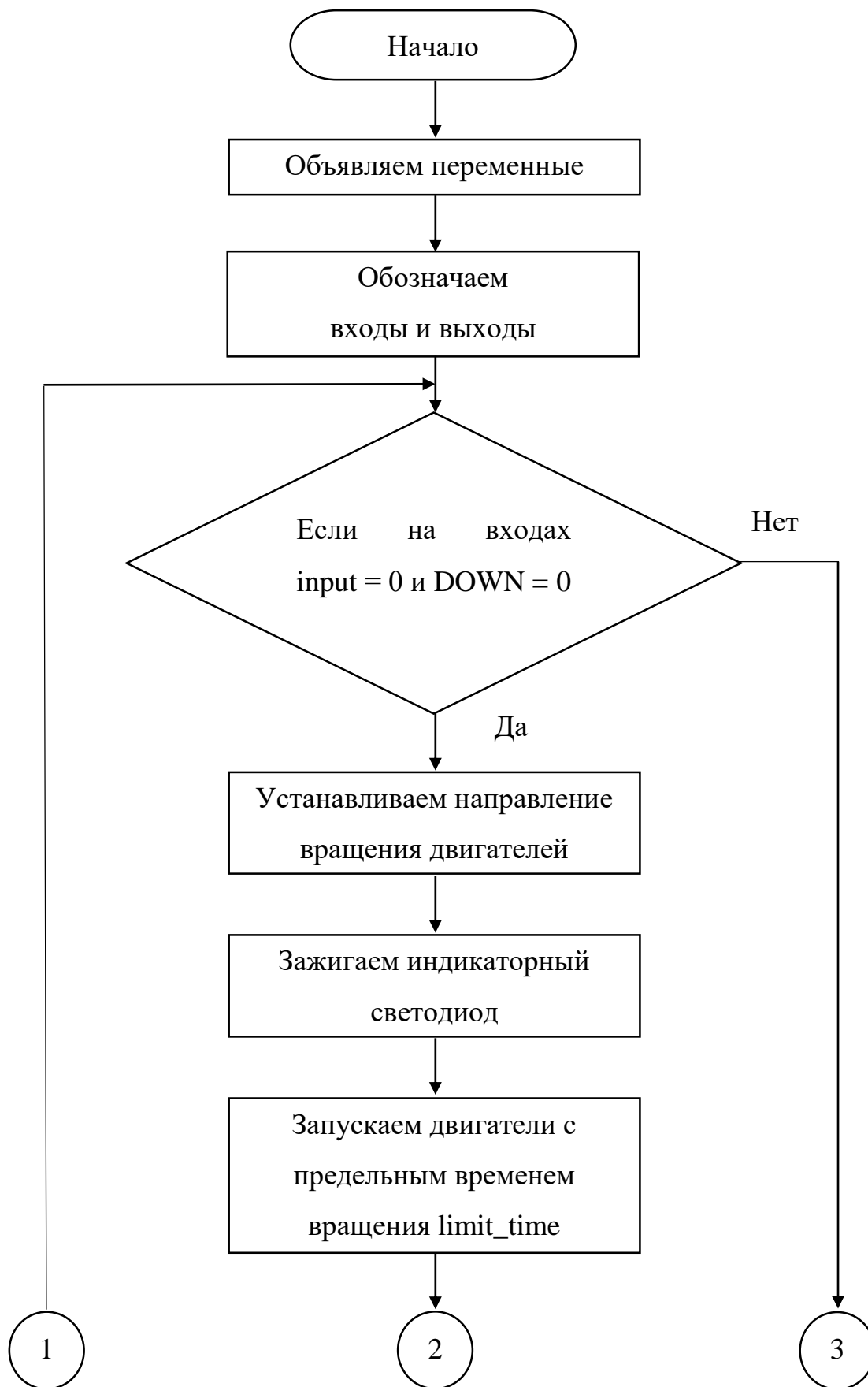


Рисунок 45 - Блок-схема разработанной программы

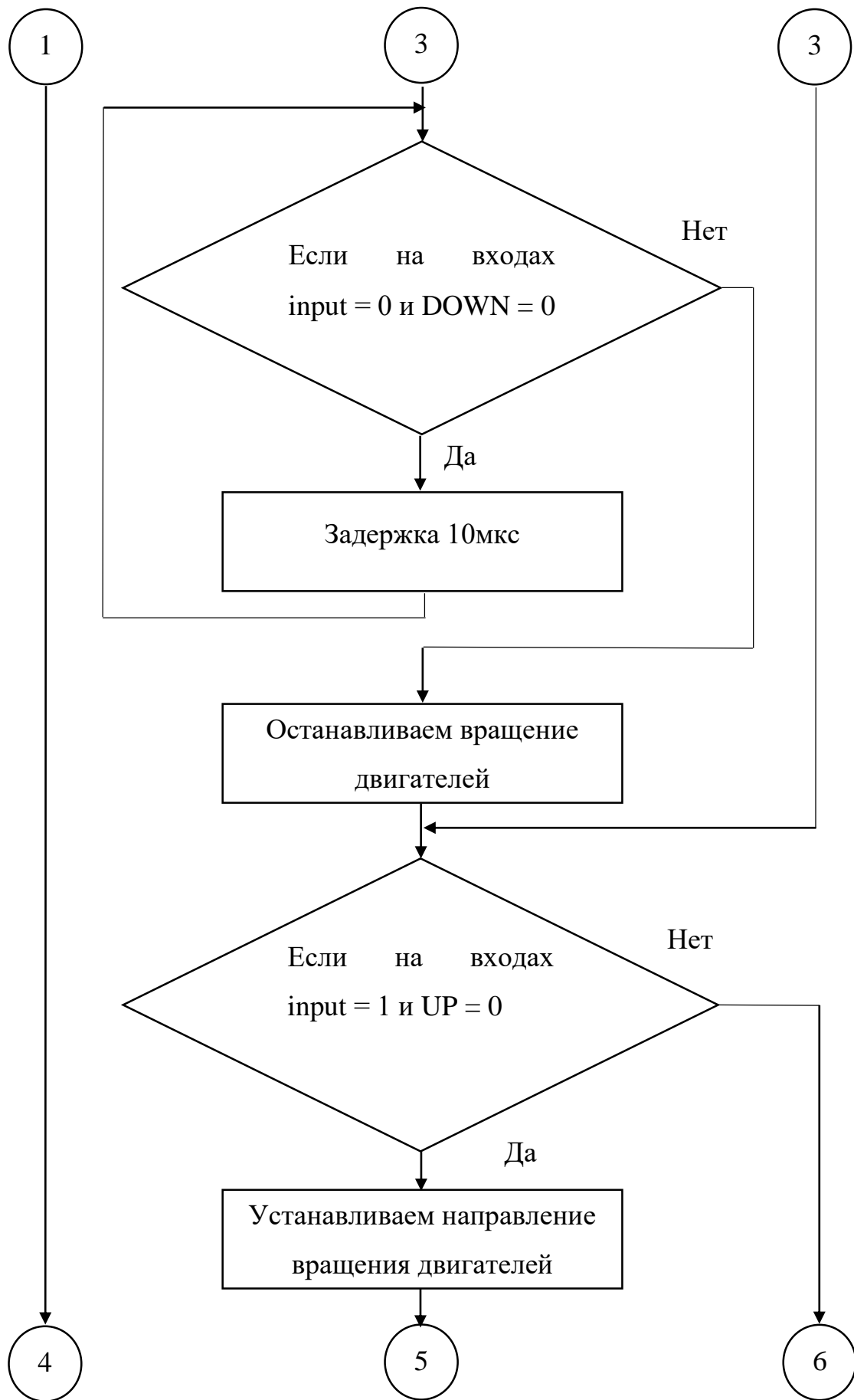


Рисунок 46 - Блок-схема разработанной программы (продолжение)

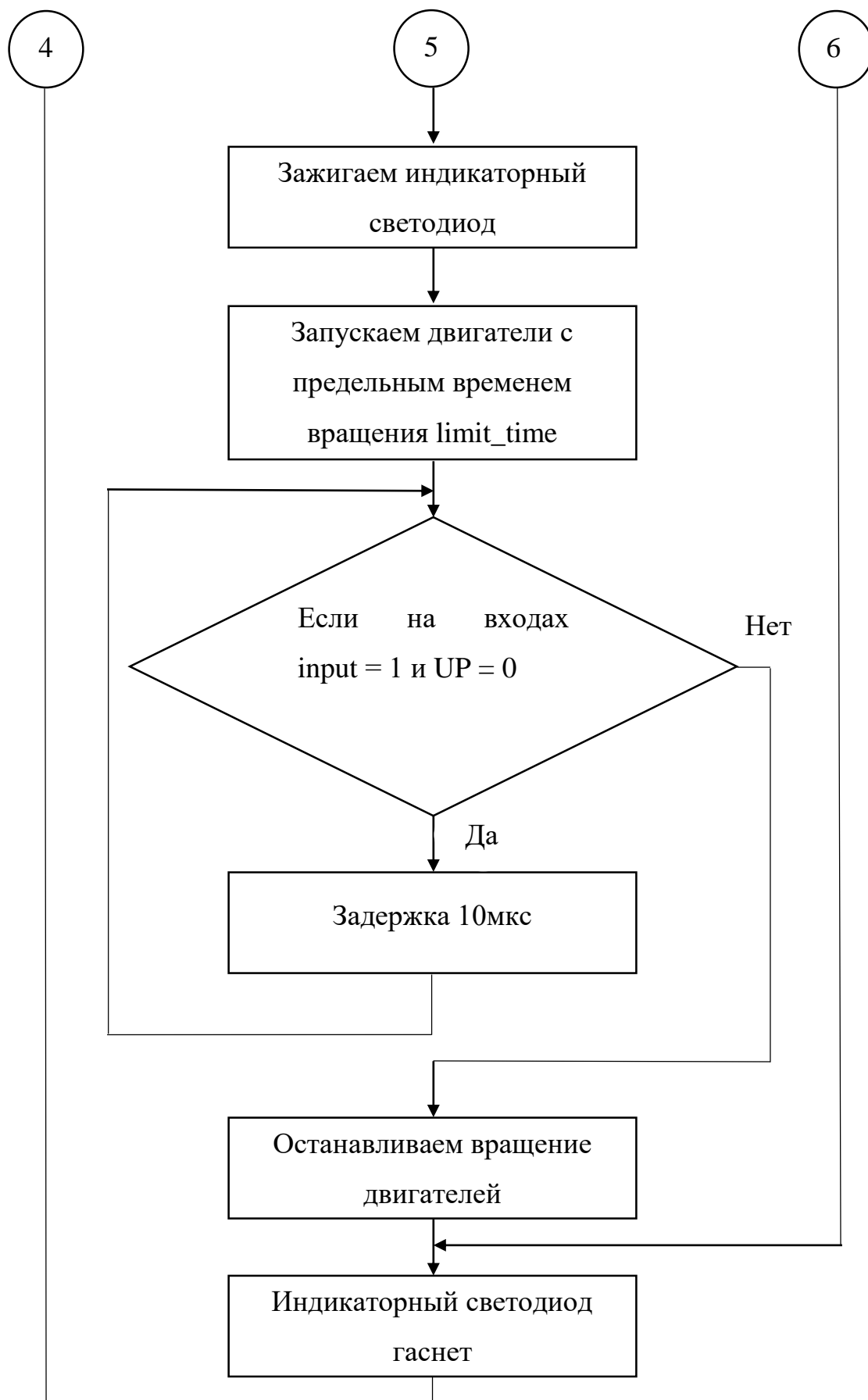


Рисунок 47 - Блок-схема разработанной программы (продолжение)

При запуске электронного блока управления, в случае, если на управляющий вход не подается логическая единица, происходит обнуление зацепного устройства – кареточный узел с выдвижным пином задвигается, до момента срабатывания концевого выключателя начального положения. Для этого на входах DIR драйверов a4988 устанавливается логический ноль, позволяющий выбрать необходимое направление вращения шаговых двигателей, а на вход STEP подаются тактовые импульсы, инициирующие шаги.

Поднятие и удержание выдвижного пина зацепного устройства осуществляется при изменении состояния сигнала на управляющем входе с логического нуля на постоянную единицу. Как и в случае с обнулением в начальном положении, кареточный узел выдвижного пина будет подниматься до момента срабатывания концевого выключателя конечного положения.

Когда осуществляется цикл работы зацепного устройства – обнуление или поднятие пина, загорается индикаторный светодиод, установленный на плате Arduino Nano. После окончания цикла работы светодиод гаснет.

Для предотвращения аварийных ситуаций предусмотрена система безопасности. При запуске цикла работы зацепного устройства включается таймер длительностью 5с. Если по истечении этого времени не произойдет обнуление кареточного узла в начальном или конечном положении – двигатели останутся. Для выхода из аварийного режима необходимо изменить состояние логического сигнала на управляющем входе.

Временные диаграммы необходимые для понимания алгоритма работы электронного блока управления приведены на рисунке 48.

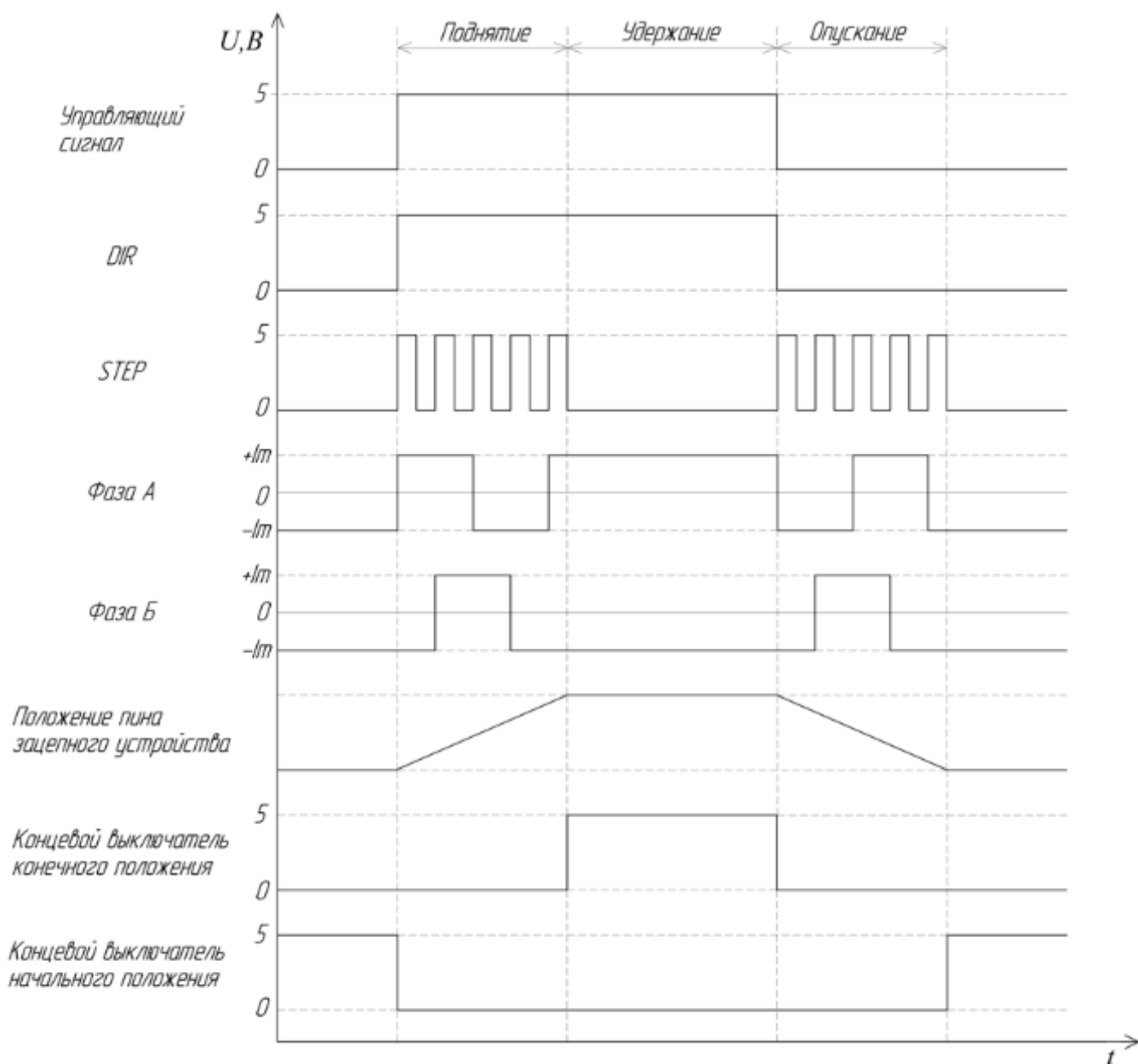


Рисунок 48 – Временные диаграммы алгоритма работы электронного блока управления зацепным устройством

Таким образом, в данном разделе была приведена разработанная программа для микроконтроллера ATmega328p, управляющего электронным блоком управления зацепным устройством. Составлена блок-схема программы и временные диаграммы алгоритма работы электронного блока управления.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был изготовлен рабочий прототип зацепного устройства для автоматической транспортной платформы, разработанной на кафедре «Промышленная электроника» Тольяттинского государственного университета.

Для реализации данного проекта получен грант в рамках научно-исследовательской работы.

Корпус устройства моделировался и изготавливался с применением лазерной резки. Выбранные компоненты кинематики зацепного устройства применяющиеся в 3D принтерах позволили удешевить дальнейшее серийное производство и облегчить обслуживание. Итоговая стоимость разработанного зацепного устройства составляет 10.000р, что в 3 раза дешевле зарубежного аналога.

Составлена структурная схема зацепного устройства, разработан электронный блок управления, контролирующий процессы поднятия и опускания выдвижного пина, а также принципиальная схема. Уже встроенный блок управления значительно облегчает внедрение разработанного узла в автоматическую транспортную платформу.

Написана программа для электронного блока управления с функцией защиты по ограниченному времени обнуления выдвижного пина.

Составлена блок-схема программы и временные диаграммы алгоритма работы электронного блока управления.

Список используемой литературы

1. Автоматически управляемые тележки Automatic Guided Vehicle [Электронный ресурс]. URL: <http://agvrobot.ru/> (дата обращения 03.04.24).
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. В 3 х т. Т. 2. 6. Е изд., перераб. доп. М.: Мишиностроение, 1982. 584 с.
3. Волохов Д.Г., Прядилов А.В. Многофункциональная система управления на базе Arduino. В сборнике: Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук Материалы IV научно-практической международной конференции (школы-семинара) молодых ученых: в 2 частях. Тольятти, 2018. С. 360-364.
4. Все, что вам нужно знать о шаговом двигателе Nema 17 [Электронный ресурс]. URL: <https://gistryu.ru/wiki-parts/17hs4401> (дата обращения 27.04.24).
5. Выпрямитель стабилизатор ВС-12 [Электронный ресурс]. URL: <https://arcmoto.ru/catalog.html?itemid=535> (дата обращения 18.04.24).
6. Драйвер шагового двигателя A4988. [Электронный ресурс]. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/drajver-shagovogo-dvigatelya-a4988/> (дата обращения 21.05.24).
7. КОМПАС-3D Система трехмерного моделирования. [Электронный ресурс]. URL: <https://ascon.ru/products/kompas-3d/> (дата обращения 25.05.24).
8. Концевые выключатели: виды, устройство и принцип работы. [Электронный ресурс]. URL: <https://meyertec.owen.ru/blog/kontsevyevyuklutchateli> (дата обращения 11.05.24).
9. Микрошаговый режим работы шагового двигателя, дробление шага. [Электронный ресурс]. URL: https://electroprivod.ru/microstepping_mode.htm?ysclid=lwvvd4uo88127519680 (дата обращения 21.05.24).
10. Обзор роботов AGV и AMR. [Электронный ресурс]. URL: <https://top3dshop.ru/blog/agv-amr-robots-review.html> (дата обращения 05.04.24).

11. Соединительные муфты для ЧПУ и 3D принтеров. Разновидности и отличия. [Электронный ресурс]. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/cnc/mufty-dlya-stankov-s-chpu-i-3d-printerov-raznovidnosti-i-otlichiya/> (дата обращения 07.05.24).
12. Сфера и область применения фланцевых подшипников [Электронный ресурс]. URL: <https://prom-komplect.ru/blog/stati/sfera-i-oblast-primeneniya-flancevykh-podshipnikov> (дата обращения 10.05.24).
13. Трапециевидные винты [Электронный ресурс]. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/cnc/trapetseidalnye-vinty/> (дата обращения 27.04.24).
14. AGV Hook Device TZJS-25-100 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tzbotautomation.com/accessory/1/agv-hook-device.html> (дата обращения 15.01.24).
15. Arduino Sketches. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.arduino.cc/learn/programming/sketches/> (дата обращения 28.05.24).
16. Arduino Software (IDE). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment> (дата обращения 27.04.24).
17. Automated Guided Vehicle [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/KR101863738B1/en?q=KR101863738B1+> (дата обращения 15.04.24).
18. Digital Control of Power Electronic Systems. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.monolithicpower.com/en/power-electronics/control-of-power-electronic-systems/digital-control-of-power-electronic-systems> (дата обращения 27.05.24).
19. How 3D Printers Work. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/top3dshopinc/articles/791824/> (дата обращения 25.05.24).
20. Laser cutting. [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_cutting (дата обращения 25.05.24).

Приложение А

**Диплом за победу в конкурсе научно-исследовательских и
инновационных проектов**

 **тольяттинский
государственный
университет**

 **ДИПЛОМ**

КОНКУРС НА ФИНАНСИРОВАНИЕ
СТУДЕНЧЕСКИХ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
И ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

награждается

**Буйлов
Лев
Игоревич**

ПРОРЕКТОР
ПО НАУЧНО-ИННОВАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
С.Х. ПЕТЕРАЙТИС



за победу в конкурсе научно-исследовательских и
инновационных проектов в
Тольяттинском государственном университете

ТОЛЬЯТТИ

Приложение Б

Диплом за II место во Всероссийском конкурсе научно-технологических проектов «Инженерия будущего 2.0»



Приложение В

Диплом победителя полуфинала в XIII Национальной научно-технической конференции

