

Конкурс исследовательских и проектных работ школьников
«Высший пилотаж»

Модуль анализа состояния посевов с помощью NDVI

Проект

Направление «Спутникостроение и
геоинформационные технологии: Terra Notum»

2021 г.

Аннотация

2021 год в России объявлен годом «Науки и технологий»[1]. Активно развивающейся отраслью является агропромышленный комплекс, доля которого составила около 4% российского ВВП за 2020 год[2]. Один из сегментов агропромышленного комплекса – растениеводство. Данный проект нацелен на решение задач именно этой сферы, а именно анализа состояния растений путем дистанционного зондирования Земли.

Обоснование актуальности

Современное общество стремится к автоматизации большинства механических и вычислительных процессов. Агропромышленный комплекс – не исключение. На фермах, полях и производствах уменьшилось количество ручного труда, но увеличилось количество машин. Вследствие этого произошло сокращение рабочих мест. Производству необходимо иметь в штате работников нескольких квалифицированных инженеров, которые, с помощью техники, будут собирать, систематизировать и анализировать информацию.

Сельское хозяйство стремится к «точному земледелию»[3], функции которого дифференцируются в зависимости от этапов производства. Один из сегментов сельского хозяйства – растениеводство. Данный проект нацелен на решение задач именно этой сферы. Поскольку идет взаимодействие с большими территориями, одним из наиболее эффективных способов получения регулярно обновляющихся данных является дистанционное зондирование Земли (далее ДЗЗ). Создаваемый аппарат, находясь на околоземной орбите, с помощью цифровой камеры и датчиков сможет получать данные с обследуемых территорий.

Данный проект создан с целью анализа состояния посевов с орбиты Земли с момента всхода ростков до сбора урожая.

Цель и задачи

Цель - разработка программно-аппаратного комплекса модуля-анализатора состояния посевов с использованием индекса их вегетации (Normalized Difference Vegetation Index, далее NDVI).

Задачи:

- Проектирование 3D – модели аппаратной установки.
- Формирование элементной базы.
- Разработка схемы системы измерения показателя NDVI.
- Разработка программного комплекса измерения NDVI и анализа состояния посевов с его помощью.
- Создание автономной станции анализатора состояния посевов.

Анализ существующих решений

В наши дни существуют готовые решения для реализации измерения состояния посевов с помощью различных индексов, но эти решения часто приводят к большим затратам конечного пользователя. Наш проект необходим для реализации более бюджетных решений, что приведет к снижению цен на продукцию, производимую сельскохозяйственной промышленностью.

Дорожная карта

- 27.10.2021 – Обозначение сферы проекта.
- 28.10.2021 – Выбор темы проекта.
- 28.10.2021 – Начало изучения теоретического материала.
- 30.10.2021 – Изучение существующих аналогов на исследуемую тему.
- 02.11.2021 – Выбор элементной базы для реализуемой модели.
- 03.11.2021 – Начало разработки 3D модели в среде Autodesk Fusion 360.
- 03.11.2021 – Подробное изучение технических характеристик форм – фактора CubeSat.
- 07.11.2021 – Изучение различного ПО для конструирования электрических цепей.
- 08.11.2021 – Изучение Fritzing Software, разработка схемы подключения модуля управления.

- 10.11.2021 – Реализация программного кода для получения информации с датчиков.
- 15.11.2021 – Реализация программного кода работы с изображениями.
- 17.11.2021 – Начало формирования отчета (описание методов выполнения работы).
- 20.11.2021 – Разработка схемы подключения модуля-анализатора.
- 23.11.2021 – Доработка 3D модели.
- 23.11.2021 – Печать 3D модели.
- 23.11.2021 – Доработка ПО модуля-анализатора.
- 23.11.2021 – Сборка модуля-анализатора.
- 24.11.2021 – Завершение написания отчета.

Описание разработанного решения

В ходе работы было проведено исследование актуальности проекта, изучение существующих аналогов. По ходу работы структурировалась информация по возможностям модулей, подключаемых к выбранному микрокомпьютеру Raspberry Pi.

По ходу изучения выбранной темы, было принято решение расширить список выходных данных. В качестве результата замера будет выводиться нормализованный разностный индекс вегетации растений (NDVI), индекс простого отношения ИК-спектра к красному (Simple Ratio Index, далее SRI), усовершенствованный вегетационный индекс (Enhanced Vegetation Index, далее EVI), атмосферно устойчивый вегетационный индекс (Atmospherically Resistant Vegetation Index, далее ARVI), суммарный индекс «зелёности» (Sum Green Index, далее SGI), индекс отношения поглощения зеленого и красного света (Red Green Index, далее RGI). Данные, полученные в результате работы программы, позволят вести мониторинг потенциала сельскохозяйственных земель[4].

Индексы, указанные выше, позволяют определить реальное состояние растений на области измерения. Это возможно благодаря поглощению и отражению растениями различного количества солнечного света. При измерениях используются различные значения спектра: красного, синего, зеленого и инфракрасного.

В ходе изучения существующих искусственных спутников Земли (далее ИСЗ) было принято решение реализовать проект, используя форм-фактор космического аппарата CubeSat[5]. Такая модель будет удобна за счет своей компактности (стандарт размера CubeSat 1U 0.1x0.1x0.1 метра) и растущей распространенности использования. По данным от 20 августа 2021 года в космос было запущено более 1600 спутников такого типа[6].

В качестве основного микрокомпьютера была выбран Raspberry Pi 3 Model B+. Программный код реализован на языке программирования Python 3 при использовании различных библиотек (NumPy, Pillow, Math, RPI.GPIO, PyCamera).

Алгоритм работы ПО:

По нажатию кнопки модуля управления, имитирующего наземную станцию, аппарат получает радиосигнал и начинает работу.

На первом этапе происходит получение цифрового изображения с камеры, получение данных об инфракрасном излучении (Near Infrared, далее NIR излучение) с помощью фотодиода, а также получение данных с датчика освещенности.

Во время второго этапа аналого-цифровой преобразователь (далее АЦП) преобразует данные, полученные с фотодиода, в цифровой сигнал и передает его на Raspberry Pi. Микрокомпьютер обрабатывает изображение, создавая массивы значений цветов в пикселях (красного, синего и зеленого) в диапазоне от 0 до 255.

На третьем этапе микрокомпьютер производит вычисление значений индексов состояния посевов, используя переменные: K_{nir} – коэффициент полученного NIR излучения; K_{red} – коэффициент количества красного света; K_{blue} – коэффициент количества синего света; K_{green} – коэффициент количества зеленого света. Вычисления производятся по формулам, приведенным ниже.

$$NDVI = (K_{nir} - K_{red}) / (K_{nir} + K_{red}) \quad (1);$$

$$SRI = K_{nir} / K_{red} \quad (2);$$

$$EVI = 2.5 * (K_{nir} - K_{red}) / (K_{nir} + 6 * K_{red} - 7.5 * K_{blue} + 1) \quad (3);$$

$$ARVI = (K_{nir} - (2 * K_{red})) / (K_{nir} + (2 * K_{red} - K_{blue})) \quad (4);$$

$$SGI = (K_{nir} - K_{red}) / (K_{nir} + K_{red} - K_{blue}) \quad (5);$$

$$RGI = K_{green} / K_{red} \quad (6).$$

Во время четвертого этапа из вычисленных данных формируется файл и сохраняется в память. Среднее значение каждого индекса, а также показания с датчика освещенности и точное время измерения выводятся на жидкокристаллический дисплей (Liquid-crystal display, далее LCD дисплей).

Схемы экспериментальных установок:

В Приложении А приведены схемы соединения элементов модуля-анализатора и блока управления, а также их электрические схемы. Для моделирования в виртуальной среде использовалось ПО Fritzing Software.

Схема модуля-анализатора показана на схемах (см. Приложение А, Рисунок 13 и Рисунок 14).

Схема подключения деталей блока управления показана на схемах (см. Приложение А, Рисунок 15 и Рисунок 16).

Используемое оборудование:

- Raspberry Pi 3 Model B
- Arduino UNO
- Камера Raspberry Pi Camera Board v2.0
- Аналого-цифровой преобразователь
- Фотодиод
- Макетная плата Breadboard Half в количестве 2 (двух) единиц
- LCD-дисплей MT-20S4A-I 20x4
- Потенциометр в количестве 2 (двух) единиц
- Датчик освещенности
- Беспроводные приемники на 433МГц WRL-10532
- Беспроводные передатчики на 433МГц WRL-10534
- Светодиод
- Резисторы в количестве 2 (двух) единиц
- Кнопка

Листинги программы:

Далее показаны листинги, реализующие корректную работу программы, а также цели их применения.

На Рисунке 1 представлен фрагмент кода, отвечающий за подключения различных библиотек и функций к Raspberry Pi.

```
import time
from picamera import Picamera
import colorsys
from PIL import Image
import Adafruit_ADS1x15
import numpy as np
```

Рисунок 1

На Рисунке 2 представлен фрагмент кода, за счет которого микрокомпьютер получает изображение с камеры.

```
def take_photo():
    camera = PiCamera().resolution = (512, 512)
    camera.start_preview()
    time.sleep(2)
    filename = 'image.jpg'
    camera.capture(filename)
    return filename
```

Рисунок 2

На Рисунке 3 представлен код, отвечающий за разделение изображение для дальнейшего его анализа.

```
def crop_image(filename):
    image = Image.open(filename)
    pixels = image.load()
    x, y = image.size
    for i in range(4):
        for j in range(4):
            if i != 4 and j != 4:
                image.crop(box=(x/4*i, y/4*j, x/4*(i+1)-1, y/4*(j+1)-1)).\
                    save('image{0}{1}.bmp'.format(str(i+1), str(j+1)))
```

Рисунок 3

На Рисунке 4 представлен код, отвечающий вычисление коэффициента количества красного цвета из полученных сегментов изображения (Рисунок 5 – отвечает за коэффициент синего цвета, а Рисунок 6 – зеленого цвета соответственно)

```
def get_kred():
    Kred_all = 0
    for i in range(4):
        for j in range(4):
            if i!=4 and j!=4:
                filename = 'image{0}{1}.bmp'.format(str(i+1), str(j+1))
                image = Image.open(filename).convert('RGB')
                result_r = []
                image.load()
                r, g, b = image.split()
                for pixel_r, pixel_g, pixel_b in zip(r.getdata(), g.getdata(), b.getdata()):
                    rgb = (pixel_r / 255., pixel_b / 255., pixel_g / 255.)
                    pixel_r, pixel_g, pixel_b = [int(x * 255.) for x in rgb]
                    result_r.append(pixel_r)
                Kred = (sum(result_r))/(len(result_r)*255)
                Kred_all += Kred
    kred_final = Kred_all/16
    return kred_final
```

Рисунок 4

```
def get_kblue():
    Kblue_all = 0
    for i in range(4):
        for j in range(4):
            if i!=4 and j!=4:
                filename = 'image{0}{1}.bmp'.format(str(i+1), str(j+1))
                image = Image.open(filename).convert('RGB')
                result_b = []
                image.load()
                r, g, b = image.split()
                for pixel_r, pixel_g, pixel_b in zip(r.getdata(), g.getdata(), b.getdata()):
                    rgb = (pixel_r / 255., pixel_b / 255., pixel_g / 255.)
                    pixel_r, pixel_g, pixel_b = [int(x * 255.) for x in rgb]
                    result_b.append(pixel_b)
                Kblue = (sum(result_b))/(len(result_b)*255)
                Kblue_all += Kblue
    kblue_final = Kblue_all/16
    return kblue_final
```

Рисунок 5

```
def get_kgreen():
    Kgreen_all = 0
    for i in range(4):
        for j in range(4):
            if i!=4 and j!=4:
                filename = 'image{0}{1}.bmp'.format(str(i+1), str(j+1))
                image = Image.open(filename).convert('RGB')
                result_g = []
                image.load()
                r, g, b = image.split()
                for pixel_r, pixel_g, pixel_b in zip(r.getdata(), g.getdata(), b.getdata()):
                    rgb = (pixel_r / 255., pixel_b / 255., pixel_g / 255.)
                    pixel_r, pixel_g, pixel_b = [int(x * 255.) for x in rgb]
                    result_g.append(pixel_g)
                Kgreen = (sum(result_g))/(len(result_g)*255)
                Kgreen_all += Kgreen
    kgreen_final = Kgreen_all/16
    return kgreen_final
```

Рисунок 6

На Рисунке 7 представлен код, отвечающий за взаимодействие фотодиода с микрокомпьютером через АЦП.

```
def voltage():
    adc = Adafruit_ADS1x15.ADS1115()
    GAIN = 1
    time.sleep(1)
    values = [0]*4
    for i in range(4):
        values[i] = adc.read_adc(i, gain=GAIN)
    value_0, value_1, value_2, value_3 = ('| {0:>6} | {1:>6} | {2:>6} | {3:>6} |'.format(*values))
    return value_0, value_1, value_2, value_3
```

Рисунок 7

На Рисунке 8 представлен код, отвечающий за вычисление коэффициента NIR излучения.

```
def knir(values):
    average_voltage = sum(values)/4
    x = 255//4.096
    knir = int(average_voltage * x)
    return knir
```

Рисунок 8

На Рисунке 9 представлен код, отвечающий за вычисление индексов состояния растений по формулам (1 - 6).

```
def indexes(knir, kred, kblue, kgreen):
    NDVI = (knir - kred)/(knir+kred)
    SRI = knir/kred
    EVI = 2.5*(knir-kred)/(knir+6*kred-7.5*kblue+1)
    ARVI = (knir-(2*kred))/(knir+(2*kred-kblue))
    SGI = (knir-kred)/(knir+kred-kblue)
    RGI = kgreen/kred
    return NDVI, SRI, EVI, ARVI, SGI, RGI
```

Рисунок 9

На Рисунке 10 представлен код, отвечающий за запуск алгоритма работы модуля-анализатора.

```
def main():
    take_photo()
    crop_image('image.jpg')
    result_kred = get_kred()
    result_kblue = get_kblue()
    result_kgreen = get_kgreen()
    result_knir = knir(voltage())
    indexes(result_knir, result_kred, result_kblue, result_kgreen)

if __name__=='__main__':
    main()
```

Рисунок 10

3D модель экспериментальной установки.

Одной из основных задач при создании проекта была разработка трёхмерной модели (Three dimensional, далее 3D модель). Модель представляет собой форм-фактор CubeSat, в котором расположен микрокомпьютер и остальное материальное оснащение. В боковые стенки модуля вмонтированы фотодиод, цифровая камера, а также светодиод – индикатор напряжения на фотодиоде. В демонстрационной модели присутствует разъем для подключения микрокомпьютера к внешнему источнику питания. Моделирование осуществлялось с использованием ПО Autodesk Fusion 360.

На рисунках представлена модель экспериментальной установки, а именно корпус форм-фактора CubeSat модуля-анализатора (см. Приложение Б, Рисунок 17).

На Рисунке 18 представлена модель экспериментальной установки, а именно имитатор модуля наземной станции (см. Приложение Б, Рисунок 18).

Результаты и обсуждение:

Результатом работы является прототип функционального компонента ИСЗ. Модель модуля-анализатора содержит разъем для подключения внешнего блока питания. Также стоит отметить, что обмен данными производится с помощью беспроводных приемника и передатчика, работающих на частоте 433МГц.

В будущем планируется заменить указанные приемники и передатчики на более мощные для возможности увеличения расстояния между реализуемыми моделями, также планируется замена цифровой камеры, для получения более качественных изображений поверхности планеты.

Описание завершеного продукта:

Конечным продуктом является комплект, состоящий из модуля управления, имитирующего наземный пункт управления космическим аппаратом, и форм-фактор CubeSat, являющийся модулем-анализатором состояния посевов (Рисунок 11).

Данный прототип искусственного спутника Земли малого формата (Рисунок 12) готов к использованию на стендах для демонстрации возможностей дистанционного зондирования Земли, связанных агропромышленным комплексом.

Оператор нажатием кнопки на блоке управления запускает алгоритм работы модуля-анализатора, а затем получает выходные данные на экране блока управления.

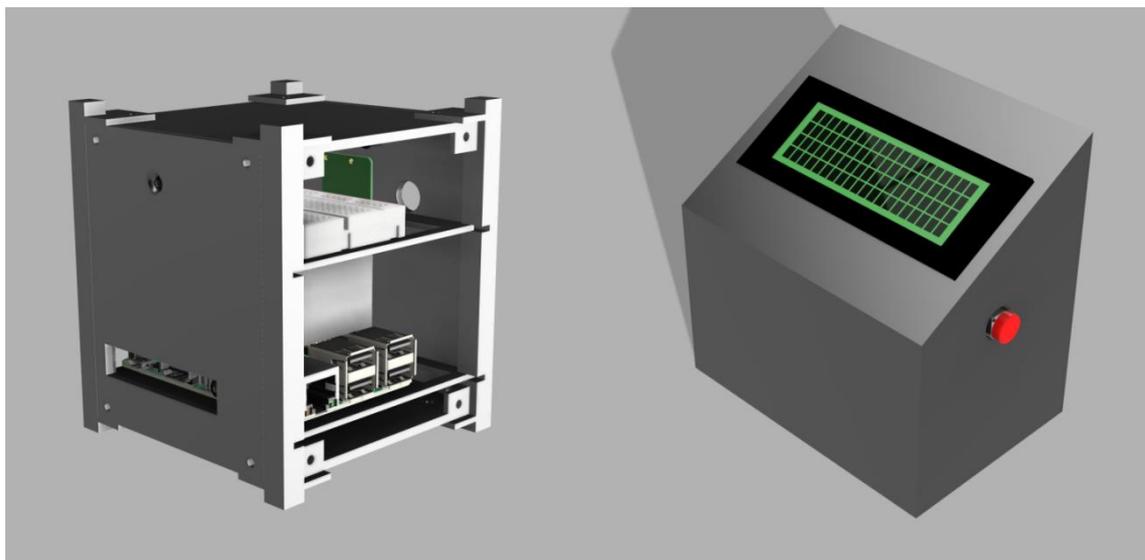


Рисунок 11

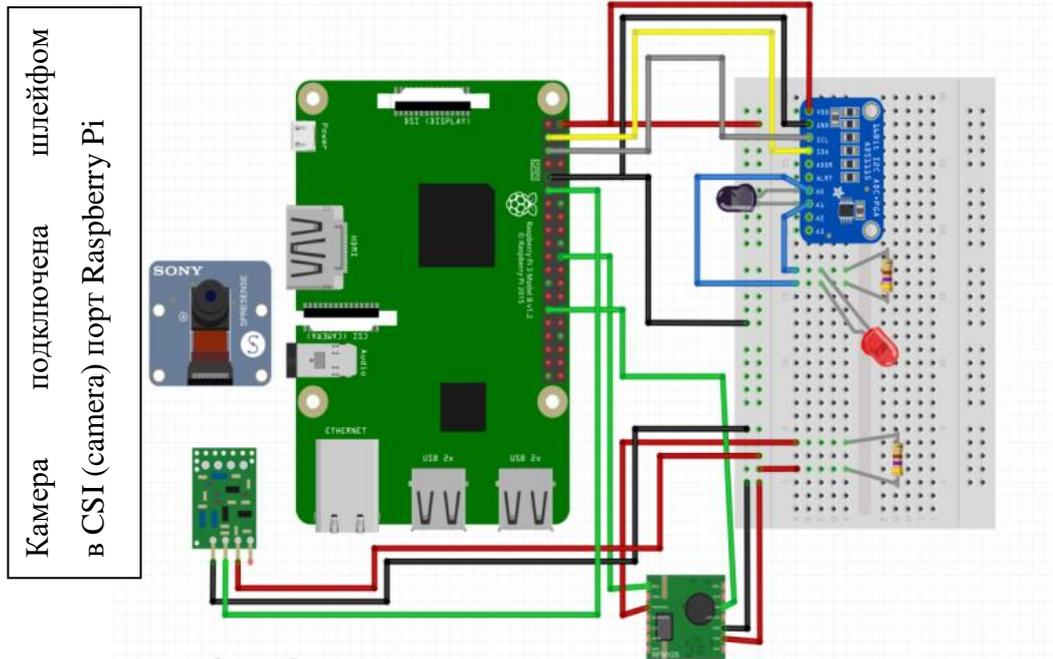


Рисунок 12

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] «Указ Президента РФ "О проведении в Российской Федерации Года науки и технологий" от 25.12.2020 № 812 [Электронный ресурс]
URL: <http://www.kremlin.ru/acts/news/64749> (дата обращения: 05.11.2021).
- [2] Агропромышленный комплекс России: итоги 2020 Российский бизнес-телеканал [Электронный ресурс]
URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/12394/> (дата обращения: 04.11.2021).
- [3] Точное земледелие: принцип работы и перспективы Сельхозпортал [Электронный ресурс] URL: <https://сельхозпортал.рф/articles/tochnoe-zemledelie/> (дата обращения: 04.11.2021).
- [4] Нагорный В.Д. Определение и мониторинг продуктивного потенциала сельскохозяйственных земель Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле». - 2011. - №1. - С. 68-75.
- [5] The CubeSat Program cubesat.org [Электронный ресурс]
URL: <https://www.cubesat.org/about> (дата обращения: 06.11.2021).
- [6] Nanosats Database Nanosats.eu [Электронный ресурс]
URL: <https://www.nanosats.eu/> (дата обращения: 17.11.2021).
- [7] Raspberry Pi Documentation Raspberrypi.com [Электронный ресурс]
URL: <https://www.raspberrypi.com/documentation/>
(дата обращения: 10.11.2021).
- [8] Reference Arduino.cc [Электронный ресурс]
URL: <https://www.arduino.cc/reference/en/> (дата обращения: 10.11.2021).

Приложение А



Камера подключена шлейфом в CSI (camera) порт Raspberry Pi

Рисунок 13

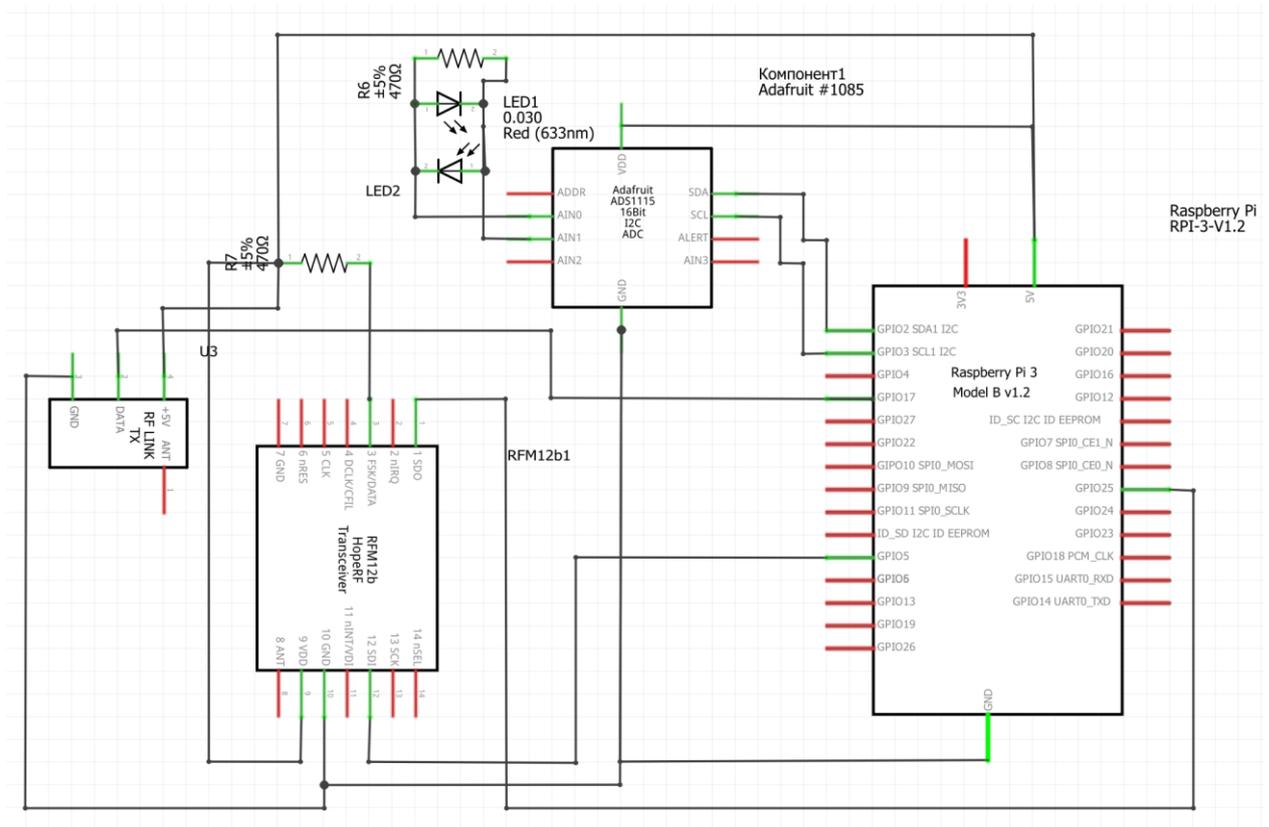


Рисунок 14

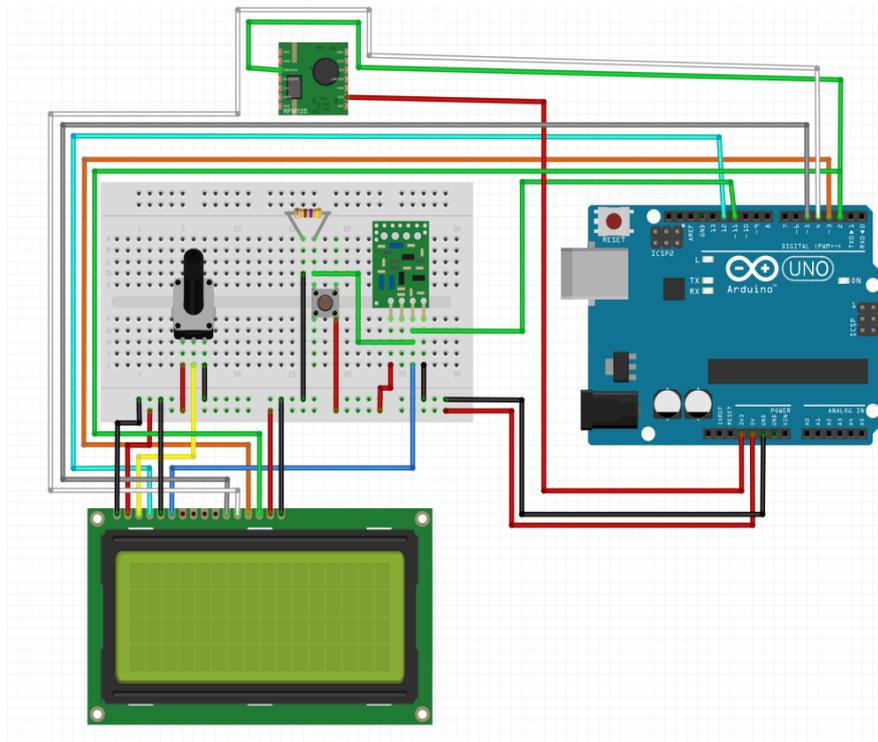


Рисунок 15

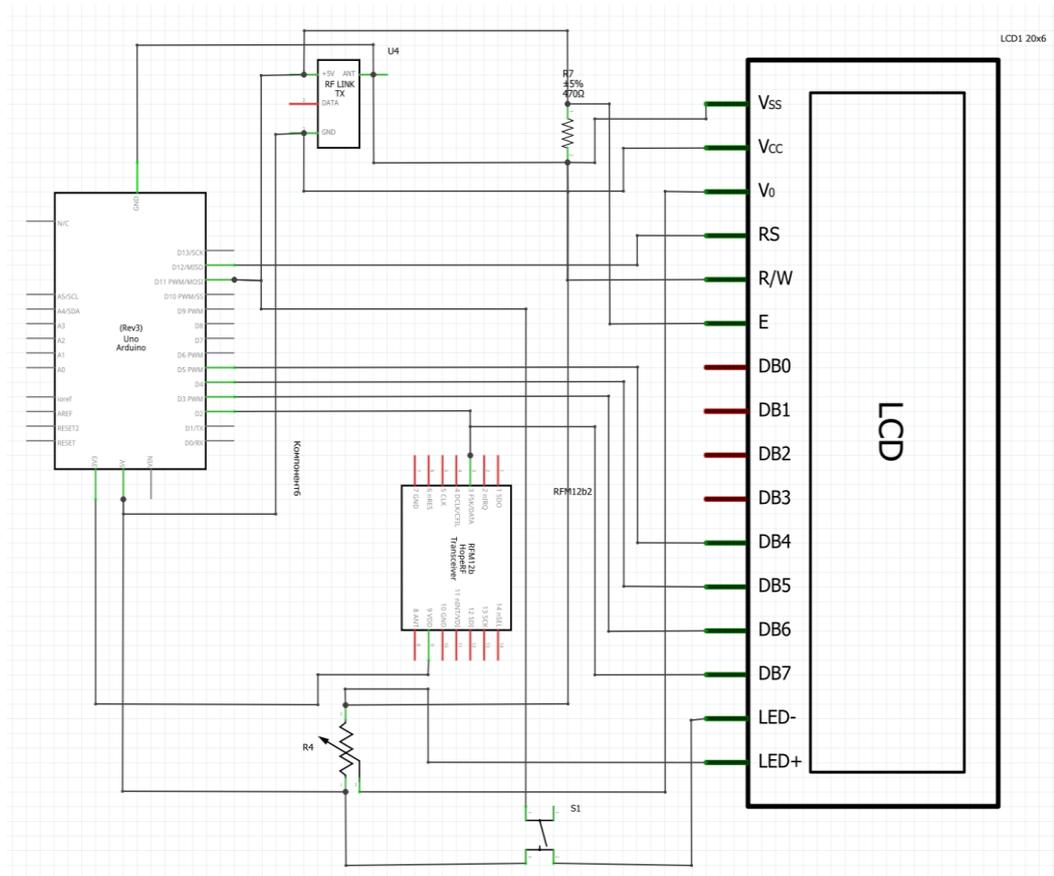


Рисунок 16

Приложение Б

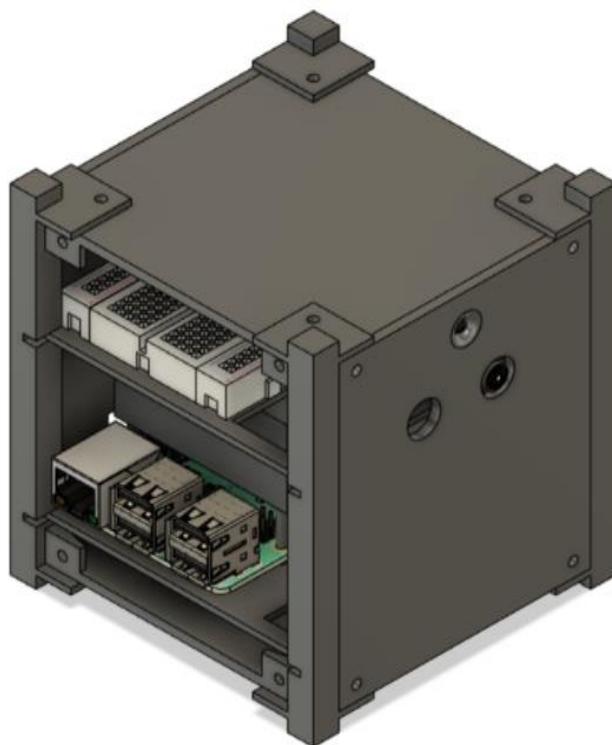


Рисунок 17

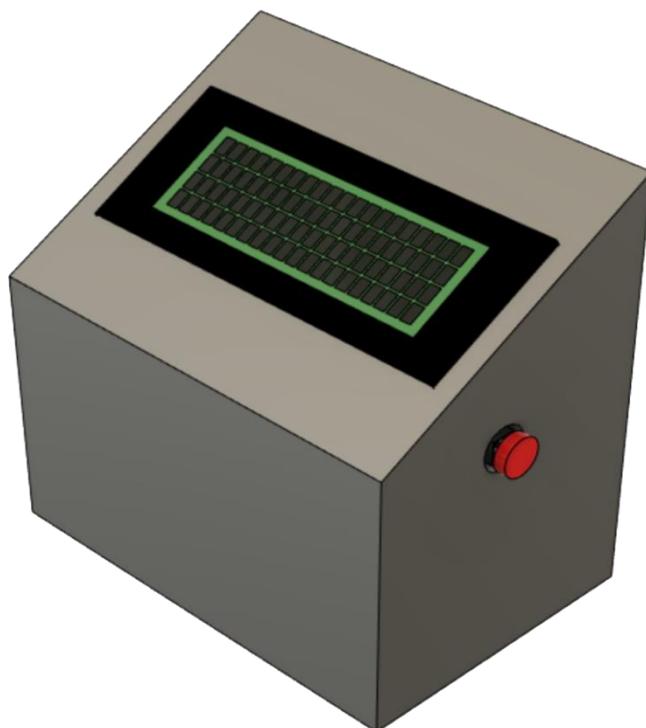


Рисунок 18