

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОРЕВНОВАНИЕ «ШАГ В БУДУЩЕЕ, МОСКВА»

1749

регистрационный номер

Информатика и системы управления

название факультета

Проектирование и технология производства электронной аппаратуры (ИУ4)

название кафедры

Установка для повышения качества радиосвязи в канале управления БПЛА

название работы

Автор:

Громаков Максим Алексеевич

фамилия, имя, отчество

ГБОУ Школа 1557 имени Капицы 10А

наименование учебного заведения, класс

Научный руководитель:

Нигматулин Руслан Равильевич

фамилия, имя, отчество

ГБОУ Школа 1557 им. Капицы

место работы

Заведующий Кафедрой Технологии

звание, должность

подпись научного руководителя

Аннотация

на научно-исследовательскую работу УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАДИОСВЯЗИ В КАНАЛЕ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА

В работе рассмотрено создание установки для точного позиционирования направленных приемо-передающих антенн, обеспечивающих канал связи с беспилотным летательным аппаратом (БПЛА).

Поворот антенн по двум направлениям обеспечивается двумя электродвигателями постоянного тока 12 В с четырёх ступенчатыми редукторами обеспечивающими передаточное отношение 2000:1. Двигатели управляются микроконтроллером ATmega 2560 с помощью драйверов L298N.

Во время полета БПЛА по каналу связи передает на наземную станцию телеметрическую информацию. На персональном компьютере наземной станции специальный программный модуль выделяет из потока данных GPS координаты БПЛА и в обработанном виде передает их через последовательный интерфейс в микроконтроллер установки. На основании полученных данных микроконтроллер осуществляет поворот антенн таким образом, чтобы обеспечить наиболее благоприятные условия радиообмена с БПЛА.

Созданная установка не является уникальной, но существующие аналоги не отвечают заданным заказчиком – поисково-спасательным отрядом «Лиза Алерт» – критериям по цене, размеру и несущей способности.

Содержание

	С.
СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1 Анализ методов и средств радиосвязи в канале управления БПЛА	9
1.1 Анализ Технического Задания	9
1.2 Анализ исторических прототипов и современных аналогов. Выбор оптимальной идеи.	9
1.3 Оригинальность и новизна конструкции	11
1.4 Изучение программного обеспечения, выработка способа получения данных о местоположении БПЛА	11
1.5 Обработка данных	13
1.6 Макетирование	14
1.7 Дизайн	14
Выводы	15
2 Разработка конструкции установки управления углом поворота направленных антенн канала управления БПЛА	16
2.1 Требования к изделию	16
2.2 Дизайн и выбор материалов	17
2.3 Конструирование модели в САПР	17
2.4 Кинематическая схема	18
2.5 Электронная система	19
2.6 Технологическая карта	19
Выводы	22
3 Разработка программного обеспечения конструкции установки управления углом поворота направленных антенн канала управления БПЛА	23
3.1 Программирование микроконтроллера в среде Arduino IDE	23
3.2 Программирование модуля согласования интерфейсов	25
Выводы	28
4 Разработка опытного экземпляра установки управления углом поворота направленных антенн канала управления БПЛА	29
4.1 Испытания прототипа	29
4.2 Дизайн и выбор материалов	30
4.3 Конструирование модели в САПР	30
4.4 Кинематическая схема	31
4.5 Электронная система	32
4.6 Технологическая карта	33
4.7 Испытания	34
Выводы	36

5	Экономическая и экологическая оценка разработанной установки управления углом поворота направленных антенн канала управления БПЛА	37
5.1	Расчёт материалов и затрат	37
5.2	Экологическая оценка	38
	Выводы	39
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	41
	Приложение №1 Сборочный чертеж прототипа установки	
	Приложение №2 Электрическая схема установки	
	Приложение №3 Сборочный чертеж опытного образца установки	
	Приложение №4 Сканы дипломов и статей	

Список использованных сокращений, обозначений и терминов

ПСО - поисково-спасательный отряд.

БПЛА - беспилотный летательный аппарат.

САПР - Система автоматизированного проектирования.

ТЗ - Техническое Задание.

ПО - программное обеспечение.

ПК - персональный компьютер.

ВВЕДЕНИЕ

Тема проекта, обоснование проблемы. Вот уже более девяти лет существует поисково-спасательный отряд «ЛизаАлёрт», волонтерское некоммерческое общественное объединение, которое занимается поиском пропавших без вести людей. За все время существования отряд принял более 100 000 заявок на поиск, найдено более 86 000 человек.

Один из способов обнаружить пропавшего человека - определить его местоположение с помощью Беспилотного Летательного аппарата (БПЛА). В ПСО «Лиза Алерт» для этой цели широко используют квадрокоптеры, которые производят облеты местности и делают серии фотографий. Фотографии передаются на сервер, где их обрабатывают и изучают эксперты, в том числе с использованием нейронных сетей.

Технологически, процесс выглядит следующим образом: БПЛА с помощью алгоритмов, заложенных в полетный контроллер, выводится в точку с заранее определенными программой координатами. БПЛА зависает и производится фотосъемка в высоком разрешении. Далее БПЛА перемещается в следующую точку и все повторяется. Более подробно с принципами и алгоритмами работы БПЛА можно ознакомиться на странице производителя: <https://developer.dji.com/>. В автономном режиме БПЛА на сегодняшний день способен совершить облет не более ста точек, после чего он вынужден вернуться в точку вылета за следующей порцией инструкций. Так как полетное задание состоит обычно минимум из тысячи точек, работа в таком челночном режиме очень неэффективна (потеря времени на возвраты и более частую смену батарей из-за холостых пробегов). К счастью, в программное обеспечение БПЛА заложена возможность дополучать полетные точки «по воздуху» через радиоканал управления по мере облета, тем самым сильно оптимизируя маршрут.

Именно по этой причине так важна устойчивая радиосвязь с бортом на протяжении всего полета. Плохие погодные условия, рельеф местности, удаленность исследуемого квадрата от местоположения наземной станции - все это негативно влияет на качество и дальность радиосвязи.

Целью работы является создание установки, способной максимально нивелировать любое негативное влияние на радиоканал управления БПЛА. Задача максимум – улучшить, насколько это возможно, дальность, при которой радиоканал все еще сохраняется в рабочем состоянии.

Важность реализации этой задачи трудно переоценить – сокращенное время поступления информации с БПЛА может буквально стоить спасенной жизни. В условиях поиска на счету каждое мгновение.

Постановка задачи: Повысить качество радиоканала связи с БПЛА для расширения возможностей по проведению поиска, увеличения оперативности и расширения зона охвата поиска.

Методы проведенных исследований: Анализ существующих работ по теме эффективность приемо-передающих антенн и способы ее повышения. Анализ существующих аналогов. Проведение практических опытов для подтверждения эффективности выбранного технического решения.

Научная новизна работы заключается в объединении существующих отдельных технических решений для создания оптимальной для заданных технических условий установки, максимально отвечающей требованиям заказчика.

Положения, выносимые на защиту: Максимальной эффективностью обладают антенны, имеющие асимметричную диаграмму направленности [1], [2], [3]. Недостатком таких антенн можно считать необходимость позиционирования (разворота) передающей антенны в сторону приемника. Этот недостаток устраняется путем механического разворота антенны. Но для этого необходимо знать, где именно находится БПЛА в каждый момент времени, даже в условиях отсутствия прямой видимости. Предлагается решать этот вопрос, с помощью данных телеметрии, в реальном времени поступающих с БПЛА.

Для достижения цели работы необходимо решить следующие задачи:

- изучить имеющиеся источники информации о подобных устройствах, выяснить основные термины и понятия; сформулировать требования к инженерному этапу проекта.
- выработать принцип работы установки.
- выполнить конструкторскую разработку установки, используя современные средства разработки (САПР).
- выполнить все производственные этапы по созданию прототипа, включая необходимые технологические операции, такие как: подготовка материала, работы на станках, покраска, сборка, настройка и др.
- предложить принцип измерения эффективности устройства, выбрать оптимальные компоненты, разработать программное обеспечение для устройства.
- провести испытания устройства в реальных условиях.
- сделать выводы, предложить перспективы дальнейшего развития проекта.

Результатом работы является разработанное по заданию ПСО «ЛизаАлерт» устройство, позволяющее за счет точного позиционирования направленных антенн улучшить характеристики радиоканала управления БПЛА в 3 - 5 раз.

Апробация работы. Разработанное изделие было представлено:

- в 2020 году на региональном этапе Всероссийской Олимпиады Школьников по Технологии, где было удостоено оценки «Победитель регионального этапа».
- В 2021 году На XVII Курчатовской Междисциплинарной Молодежной Научной школе в секции «Междисциплинарные научные проекты школьников», где было удостоено оценки «Победитель».
- Отзыв о работе прототипа установки Заказчик, ПСО «Лиза Алерт» разместил на своих страничках в социальных сетях: https://vk.com/wall-40062267_191128
- После публикации в публичном доступе отзыва Заказчика, ПСО «Лиза Алерт» материалы о разработке появились на нескольких новостных

ресурсах:

https://news.yandex.ru/news/instory/V_Moskve_shkolnik_razrabotal_ustrojstvo_dlya_poiska_zabludivshikhsya--2b26e22d2b991568307065132a471d3e?persistent_id=3311

Сканы дипломов и статей представлены в Приложении №4

1 Анализ методов и средств радиосвязи в канале управления БПЛА

1.1 Анализ Технического Задания (ТЗ).

На поисково-исследовательском этапе было необходимо определиться с конструкцией установки, исходя из Технического Задания Заказчика ПСО «ЛизаАлерт», провести исследования и сделать вывод о необходимом типе и составе программного обеспечения.

ТЗ включает в себя следующие пункты:

- 1) Установка должна быть мобильной, пригодной для использования в походных условиях.
- 2) Установка должна быть способна позиционировать пару антенн, общей массой 2 кг и размером 300х400 мм каждая.
- 3) Установка должна обеспечивать расположение антенн точно на ту точку, где находится БПЛА в том числе, во время его движения.
- 4) Установка должна обеспечивать сопровождение БПЛА в пределах 180 градусов по горизонтали и 90 градусов по вертикали.

1.2 Анализ исторических прототипов и современных аналогов.

Выбор оптимальной идеи.

Идея использования механизированного привода для поворота разного рода направленных антенн далеко не нова. Еще в 30-е годы XX века, после начала широкого использования параболических антенн различного назначения возникла потребность их позиционировать, в том числе с помощью механических и электромеханических приводов. В наше время существует огромное множество различных областей, таких как спутниковая связь, аэродромная диспетчеризация, космические программы, военные системы противовоздушной обороны и др., где применяются направленные антенны с электромеханическим приводом и автоматическим управлением, одна из таких антенн на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 - Антенна спутниковой связи с автоматическим приводом.

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:ЦКС_Дубна_ГПКС_-5.jpg]

Сверхмалая авиация с использованием БПЛА направление сравнительно новое. И предполагает полеты на небольшие расстояния. Но для решения определенных прикладных задач дальность полета все же становится критичной. Тут то и возникает необходимость использовать особые антенны с электромеханическим автоматическим приводом. Но все существующие системы либо слишком дорогостоящи, имеют значительные габариты и, в целом, избыточны для моей задачи, либо слишком малы и не удовлетворяют требованиям моего Заказчика по массе антенн, которые могут быть применены с данной установкой (рисунок 1.2 - пример малогабаритной наземной станции). Поэтому идея состоит как раз в том, чтобы сделать низкобюджетную компактную установку для использования именно с теми антеннами, которые показали свою эффективность с БПЛА Заказчика. Кроме того, эта установка должна быть совместима с программным обеспечением Заказчика.



Рисунок 1.2 - Пример малогабаритной наземной станции для сверхмалой авиации u360gts.

[\[https://www.youtube.com/watch?v=8rR96TuG048\]](https://www.youtube.com/watch?v=8rR96TuG048)

Наземная станция, изображенная на рисунке 1.2, может обслуживать всего одну антенну, масса которой не должна превышать 50 грамм.

1.3 Оригинальность и новизна конструкции

Не смотря на значительное количество готовых разработок, в связи с габаритными и бюджетными ограничениями конструкцию установки пришлось проектировать с нуля. В результате, не смотря на схожесть решаемых задач, в установке есть некоторые индивидуальные особенности, не присущие другим разработкам. Это наличие джойстика, необходимого для калибровки установки, легкий вес и небольшие габариты, делающие установку мобильной, возможность использования различных источников

электропитания, погодоустойчивый корпус, обеспечивающий безотказную работу в условиях повышенной влажности, низкая стоимость производства.

1.4 Изучение программного обеспечения, выработка способа получения данных о местоположении БПЛА

Непосредственное управление БПЛА DJI Mavic 2 Pro (рисунок №3) осуществляется с помощью программного комплекса DJI SDK [<https://developer.dji.com/>]. Это программное обеспечение устанавливается на мобильном телефоне, который с помощью USB кабеля соединён с пультом управления БПЛА.



Рисунок 1.3 - БПЛА DJI Mavic 2 Pro – в настоящее время самый массовый аппарат, используемый ПСО «ЛизаАлерт» [<https://shiftdelete.net/dji-mavic-2-pro-inceleme>]

Траекторией полета управляет другая программа - UGCS [<https://www.ugcs.com/>], которая запускается на персональном компьютере (ПК). Основная функция UGCS – составить полетное задание, осуществить его передачу в БПЛА и проконтролировать ход полета. Именно UGCS с помощью системы запросов и получает данные телеметрии с БПЛА, которые необходимы нам для определения текущего положения БПЛА. Таким образом, задача сводится к написанию программного модуля для ПК, который перехватит данные телеметрии и, обработав их, перенаправит эти данные на последовательный порт ПК, к которому подключен микроконтроллер нашей установки и программированию самого микроконтроллера.



Рисунок 1.4 - Общая структурная схема прохождения информационных сигналов.

На рисунке 1.4 указаны виды взаимодействия между различными компонентами системы управления БПЛА. Синими стрелками обозначены проводные информационные каналы, красными – высокочастотный канал радиосвязи.

1.5 Обработка данных

Для удобства отладки и демонстрационных целей в состав программного обеспечения (ПО) было принято решение включить модуль для ПК, позволяющий решить следующие задачи:

- прием данных телеметрии от БПЛА, их обработка и преобразование в вид, подходящий для передачи в Микроконтроллер управления УПНА-1 (МК).
- графическое отображение на экране монитора виртуального БПЛА и получение от него условных данных телеметрии в целях отладки, на случай, когда невозможно получать данные с реального БПЛА, с последующей передачей в МК.

1.6 Макетирование

Исходя из Технического задания, предельные углы поворота установки должны составлять не менее 180° по горизонтали и 90° по вертикали. По этому, был выбран тип привода посредством прямозубой шестерёнчатой передачи. После размещения всех компонентов на макете, удалось обеспечить вращение по горизонтали в пределах 220° , по вертикали 100° . Этого вполне достаточно для целей проекта.

Так же, был выполнен ориентировочный расчет момента, прикладываемого к ведущей шестерне. При массе антенн 1,2 кг усилие на

валу электродвигателя вертикального, самого нагруженного, привода может составить 19,5 Н*м. Эти расчеты учтены при выборе модели электродвигателя. Кроме того, для облегчения подъёма, в конструкции предусмотрена компенсационная пружина.

1.7 Дизайн

В дизайне прототипа использованы элементы из набора Tetrrix, производства компании Pitsco. Использование готовых элементов позволило сосредоточиться на решении вопросов, связанных с работоспособностью и эффективностью установки, позволив отложить вопросы связанные с изготовлением деталей корпуса до этапа опытного производства, уже после успешного испытания прототипа.

Дизайном опытного экземпляра установки предусмотрено изготовление сварного корпуса из стали марки Ст2сп толщиной 0,7мм, кронштейнов из стали марки Ст2сп толщиной 2,0мм.

Выводы

В результате выполнения работы, предусмотренной на поисково-исследовательском этапе, появилось понимание порядка реализации проекта. Работа будет вестись в следующих направлениях:

- Создание действующего прототипа установки, пригодного для первых испытаний;
- Создание программного обеспечения для ПК, обеспечивающего поступление данных в микроконтроллер установки, создание микропрограммы для управления исполнительными механизмами установки;
- По результатам испытаний прототипа - производство опытного экземпляра установки.

2 Разработка конструкции установки управления углом поворота направленных антенн канала управления БПЛА

2.1 Требования к изделию

К началу конструкторско-технологического этапа, на основании ТЗ и результатов исследовательского этапа был сформулирован перечень требований к установке, который сформулирован в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Требования к установке

Требования	Разъяснения
Безопасность	Установка должна быть безопасным с точек зрения эксплуатации и используемых материалов. Все используемые материалы должны иметь сертификат соответствия.
Функциональность.	Установка должна соответствовать главной цели проекта – все функции, прописанные в ТЗ, должны быть на 100% реализованы.
Экономичность	Все детали, материалы, электронные компоненты, технологические процессы должны быть общедоступными, иметь приемлемую цену, быть заменяемыми.
Транспортабельность	Установка должна допускать транспортировку стандартными средствами транспорта.
Эргономичность	Установка должна быть удобно с точки зрения пользования, соответствовать возрастной физиологии целевого пользователя (рост, физическая сила, моторика, время реакций).
Технологичность	Производственные операции и технологии должны выполняться с учетом возможностей школьных мастерских. Доля покупаемых деталей должна быть минимальной.
Дизайн	Установка должна обладать привлекательным и гармоничным внешним видом.

Эти требования и определили внешний вид и техническое оснащение установки.

2.2 Дизайн и выбор материалов

В соответствии с выбранным дизайном, прототип установки был изготовлен из элементов образовательного конструктора Tetrix. В процессе сборки, для монтажа электронных компонентов и обеспечения необходимой функциональности установки некоторые детали пришлось подвергнуть операциям резки, сверления и шлифования. Не смотря на это, конструирование и сборку корпуса прототипа удалось осуществить в сжатые сроки, гораздо меньшие, чем потребовалось бы для изготовления корпуса из стандартных материалов, таких как металл, фанера и других. Внешний вид прототипа представлен на рисунке 2.1.

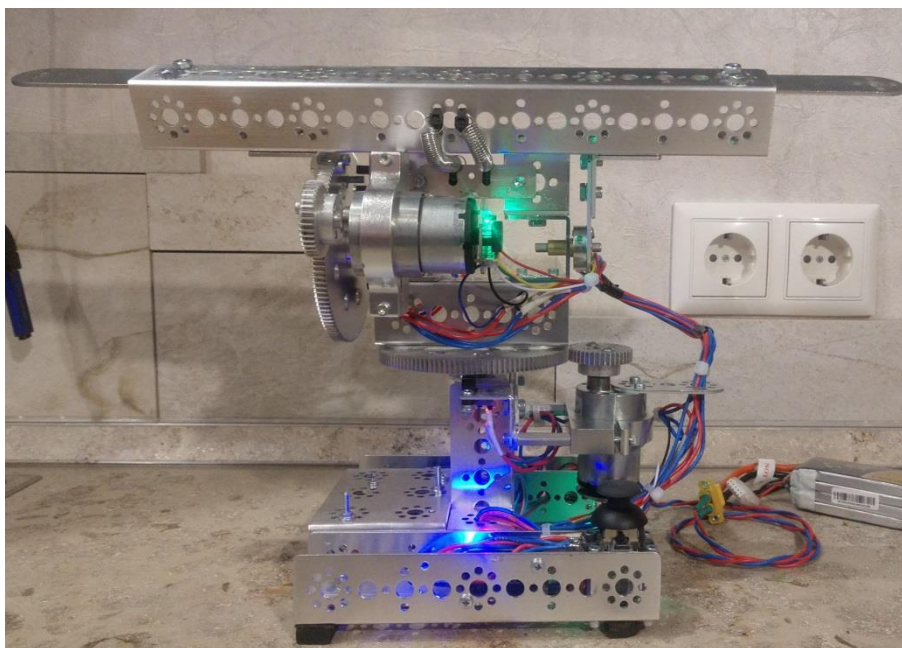


Рисунок 2.1 - Фото, вид спереди.

Применение деталей конструктора позволило за короткое время опробовать несколько вариантов расположения элементов кинематической схемы и выбрать оптимальный вариант их взаимного расположения.

2.3 Конструирование модели в САПР

Для проектирования была выбрана трёхмерная система автоматизированного проектирования (САПР) отечественного производства Компас-3D v19, которая позволяет выполнять все необходимые конструкторские работы на компьютере. В итоге была создана 3D модель изделия, в которую вошли все детали, узлы, покупные компоненты. Далее, в соответствии с 3D моделью были созданы чертежи, которые приведены в Приложении 2. Ниже на Рисунке 2.2 показаны изображения из программы САПР.

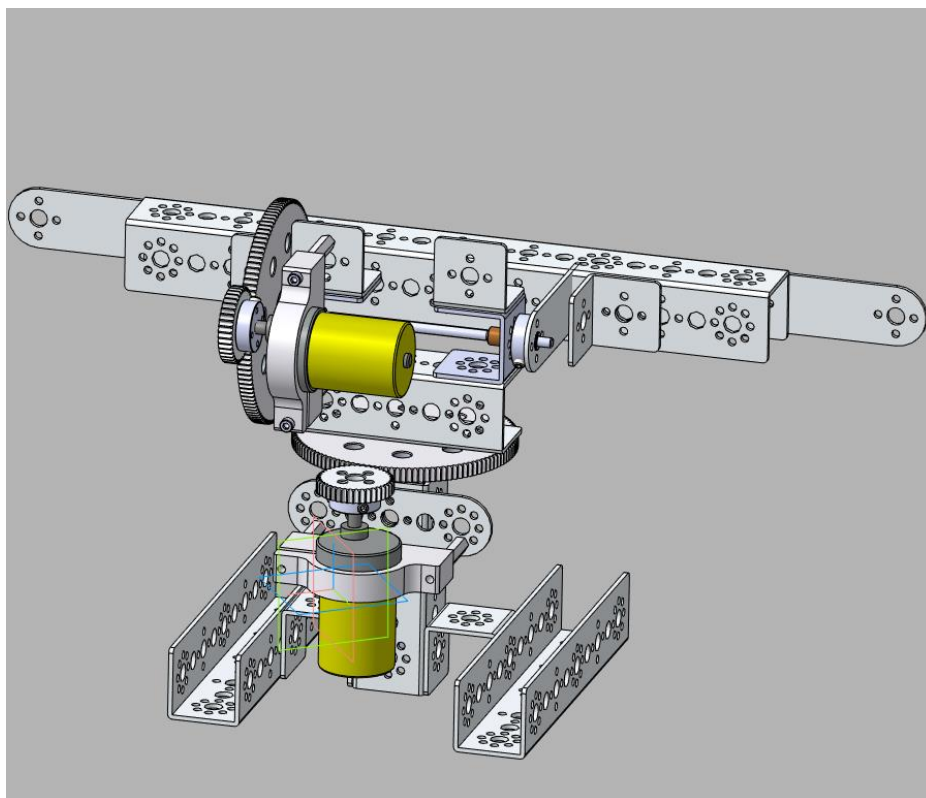


Рисунок 2.2 -Изображения модели из программы САПР.

Хотя на этапе создания прототипа, проектирование в САПР и не играло основную роль – конструкция установки создавалась путем практических опытов с различным расположением элементов, созданные чертежи оказались очень полезными на последующем этапе создания опытного образца установки.

2.4 Кинематическая схема

Кинематическая схема установки очень простая. Для поворота антенн в горизонтальном и вертикальном направлении используется два отдельных двигателя с редуктором. Для увеличения крутящего момента дополнительно используется одноступенчатая передача, которая реализована с помощью двух прямозубых шестерней. От двигателя крутящий момент передается на ведущую шестерню. На ведомую шестерню смонтирована подвижная часть установки. Передаточное отношение составляет 1:3. Конструктивно вертикальный и горизонтальный приводы идентичны.

2.5 Электронная система

Электронная система разработана с возможностью использования различных внешних источников питания – начиная от всевозможных батарей и заканчивая питанием от бортовой сети автомобиля. Диапазон рабочих напряжений от 12В до 36В постоянного тока.

Для работы установки необходимо два питания 12 и 5 В постоянного тока. Эти напряжения обеспечиваются двумя понижающими преобразователями постоянного тока XL4015 E1 DC.

В качестве управляющего устройства был выбран микроконтроллер ATmega 2560. Основными преимуществами этого микроконтроллера являются низкая цена и распространённость. Из недостатков - невысокое быстродействие, которого, тем не менее, достаточно для целей проекта.

Управление 12В двигателями постоянного тока осуществляется с помощью драйверов L298N, наиболее дешевых и распространённых на сегодняшний день.

Контроль над положением вала электродвигателя осуществляется с помощью интегрированного оптического энкодера. Энкодер выдает шесть импульсов на один оборот вала электродвигателя, что соответствует 6000 импульсам на выходном валу редуктора электродвигателя. Такой точности более чем достаточно для контроля над положением вала.

Для калибровки начальных положений валов используются щелевые оптические датчики Н-206.

Схема подключения электрических компонентов представлена в Приложении №

2.6 Технологическая карта

Так как школьные мастерские обладают в плане технологического оснащения ограниченными возможностями, необходимо было разработать конструкцию установки таким образом, чтобы в процессе изготовления можно было обойтись минимальным количеством инструмента, оснасток и станков. Ниже, в таблице 2.2 приведено используемое оборудование, программное обеспечение, выполняемые технологические операции, затраченное время.

Таблица 2.2 - Технологическая карта

Описание технологических операций	Используемое оборудование	Время (часы)
Моделирование в САПР-программах	Компас-3D	20
Сборка модели	Ручной инструмент	24
Сверление элементов корпуса	Электрическая дрель, сверла	1
Резка элементов корпуса	Ножовка по металлу	1
Гибка элементов корпуса	Ручная оснастка для гибки листовых	1

	материалов, тиски	
Шлифовка элементов корпуса	Напильник плоский и круглый, наждачная бумага	1
Разработка принципиальной электронной схемы, схемы расположения электронных компонентов	Ручной измерительный инструмент	2
Монтаж электронных компонентов	Ручной инструмент, паяльник	6
Итого		56

Основное время при создании прототипа установки было потрачено на разработку дизайна и создание оптимальной кинематической схемы.

Выводы

Результат конструкторско-технологического этапа.

Установка получилась прочной, устойчивой и функциональной. Конструктивные элементы установки представляют собой готовые детали из алюминиевого сплава. Электронные компоненты закреплены на элементах основания на пластиковых стойках. Предусмотрено разъёмное присоединение кабелей питания и приема-передачи данных. Для калибровки установки предусмотрено ручное управление. Антенны сделаны лёгкосъёмными, для более компактной перевозки и переноски установки. Время развёртывания установки и приведения ее в рабочее состояние составляет не более 10 минут, даже при отсутствии опыта. Установка имеет жесткую конструкцию, значительный запас прочности.

3 Разработка программного обеспечения конструкции установки управления углом поворота направленных антенн канала управления БПЛА

3.1 Программирование микроконтроллера в среде Arduino IDE

Для успешной работы установки потребовалось создать код, управляющий работой электромоторов по определенному алгоритму. Логика алгоритма разрабатывалась из порядка работы установки:

- Подача электропитания на установку.
- Разворот исполнительных механизмов установки в средние положения, определенные расположением оптических датчиков.
- Выполнение калибровки. Этот этап необходим, чтобы сопоставить текущее положение БПЛА и наземной станции и является наиболее ответственным этапом, от правильного выполнения которого зависит вся дальнейшая работа установки. Чтобы выполнить калибровку необходимо осуществить запуск БПЛА и оставить его в режиме «зависания» таким образом, чтобы БПЛА хорошо просматривался от места расположения установки (с наземной станции). Расстояние до БПЛА при этом не имеет большого значения, это может быть и 10м и 100м. С помощью джойстика, расположенного на корпусе установки оператор должен «прицелиться», то есть развернуть антенны таким образом, чтобы направление их максимального усиления радиосигнала точно совпадало с направлением на БПЛА. Как только это условие будет выполнено, оператор должен нажать на кнопку подтверждения действия. На этом процесс калибровки закончен.
- После окончания калибровки установка автоматически переходит в режим сопровождения БПЛА – основной режим работы. Теперь при любом изменении координат БПЛА или высоты его полета установка будет поворачивать антенны в его сторону.

Основной алгоритм (сопровождения БПЛА) начинает работать после окончания калибровки, логика его работы представлена на рисунке 3.1.

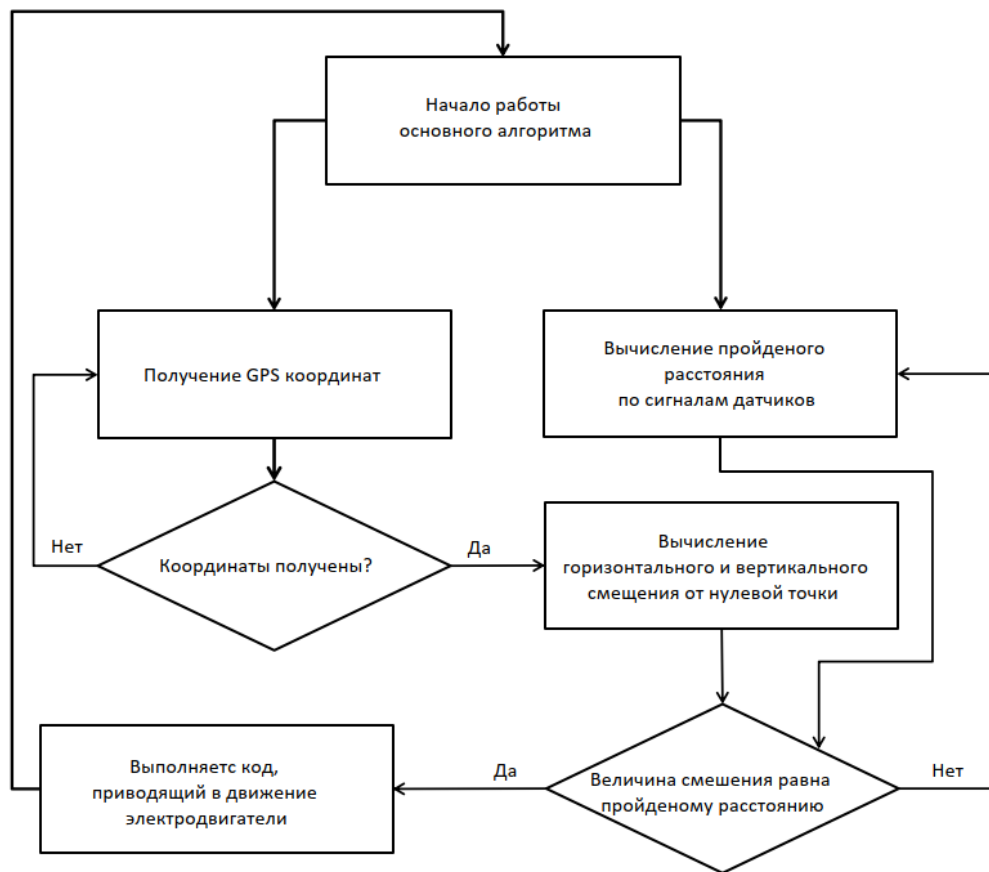


Рисунок 3.1 - Алгоритм управления электродвигателями.

Помимо основного алгоритма реализован код производящий калибровку установки после включения. Алгоритм калибровки представлен на рисунке 3.2.

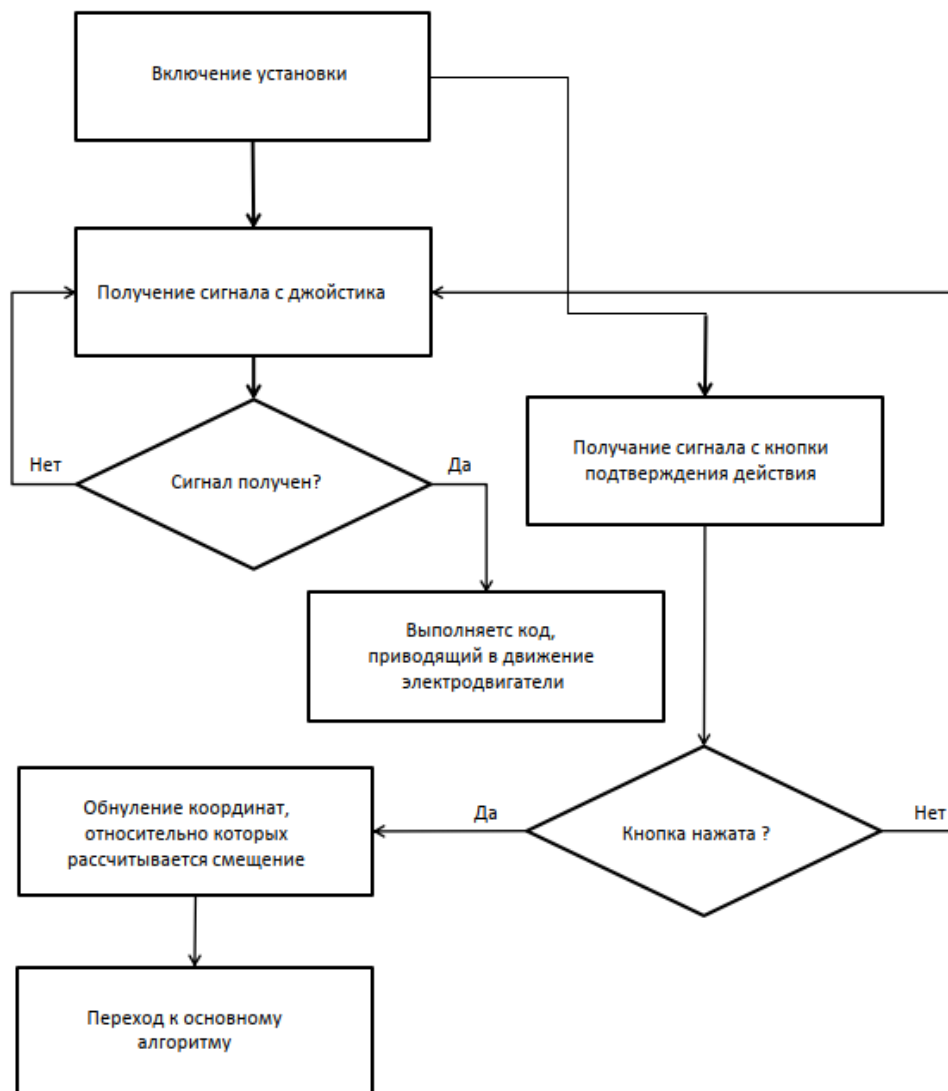


Рисунок 3.2 - Алгоритм калибровки установки перед началом работы

После окончания работы алгоритма калибровки система входит в основной алгоритм работы. Основной алгоритм закольцован, то есть он будет выполняться до тех пор, пока от установка не будет отключено электропитание.

3.2 Программирование модуля согласования интерфейсов

Поскольку данные о местоположении БПЛА изначально поступают на персональный компьютер (ноутбук), возникла необходимость преобразовывать эти данные в формат, удобный для передачи через последовательный интерфейс и собственно, осуществлять их передачу по мере поступления. Программа написана на языке C++ в среде Code Blocks и скомпилирована в исполняемый файл (EXE). Скорость передачи установлена на 115 300 бод, что составляет, 11 530 байт/сек или, учитывая, что одна посылка состоит из 4 байт, 2 882,5 посылок в секунду. Произведем расчет:

Максимальная скорость БПЛА составляет порядка 50 м/с. Минимальный угол поворота вала, который может отследить система, исходя из чувствительности энкодера 6000 импульсов/оборот, составляет 0,05

градуса. При удалении БПЛА от наземной станции скажем, 500м этому углу соответствует перемещение БПЛА на 0,5м. На это расстояние БПЛА переместится за 0,01с. За это же время микроконтроллер получит почти 29 посылок с информацией о местоположении БПЛА. Вывод: система имеет почти тридцатикратный запас по скорости передачи данных.

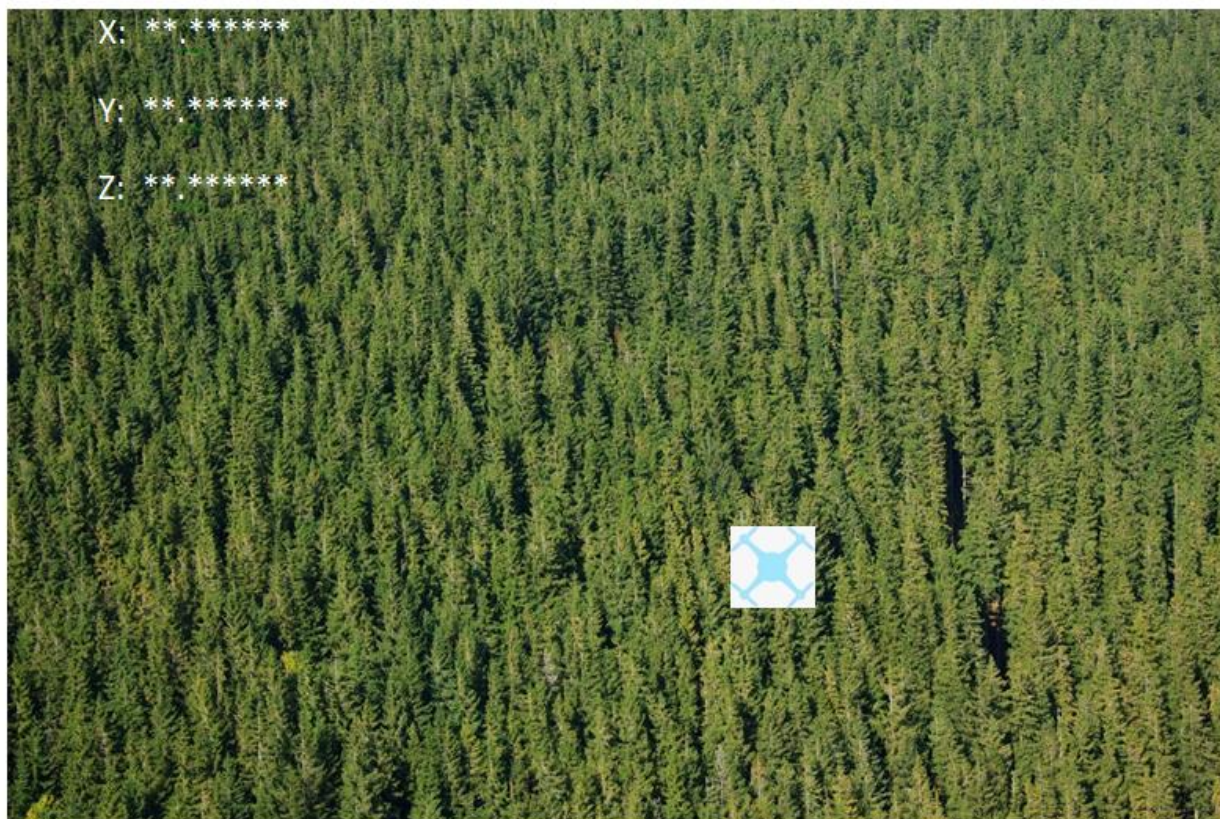


Рисунок 3.3 - Интерфейс графического модуля.

Помимо своей основной функции – передачи данных с ПК в микроконтроллер, в данной программе реализован графический модуль, задача которого имитировать движение БПЛА и эмулировать координаты этого «виртуального» БПЛА для микроконтроллера. Этот модуль удобно использовать для демонстрации и отладки. Работает графический модуль следующим образом: Сразу после запуска программы текущие координаты курсора преобразуются в нужный формат и передаются в назначенный последовательный порт. С помощью клавиатуры или мыши можно изменять местоположение курсора, его новые координаты будут так же постоянно передаваться. Интерфейс программы представлен на рисунке 3.3.

Выводы

Результат этапа создания программного обеспечения

Код, которым программируется микроконтроллер, получился компактным (занимает в памяти микроконтроллера 51775 байт (20%) переменные используют 1923 байт (23%) динамической памяти

контроллера), быстродействие установки не вызывает нареканий. Задержки поворота антенн не заметны невооруженным взглядом, что позволяет говорить о том, что установка справляется со своей основной задачей – путем поворота антенн обеспечивать наилучшие условия для радиосвязи с БПЛА.

Передача данных через последовательный интерфейс происходит на скорости 115 300 бод, этого более чем достаточно для передачи необходимого для работы установки объема данных.

Наличие графического модуля существенно упрощает отладочные работы.

4 Разработка опытного экземпляра установки управления углом поворота направленных антенн канала управления БПЛА

4.1 Испытания прототипа

После окончания всех трех этапов создания прототипа установки были произведены испытания в полевых условиях. В ходе испытаний оценивались параметры, перечисленные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Результаты испытаний прототипа

Параметр	Оценка
Стабильность работы	Удовлетворительно. Испытания продолжались на протяжении 8 часов, за это время сбоев в работе установки выявлено не было
Прочность конструкции	Удовлетворительно. Испытания производились с комплектом антенн весом 450г каждая. Увеличения люфтов после испытаний не выявлено.
Удобство использования, эргономичность	Не удовлетворительно. Расположение органов управления оказалось не удачным и требует доработки.

Такие параметры как удобство транспортировки, дизайн и технологичность не оценивались в связи с техническими характеристиками прототипа.

Главный вывод, который позволили сделать испытания, это высокая эффективность установки – в условиях зашумленного радиоэфира удалось добиться дальности 3500м, что минимум в три раза лучше, чем без использования направленных антенн. А это, в свою очередь, позволило перейти к созданию опытного экземпляра установки.

4.2 Дизайн и выбор материалов

В соответствии с выбранным дизайном, корпус опытного экземпляра был изготовлен из стального листа Ст2сп толщиной 0,7мм. Выбор этого материала обусловлен его доступностью, легкостью механической обработки и гибкости, кроме того выбранная сталь не имеет ограничений по свариваемости, что тоже важно, так как для получения готового корпуса планировалось сваривание швов. После изготовления корпус должен быть отшлифован, зашпаклеван, загрунтован и окрашен.



Рисунок 4.1 - Фото - вид спереди.

То же самое касается кронштейнов и других стальных деталей. Внешний вид опытного экземпляра представлен на рисунке 4.1.

4.3 Конструирование модели в САПР

Как и прототип, опытный экземпляр был спроектирован в САПР Компас-3D v19. Была создана 3D модель изделия, в соответствии с 3D моделью были созданы чертежи, которые приведены в Приложении 2. Ниже на Рисунке 4.2 показаны изображения из программы САПР.

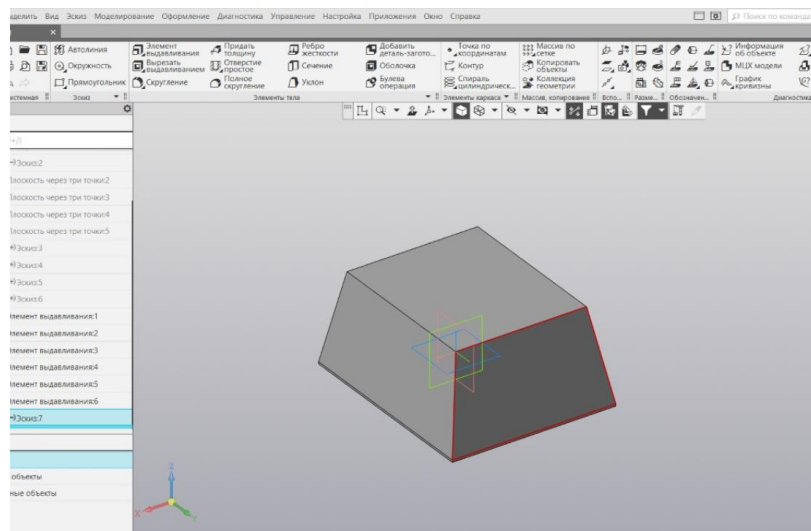


Рисунок 4.2 - Изображение детали корпуса опытного экземпляра из программы САПР.

При проектировании в САПР опытного экземпляра установки были, так же, использованы чертежи, выполненные на предыдущем этапе, что значительно ускорило проектирование.

4.4 Кинематическая схема

Кинематическая схема установки не изменилась по сравнению с прототипом, потому что хорошо зарекомендовала себя в ходе испытаний. В связи с применением других конструкционных материалов были незначительно доработаны узлы крепления валов ведомых шестерен. Механический привод установки хорошо виден на рисунке 4.3.

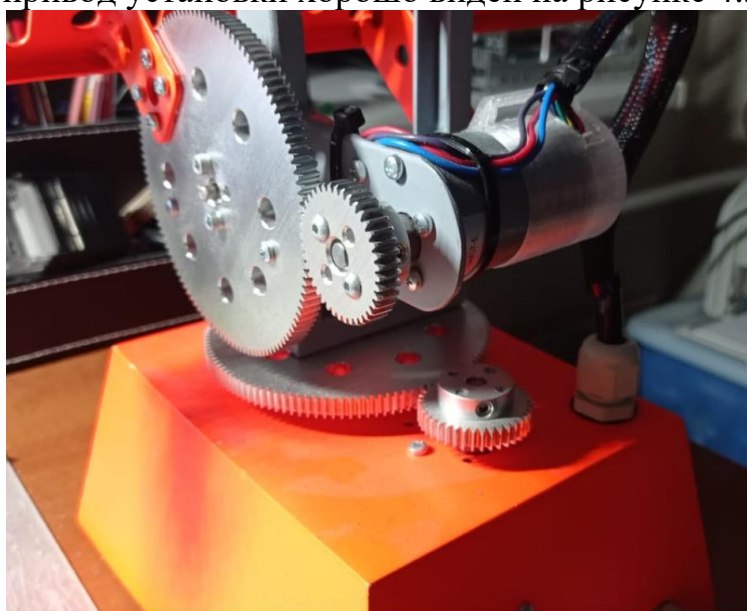


Рисунок 4.3 - Механический узел опытного экземпляра.

Мотор горизонтального привода расположен внутри корпуса, что дополнительно защищает его от погодных условий. Мотор вертикального привода закрыт распечатанным на 3D принтере защитным кожухом.

4.5 Электронная система

Электронная система установки так же не изменилась. При сборке было уделено внимание надежности пайки соединительных проводов, а так же надёжности монтажа электронных компонентов. Размещение электронных компонентов установки видно на рисунке 4.4.

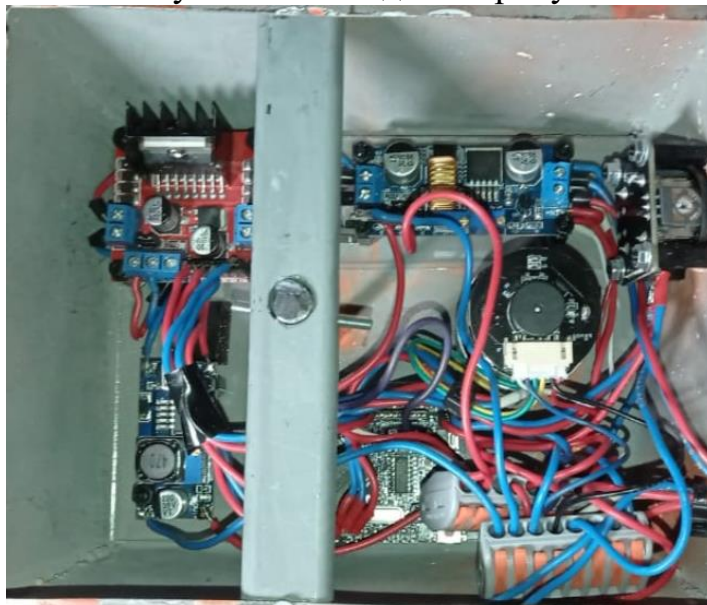


Рисунок 4.4 - Монтаж электронных компонентов опытного экземпляра.

Все электронные компоненты размещены в одной плоскости на верхней горизонтальной поверхности корпуса. Это дает дополнительную защиту от погодных условий.

4.6 Технологическая карта

В таблице 4.2 приведена технологическая карта изготовления опытного образца.

Таблица 4.2 - Технологическая карта

Описание технологических операций	Используемое оборудование	Время (часы)
Моделирование САПР-программах в	Компас-3D	30
Резка элементов корпуса	Ножовка по металлу, УШМ	6
Сверление элементов корпуса	Электрическая дрель, сверла	2
Гибка элементов корпуса	Ручная оснастка для гибки листовых материалов, тиски	2
		3

Сварка корпуса	Аргонно-дуговой сварочный аппарат	
Шлифовка элементов корпуса	Напильник плоский и круглый, наждачная бумага	4
Шпатлевание элементов корпуса	Шпаклевка по металлу, Шпатель	2
Грунтование элементов корпуса	Грунт по металлу, кисточка	1
Окраска элементов корпуса	Аэрозольная краска по металлу	2
Сборка установки	Ручной инструмент	3
Монтаж электронных компонентов	Ручной инструмент, паяльник	5
Итого		60

Все технологические операции, связанные с изготовлением деталей корпуса выполнялись вручную, без использования станков и оснасток. Это потребует учесть при подготовке плана дальнейшего производства. Использование средств автоматизации позволит значительно сократить время производства.

4.7 Испытания

После сборки и отладки опытный экземпляр был передан для ресурсных испытаний Заказчику, в одно из подразделений ПСО «ЛизаАлерт». В настоящее время испытания еще не завершены, но установка уже получила положительные отзывы у Заказчика.

Выводы

Результат конструкторско-технологического этапа создание опытного экземпляра

Опытный образец был разработан и построен с учетом исправления недостатков, выявленных в ходе испытаний прототипа. Кроме того, с готовым изделием стало возможным провести испытания на погодоустойчивость, удобство использования, удобство перевозки. Предварительные выводы – установка соответствует требованиям Технического Задания, что открывает перспективу мелкосерийного производства в будущем.

5 Экономическая и экологическая оценка разработанной установки управления углом поворота направленных антенн канала управления БПЛА

5.1 Расчёт материалов и затрат

Общий период создания модели от идеи до работающего опытного образца составил 12 месяцев.

Материалы и компоненты установки, а также технологии изготовления компонентов подбирались исходя из требований Технического задания. Приоритетными параметрами были надлежащее качество и невысокая цена. Стоимость компонентов и материалов приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Расчёт материалов и затрат на 01.12.2020г.

Материалы и детали	Кол-во единиц	Суммарная Стоимость
Сталь листовая 0,7мм	0,5 м ²	500 руб.
Колеса зубчатые из алюминиевого сплава Д16Т 120Т / 40Т	2шт/2шт	1200 руб.
Мотор постоянного тока с редуктором GB37-520 DC12V 12RPM	2 шт	1950 руб.
Набор электронных компонентов: - микро контроллер Arduino mega 2560 r3 - Драйвер LM298 -DC-DC понижающий преобразователь 2 шт. - Джойстик -Разъем XT60	1 комплект	1400 руб.
Крепеж (болты, винты)	1 Комплект	300 руб.
Соединительные провода	1 Комплект	300 руб.
Итого		5650 руб.

При подготовке к дальнейшему производству необходимо будет учесть возможность снижения затрат за счет оптовых закупок материалов и оптимизированной схемы их раскроя.

5.2 Экологическая оценка

С точки зрения экологической оценки можно дать следующие комментарии проекту. При производстве модели были использованы доступные материалы, которые имеют сертификаты качества. Не было использовано вредных, ядовитых, радиоактивных и других подобных веществ, требующих специальных, особых условий эксплуатации.

Технологические операции, которые использовались в ходе производства, также проводились с соблюдением экологических норм, что в целом, позволило исключить негативное влияние на окружающую среду.

Выводы

Сравнивая установку с аналогами, определенно можно сделать вывод о ее конкурентном преимуществе за счет невысокой стоимости материалов и изготовления. Второе конкурентное преимущество в высокой функциональности, повышенной несущей способности, защищенности от неблагоприятных погодных условий.

К экономическим результатам можно отнести также мой образовательный опыт. Те навыки, которые я получил в ходе выполнении проекта, являются моими личными инвестициями в моё будущее, как технического специалиста.

Основным экономическими значимыми результатами является получение действующего опытного образца установки, успешно проходящего испытания. Установка передана в ПСО «ЛизаАлерт» для опытной эксплуатации, по результатам которой ожидается положительное решение о штучном, или даже мелкосерийном производстве для подразделений ПСО «ЛизаАлерт» в разных регионах страны.

Заключение

В результате проделанной работы достигнуты все поставленные цели в соответствии с планом:

- выполнена конструкторская разработка прототипа и опытного экземпляра установки, используя САПР Компас 3D.
- выполнены все производственные этапы по созданию прототипа и опытного экземпляра, включая необходимые технологические операции, такие как: подготовка материала, работы на станках, покраска, сборка, настройка и др.
- разработано программное обеспечение для устройства.
- проведены испытания прототипа и опытного экземпляра в реальных условиях.
- рассмотрена возможность мелкосерийного производства установки.

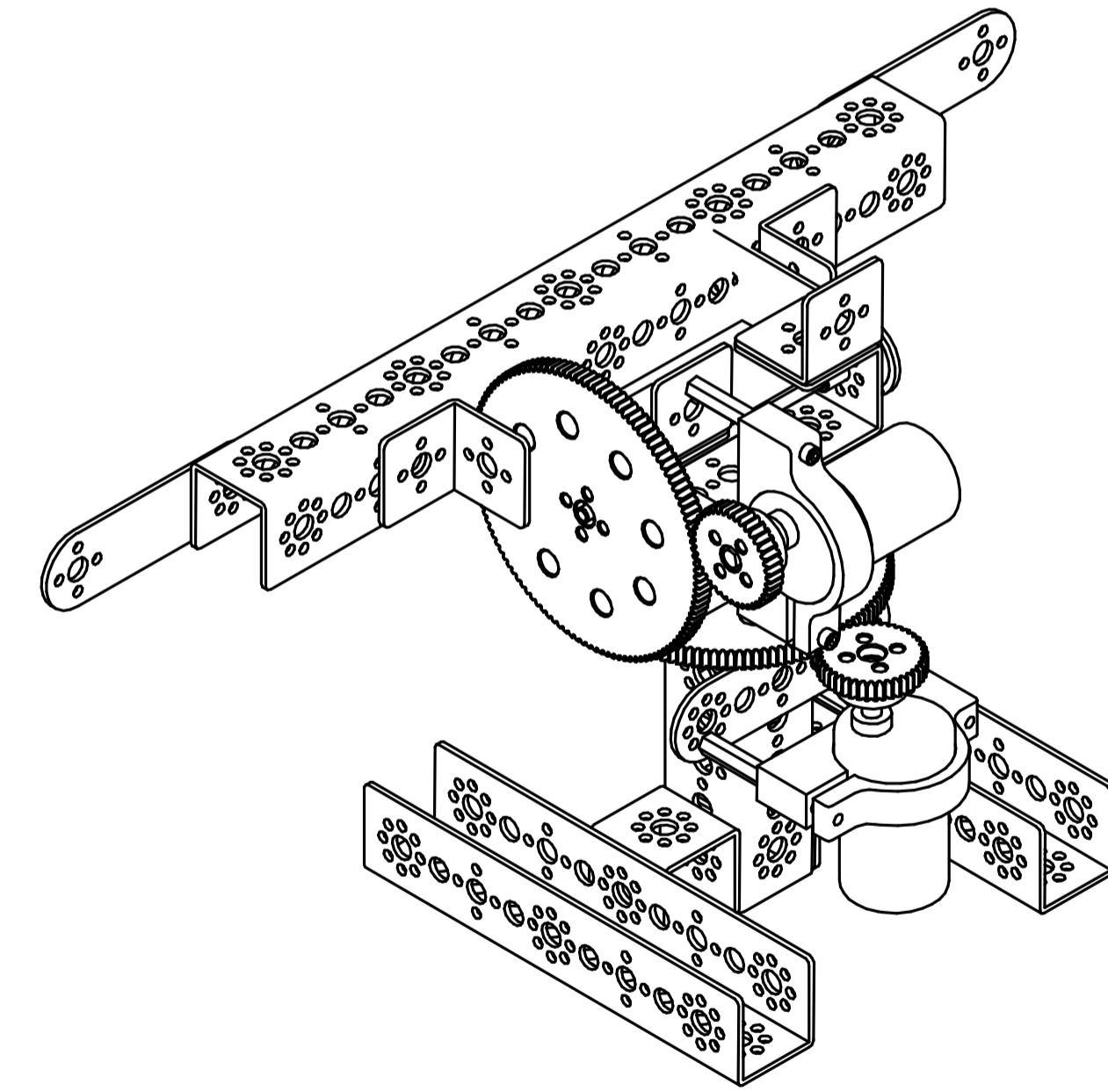
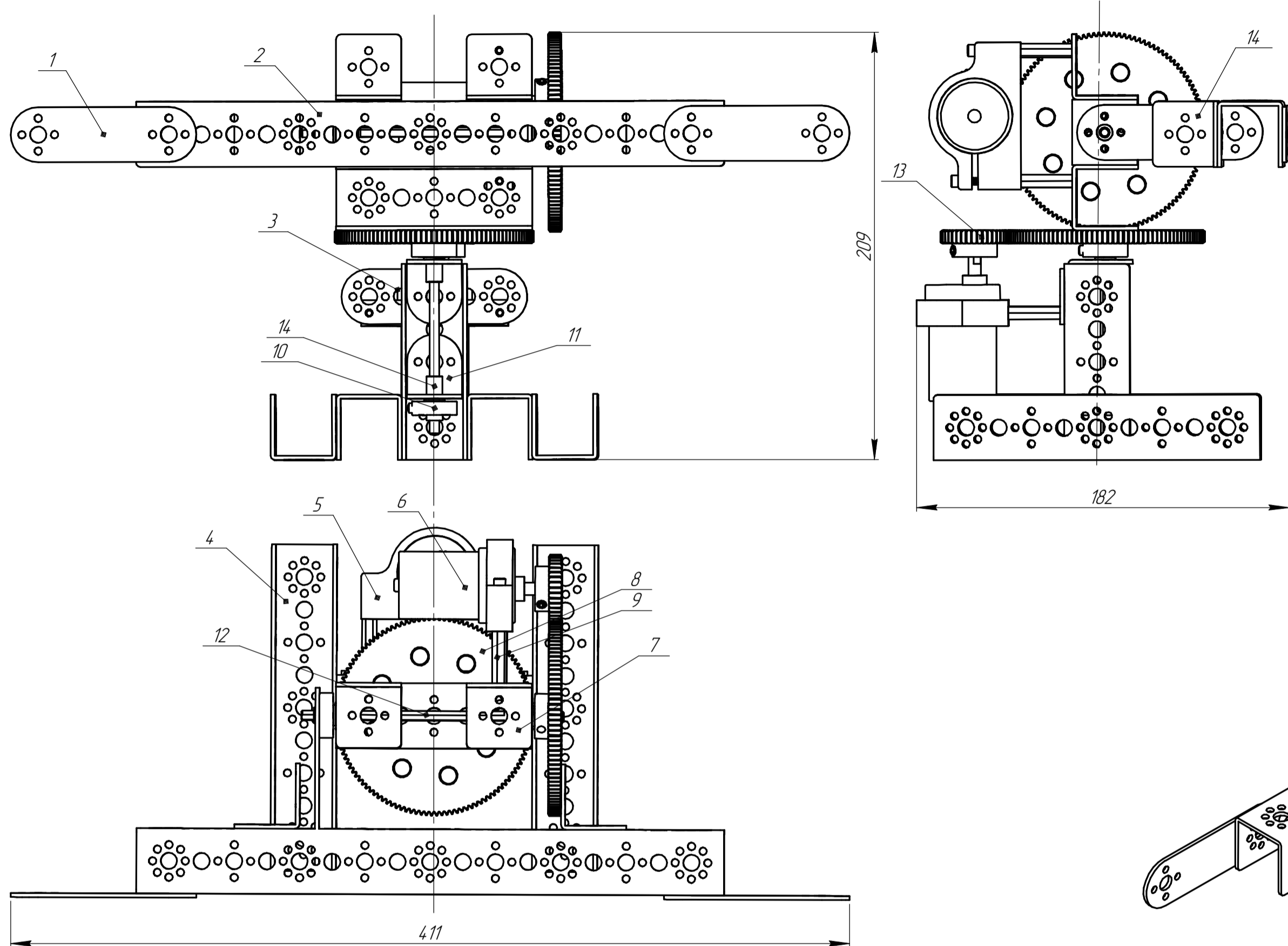
Установка получилось прочной, устойчивой и функциональной. Предусмотрено разъёмное присоединение кабелей питания и приема-передачи данных. Для калибровки установки предусмотрено ручное управление. Антенны сделаны лёгкосъёмными, для более компактной перевозки и переноски установки. Время развёртывания установки и приведения ее в рабочее состояние составляет не более 10 минут, даже при отсутствии опыта. Установка имеет жесткую конструкцию, значительный запас прочности.

Код, которым программируется микроконтроллер, получился, быстроедействие установки не вызывает нареканий. Задержки поворота антенн не заметны не вооруженным взглядом, что позволяет говорить о том, что установка справляется со своей основной задачей – путем поворота антенн обеспечивать наилучшие условия для радиосвязи с БПЛА.

Опытный образец был разработан и построен с учетом исправления недостатков, выявленных в ходе испытаний прототипа. Кроме того, с готовым изделием стало возможным провести испытания на погодоустойчивость, удобство использования, удобство перевозки. Установка соответствует требованиям Технического Задания, что открывает перспективу мелкосерийного производства в будущем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воскресенский, Д. И. Устройства СВЧ и антенны / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов [и др.] ; под ред. Д. И. Воскресенского. — М.: Радиотехника, 2008. — 384 с.
2. Ерохин, Г. А. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн / Г. А. Ерохин, О. В. Чернышев, Н. Д. Козырев [и др.] ; под ред. Г. А. Ерохина. — М.: Горячая линия — Телеком, 2004. — 492 с.
3. Молочков, Ю. Б. Авиационные антенно-фидерные устройства. — М.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1983. — 288 с.
4. Айзенберг, Г. 3. Антенны УКВ / Г. 3. Айзенберг, В. Г. Ямпольский, О. Н. Терешин. — М.: Связь, 1977. — Ч. 1. — 384 с.
5. Петров, Б. М. Электродинамика и распространение радиоволн. — М.: Горячая линия — Телеком, 2003. — 280 с.
6. Драбкин, А. Л. Антенно-фидерные устройства / А. Л. Драбкин, В. Л. Зузенко, А. Г. Кислов. — М.: Совет. радио, 1974. — 536 с.
7. Перевезенцев, Л. Т. Радиолокационные системы аэропортов / Л. Т. Перевезенцев, В. Н. Огарков. — М.: Транспорт, 1991. — 360 с.
8. Проектирование механических передач / Чернавский С.А.: Машиностроение 1976



Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инд. №

						УПНА.000000.001.СБ			
						Устройство поворота направленных антенн Сборочный чертеж	Стадия	Масса	Масштаб
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			2.63	1:2
Разраб.			Грамаков М.		01.2020				
Проб.			Нугматуллин Р.		01.2020		Лист	Листов	1
							Школа №1557		

Перв. примен.

Справ. №

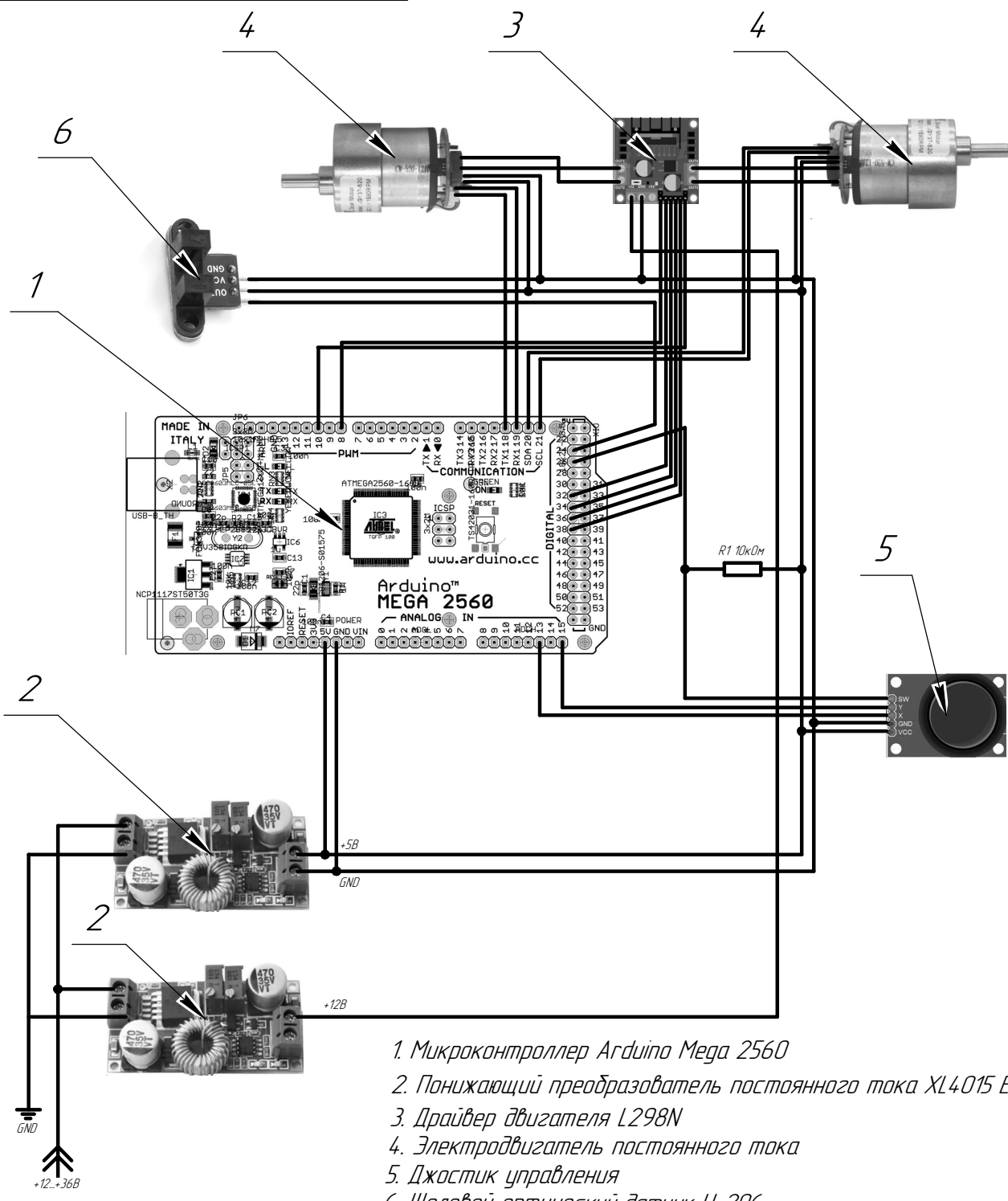
Подп. и дата

Инв. № дудл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



- 1. Микроконтроллер Arduino Mega 2560
- 2. Понижающий преобразователь постоянного тока XL4015 E1 DC
- 3. Драйвер двигателя L298N
- 4. Электродвигатель постоянного тока
- 5. Джостик управления
- 6. Щелевой оптический датчик H-206

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.				
Пров.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1





**КУРЧАТОВСКИЙ
ИНСТИТУТ
ДЛЯ СТРАНЫ
И МИРА**



**XVII КУРЧАТОВСКАЯ
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНАЯ
МОЛОДЁЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА.
СЕКЦИЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ
НАУЧНЫЕ ПРОЕКТЫ ШКОЛЬНИКОВ**

ДИПЛОМ

НАСТОЯЩИМ ДИПЛОМОМ НАГРАЖДАЕТСЯ

ПОБЕДИТЕЛЬ

Громаков

Максим Алексеевич

**ЗА ДОКЛАД, ПРЕДСТАВЛЕННЫЙ
НА XVII МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЙ КУРЧАТОВСКОЙ
МОЛОДЁЖНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЕ**

Директор Департамента образовательной
деятельности и молодежной политики
НИЦ «Курчатовский институт»



Н.М. Чубова

Москва, Россия
16-17 января 2021 г.



Максим 19:47



Поисковый отряд "ЛизаАлерт"

15 фев 2020

Мы пишем, что помочь может каждый. И это действительно так. Каждый, кто действительно хочет помогать #ЛизаАлерт спасать людей, находит себе у нас задачу по душе.

Так, у отряда в этом году появился новый друг. Максим Громаков учится в 9 классе московской школы №1557, увлекается точными науками и робототехникой, участвует в российских и международных олимпиадах. Максиму 15 лет, и он уже сейчас нашёл способ помочь отряду.

По заданию направления беспилотной авиации он сделал специальную антенную установку для улучшения качества связи с беспилотниками, которые мы часто используем для поиска пропавших людей в природной среде. С этой установкой Максим выступит на Всероссийской олимпиаде школьников по робототехнике в этом году.

На данный момент используются широконаправленные антенны, но на них, к сожалению, у нас небольшой радиус приема-передачи сигнала между пультом и коптером.

С узконаправленной антенной мы сможем установить связь с дроном на большие расстояния, но в таком случае антенна должна следить и быть наведенной на



Назад

Максим Громаков 🏆
был в сети час назад 📱



сам дрон, увеличивая дальность связи для корректного обмена данными задания между пультом и коптером.

Цель Максима – сделать так, чтобы данная установка могла быть использована на любой антенне. Аналогов такой разработки, которые можно использовать на реальных поисках, на данный момент не существует. Мы очень рады, что люди самого разного возраста готовы применять свои знания для решения важных задач и помогать тем самым отряду спасать людей.

Спасибо, Максим!

#спасибоотЛизаАлерт



Максим 19:53

https://vk.com/wall-40062267_191128