

Разработка беспилотников для условий Севера



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



КВАНТОРИУМ

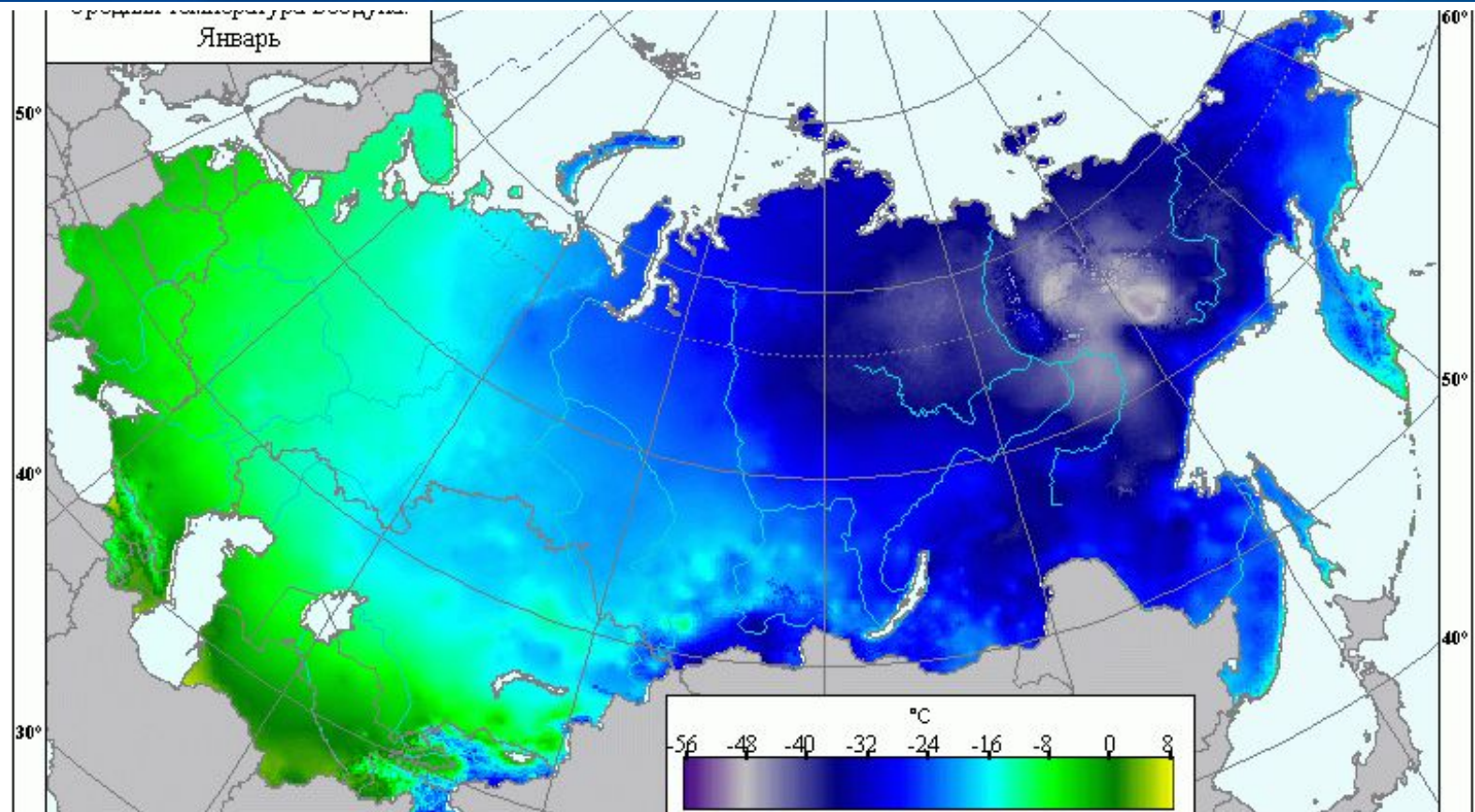
Актуальность



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



- Республика Саха (Якутия) занимает значительную по размерам территорию, большая часть которой является труднодоступной. Использование беспилотных аппаратов (дронов) в низких температурах затруднительно по причине ограничений времени использования батарей и проблем с работой механизмов.



Цель



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



- Для имеющейся в наличии модели дрона создать дополнительные устройства, которые позволят работать модели при низких температурах, не разрешенных для этой модели

Климат Якутска													
Показатель	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
Абсолютный максимум, °C	-5,8	-2,2	8,3	21,1	31,1	35,1	38,4	35,4	27,0	18,6	3,9	-3,9	38,4
Средний максимум, °C	-35,1	-28,6	-12,3	1,7	13,2	22,4	25,5	21,5	11,5	-3,6	-23,1	-34,3	-3,4
Средняя температура, °C	-38,6	-33,8	-20,1	-4,8	9,5	18,9	21,0	15,2	6,1	-7,8	-27	-37,6	-8,8
Средний минимум, °C	-41,5	-38,2	-27,4	-11,8	1,0	9,3	12,7	8,9	1,2	-12,2	-31	-40,4	-14,1
Абсолютный минимум, °C	-63	-64,4	-54,9	-41	-18,1	-5,4	-1,5	-7,8	-14,2	-40,9	-54,5	-59,8	-64,4
Норма осадков, мм	9	8	7	8	20	35	38	37	31	18	16	10	237

Задачи



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



- Проанализировать имеющий опыт использования дронов этой модели в условиях холодных регионов.
- Разработать систему устройств, которые позволят избавиться от ограничивающих факторов созданной модели, работать в более низких условиях, чем разрешает производитель, снизить проблемы конденсации в элементах конструкции дрона.
- Сформулировать требования к характеристикам полета дрона (высота, скорость и т.п) при разных температурах, основываясь на гипотезах и теориях потерь энергии в условиях низких температур.
- Собрать прототип и дополнительные устройства к дронам.

Исследуемый объект



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



Phantom 4 Pro воплотил в себе 30 минут полетного времени, максимальную скорость полета 72 км/ч, съемку увеличенным 1-дюймовым объективом фото 20 мП и видео 4K со скоростью 60 к/с, обнаружение препятствий в пяти направлениях в радиусе 30 м, передачу данных с помощью новой технологии Lightbridge HD на расстоянии до 7 км на одной из двух доступных частот, множество новых и усовершенствованных режимов полета.



Факторы и риски



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



В условиях Крайнего севера и резко континентального климата, свойственных для нашей земли и являющимся причиной проведения данной работы необходимо обозначить полный список экзогенных по отношению к ЛА явлений и процессов, оказывающих или способных повлиять на работоспособность электронных компонентов квадрокоптера. Исходя из этих факторов, необходимо выяснить возможные риски эксплуатации коптера и пути их преодоления.

Внешние факторы среды



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



1. Температура:

влияет на работу аккумуляторов;

перепады температуры - приводят к более быстрому износу оборудования;

меняют свои свойства пластики, становясь значительно более хрупкими.

2. Влага, вода:

опасность представляет конденсация влаги на корпусе и внутри него и приводит к быстрой коррозии металлических деталей;

3. Ветер:

приводят к быстрому выхолаживанию корпуса;

реальную опасность могут представлять только сильные ветра, которые не встречаются в Якутии.

Риски полетов



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



- Обледенение
- Хрупкость материалов
- Быстрая разрядка
- Перегрев





График разряда в зависимости от температуры для UR18650W

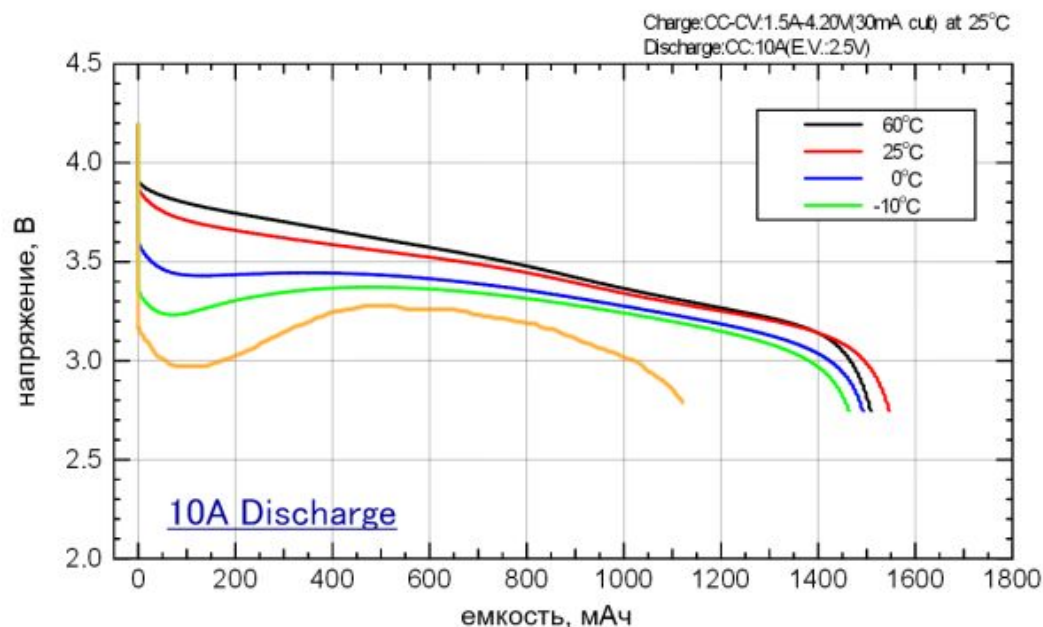


График
1

В данной модели коптера (DJI Phantom 4 Pro) используется литий-полимерный аккумулятор типа LiPo4S (модель с четырьмя блоками) емкостью 5800 мА*час.

- **Электролит замерзает – емкость аккумулятора снижается**
- **Понижается скорость химических процессов – снижается выходное напряжение**

Это все показывает график 1, на котором отображен разряд аккумулятора модели Sanyo UR18650W2 емкостью 1500-1600 мА*ч и номинальным напряжением 3,7 вольт (оранжевая кривая – показания при -20°C).

Основная проблема: состоит в резком снижении емкости батареи и отдаваемого ею напряжения

Материалы



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



Рассматриваемые материалы

Аэрогель
Пенофол
Нанобарьерные пленки
Plastik 71
Герметик ABRO 12-AB
Войлок
Монтажная пена
Гидрофобная ткань
Гидроизоляционный лак Flash Flood
Нихромовая проволока

Рассматриваемые материалы



Карбон

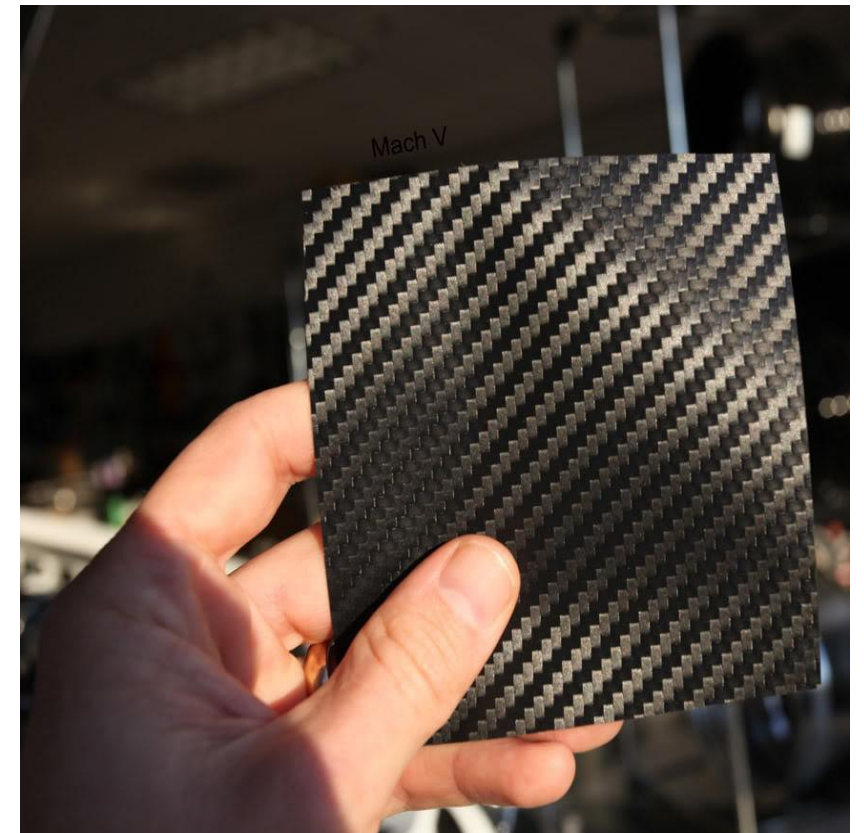


СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



- Плотность от 1450 кг/м(3) до 2000 кг/м(3).
- Высокая прочность жесткостью и малой массой
- Высокая термостойкость
- Высокий предел упругости
- Легче стали на 40% , алюминия на 20%
- Коррозионная стойкость

Этот материал пользуется огромной популярностью в самолетном производстве





Для термозащиты мы решили использовать Лак акриловый изоляционный для печатных плат

- Образует блестящую и гибкую защитную пленку, которая устойчива к кислоте, соли, плесени, коррозионным испарениям, термическим воздействиям, механическим повреждениям, щелочи, спирту, влаге и агрессивной окружающей среде.





- принимает любую форму и успешно выдерживает сжатие, растяжение и сдвиг;
- совершенно не разрушается под действием автомобильных масел, воды и антифриза.
- Также герметик **ABRO** обладает высокой стойкостью к бензину и тормозной жидкости.



Использование альтернативного топлива



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



Мы рассмотрели виды альтернативного топлива такие как:

- Сапропель
- Торф
- Уголь
- Этанол
- Бензин

И пришли к выводу что дополнительные материалы для хранения и эксплуатации альтернативного топлива приведёт к повышению тяжести с нынешними характеристиками БПЛА.

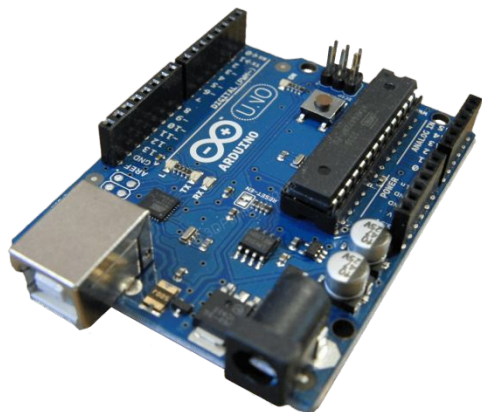
Разработка в системе Arduino. Слежения изотермических явлений.



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



Arduino — торговая марка аппаратно-программных средств для построения простых систем автоматики и робототехники, ориентированная на непрофессиональных пользователей.



Устройство для измерения температуры

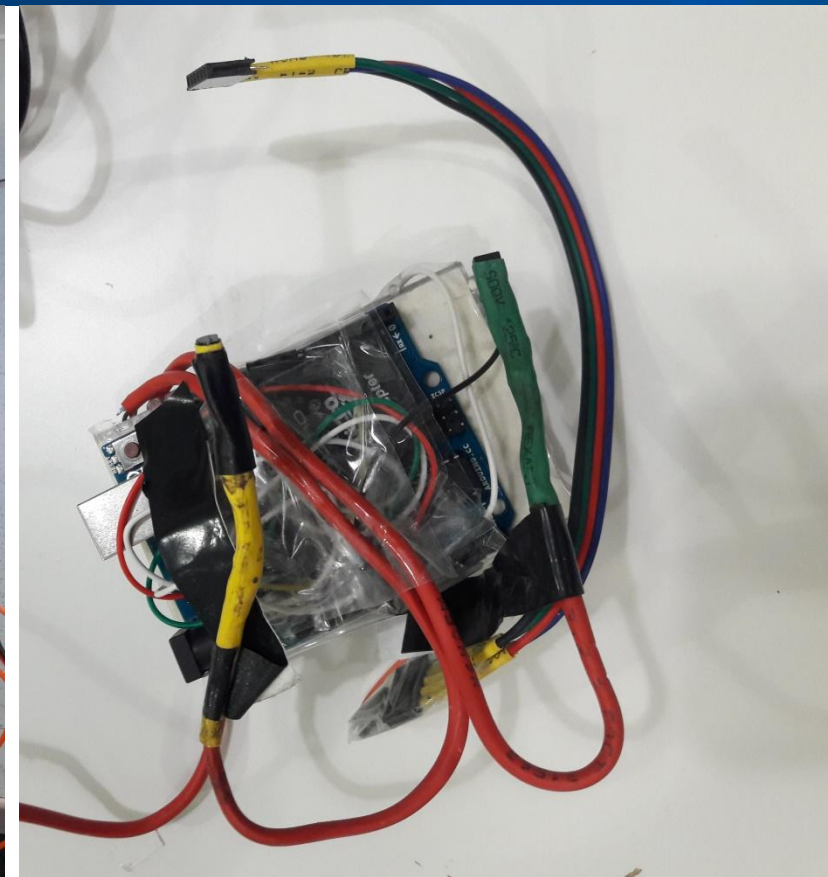
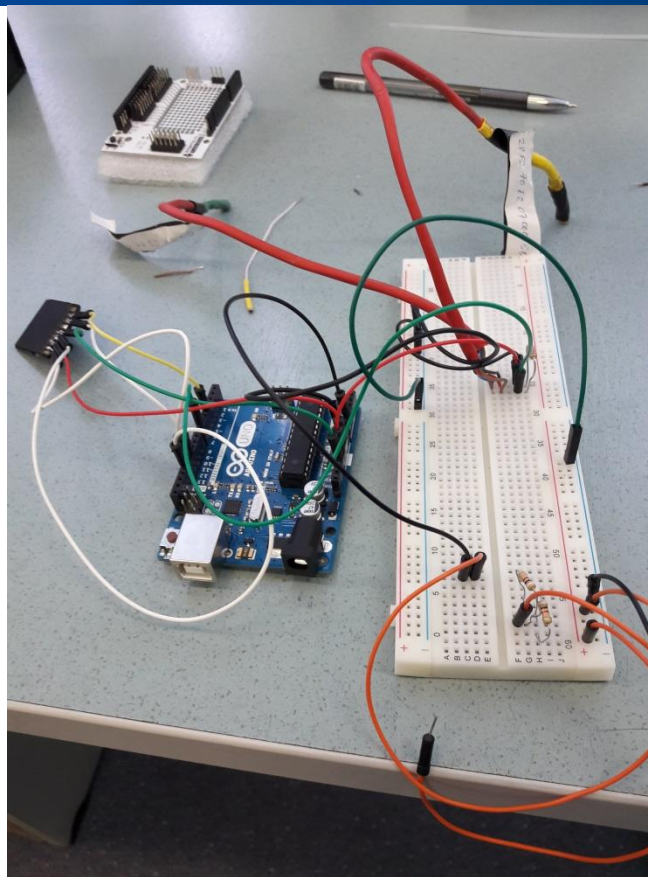


СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



- В качестве аппаратной платформы была выбрана плата Arduino NANO из-за ее маленьких размеров и легкого веса.
- В качестве прототипа аппаратной платформы была выбрана плата Arduino UNO из-за простоты его использования, и совместимости кода программ для нее с большей части линейки Arduino

С помощью разработки систем слежения изотермических явлений, мы смогли наблюдать изменение температуры дрона в здании и на улице.



Проблемы Arduino в ХОЛОДНЫХ УСЛОВИЯХ

- Разработка алгоритма была выполнена с помощью ПО Arduino IDE.
- В ходе разработки программы были использованы специализированные библиотеки для датчиков и sd карты.
- Ниже приведен скетч нашей программы (будет изменяться в процессе):
- В разработке программы принимали участие:

Владимир

Сафрон

```
WriteTest | Arduino 1.8.5 (Windows Store 1.8.10.0)
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь
[Icons]
WriteTest
64 Serial.print("SD CARD - OK!");
65 #endif
66 m:myFile=SD.open(a, FILE_WRITE);
67 if (!myFile) goto m;
68 #ifdef DEBUG
69 Serial.print(" FILE - Opened");
70 Serial.print(b);
71 #endif
72 myFile.print(b);
73 myFile.close();
74 #ifdef DEBUG
75 Serial.println(" FILE - Writed");
76 #endif
77 }
78
79 void removeFile(const char* a) {
80 //14:if (!SD.begin(4)) goto 14;
81 #ifdef DEBUG
82 Serial.print("SD CARD - OK!");
83 #endif
84 if (SD.exists(a)) SD.remove(a);
85 #ifdef DEBUG
86 Serial.println(" FILE - Deleted.");
87 #endif
88 }
89
90
91
92 double getTemp(int pin, DeviceAddress a) {
93 OneWire wire(pin);
94 wire.select(a);
95 DallasTemperature sensor(&wire);
96 sensor.begin();
97 sensor.setResolution(a, RESOLUTION);
98 sensor.requestTemperatures();
99
100 }
101
102 void setup() {
103 SD.begin(4); // put your setup code here, to run
104 #ifdef DEBUG
105 Serial.begin(9600);
106 while (!Serial) {}
107 Serial.println("DEBUG IS TURNED ON");
108 #endif
109 //removeFile(FILE_NAME);
110 write2file(FILE_NAME, "\nSTARTED!!\n");
111 write2file(FILE_NAME, "TIME;TEMPERATURE_1;TEMPERATURE_2\n");
112 }
113
114 void loop() {
115 // put your main code here, to run repeatedly:
116 DeviceAddress addr1=TERMO_1;
117 double temp1=getTemp(TERMO_PIN, addr1);
118 DeviceAddress addr2=TERMO_2;
119 double temp2=getTemp(TERMO_PIN, addr2);
120 long int volts=analogRead(BATTERY_PIN);
121 long int t=(long int) (millis()/1000);
122
123 write2file(FILE_NAME, t);
124 write2file(FILE_NAME, ";");
125 write2file(FILE_NAME, temp1);
126 write2file(FILE_NAME, ";");
127 write2file(FILE_NAME, temp2);
128 write2file(FILE_NAME, ";");
129 write2file(FILE_NAME, volts);
130 write2file(FILE_NAME, "\n");
131 }
```



- Крайне низкая температура



Энергопотребление

- В качестве датчиков температуры для нашего устройства была выбрана модель ds18b20, поскольку они способны выдерживать низкие температуры порядка -50 градусов Цельсия.

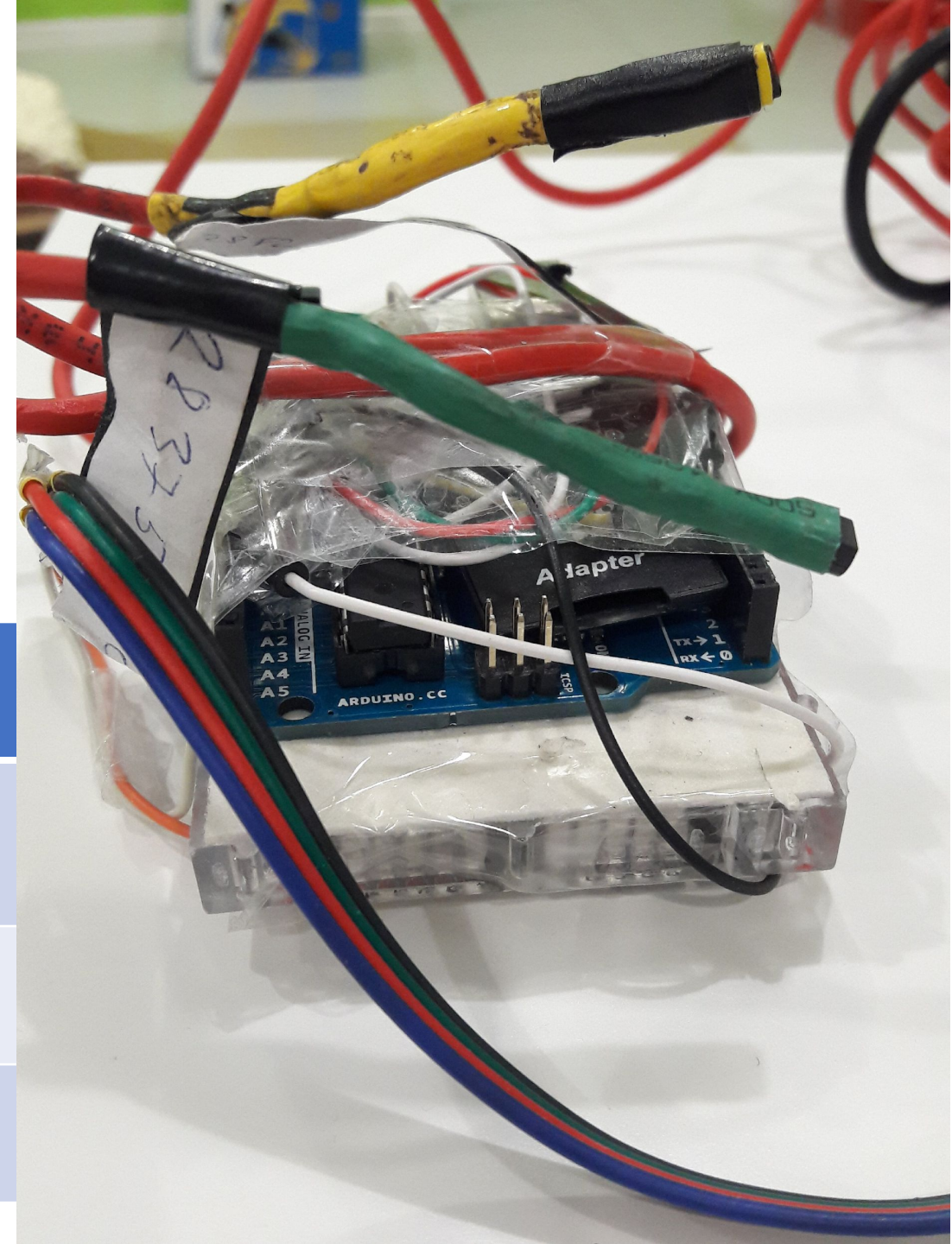
В качестве приемника данных для нашего устройства была выбрана SD карта, поскольку она способна хранить большое кол-во информации, которая была собрана датчиками. Также, она требует мало электроэнергии для питания, в отличие от радиопередатчика.



Методы тестирования

Эксперименты, изучение температур внутри коробки. Arduino измеряет и записывает показатели температуры внутри коробки и снаружи. Для получения лучшего результата используется разные материалы и способы изоляции коробки.

№	Суть эксперимента
1	Поместить датчики в картонные коробки с разными утеплителями. Проверить теплопроводные свойства разных материалов.
2	Сравнить емкость аккумулятора, его температуру и подаваемое напряжение
3	Испытать полет квадрокоптера в мороз





№1 Проверка термоизолирующих свойств материалов

Материалы:

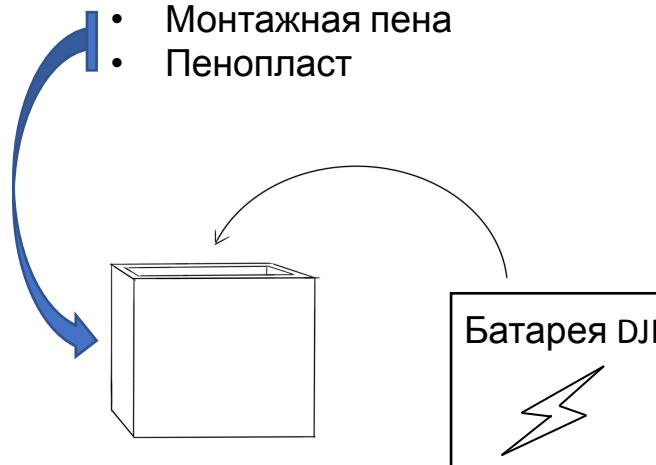
- Картон
- Пенофол
- Монтажная пена



№2 Охлаждение аккумулятора в различных условиях

Материалы:

- Монтажная пена
- Пенопласт



№3 Полет квадрокоптера в мороз

- Первый полет
- Второй полет
- Работа на холостых



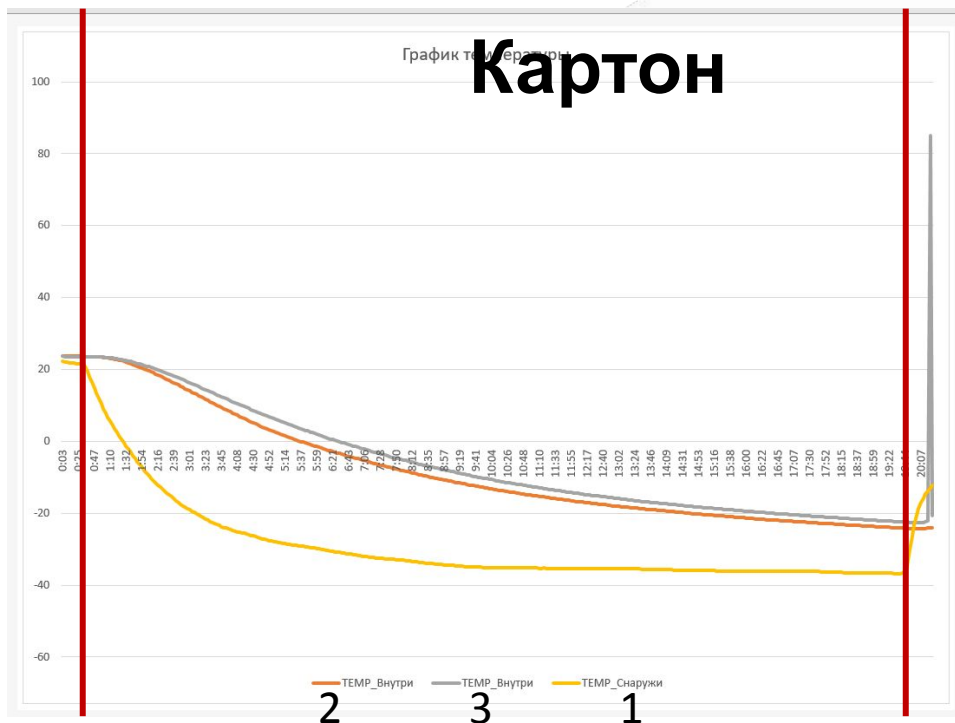
Эксперимент 1: Изучение свойств материалов



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



График температуры
Картон



Условия проведения:
температура в помещении: 25°C
Температура на улице: -38-40°C
время: 15 минут
толщина картона: 0,6 см
размер коробки: 33х33х33 см
использованы 3 датчика ds18b20

Ход эксперимента

1 этап. Изменение температуры воздуха внутри коробки (График 1):

- 1 - датчик за пределами;
- 2 - датчик у стенки;
- 3 - датчик внутри.

3 этап. Прибор в картонной коробке в -38°C:

Начало: t°C воздуха = 23.

Конец: t°C воздуха = -20.

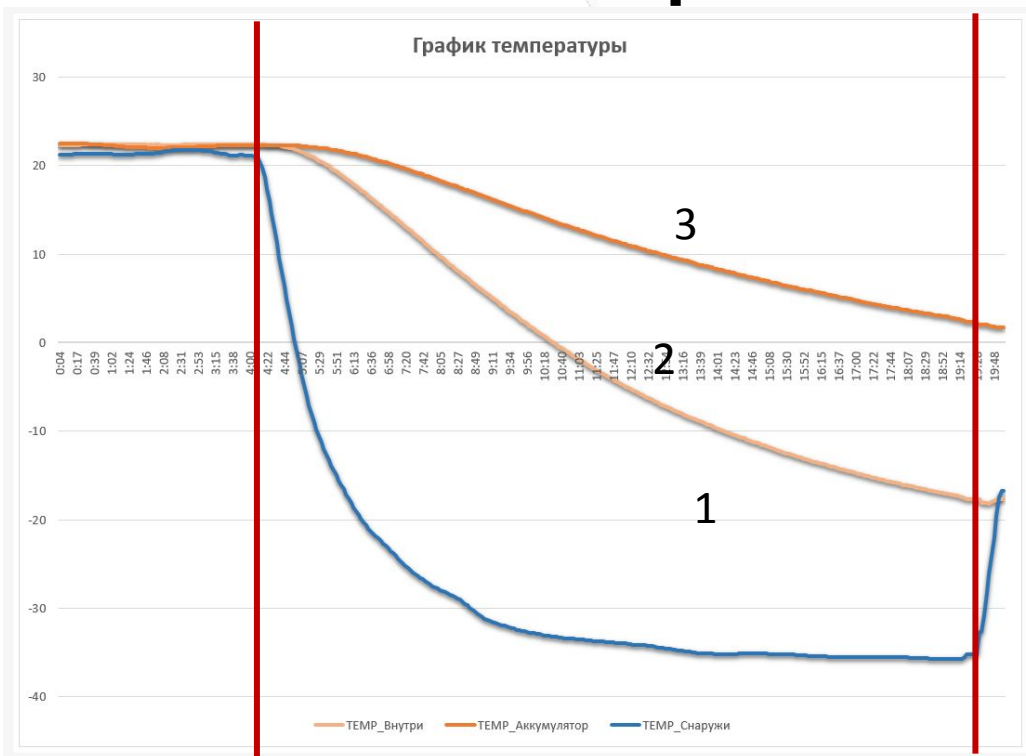
Эксперимент 1: Изучение свойств материалов



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

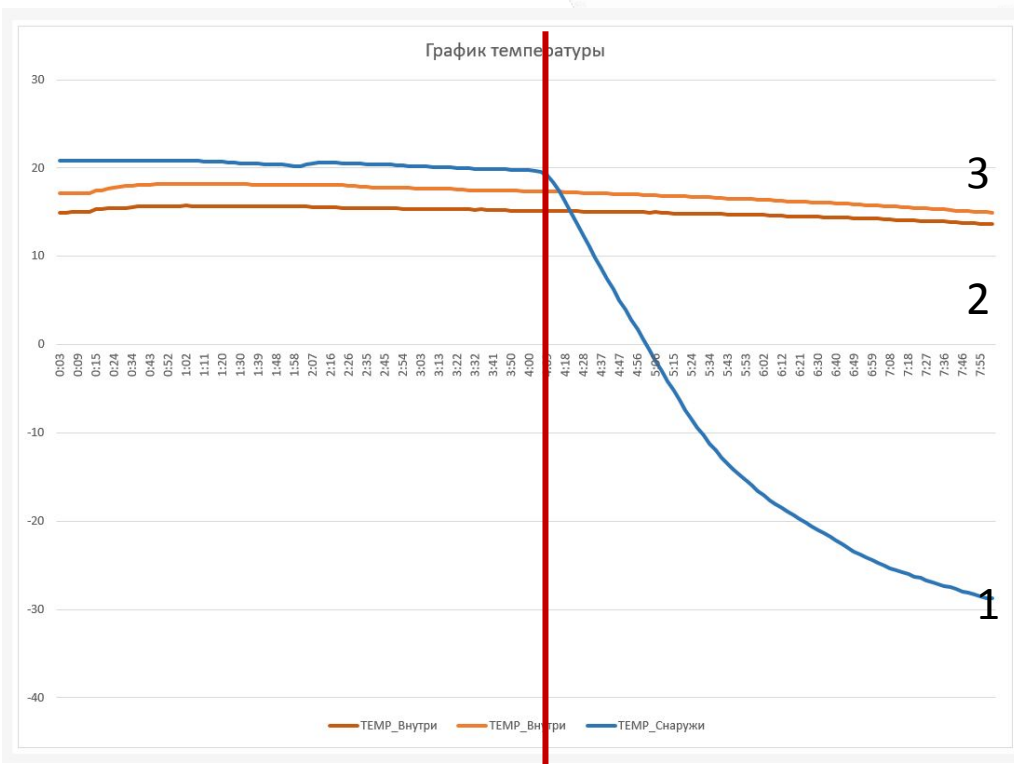


Пенофол



Эксперимент 1: Изучение свойств материалов

Монтажная



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



Условия проведения:

температура в помещении: 25°C

температура на улице: -38-40°C

время: 15 минут

толщина пены с картоном: 4 см

размер коробки из пены: 33x33x33

см использованы 3 датчика

ds18b20 эксперимента

**1 этап. Изменение температуры
воздуха внутри коробки (График 1):**

1 - датчик за пределами;

2 - датчик у стенки;

3 - датчик внутри.

2 этап. Батарея на морозе в -38°C:

Начало: 17,17В; t°C воздуха = 23; t°C
батареи = 23

Конец: 17В; t°C воздуха = -38; t°C
батареи = -5.

3 этап. Батарея в пене -38°C:

Начало: 13,12В; t°C воздуха = 23; t°C
батареи = 23.

Конец: 15,09В; t°C воздуха = -17; t°C
батареи = 2.

Эксперимент 1: ИТОГ

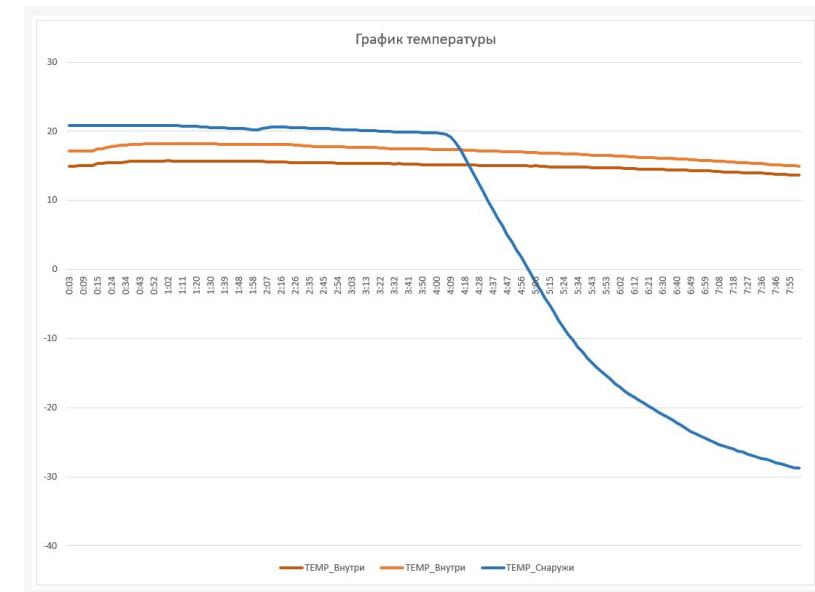
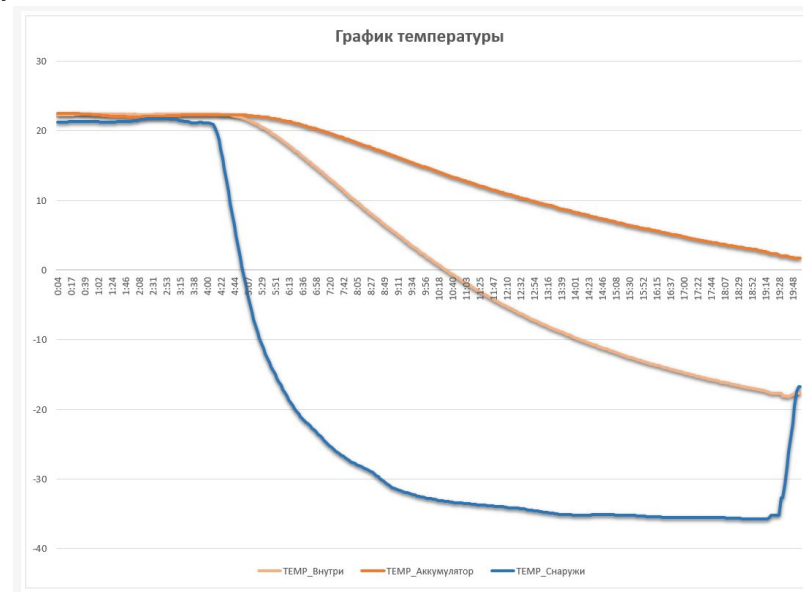
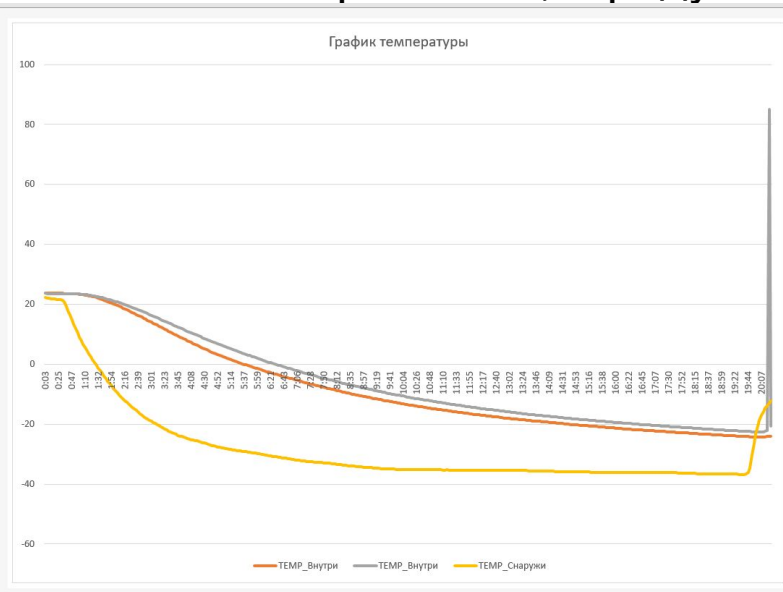


СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



Вывод: лучше всего удерживает тепло монтажная пена, на втором месте – пенофол, простой картон показал худшие результаты с охлаждением до -20 градусов.
Однако массо-габаритные характеристики, а также сложность использования монтажной пены не позволяют ее эффективно разместить на квадрокоптере, поэтому наиболее целесообразно использовать пенофол

Точность измерений: $\pm 0,5$ градусов цельсия



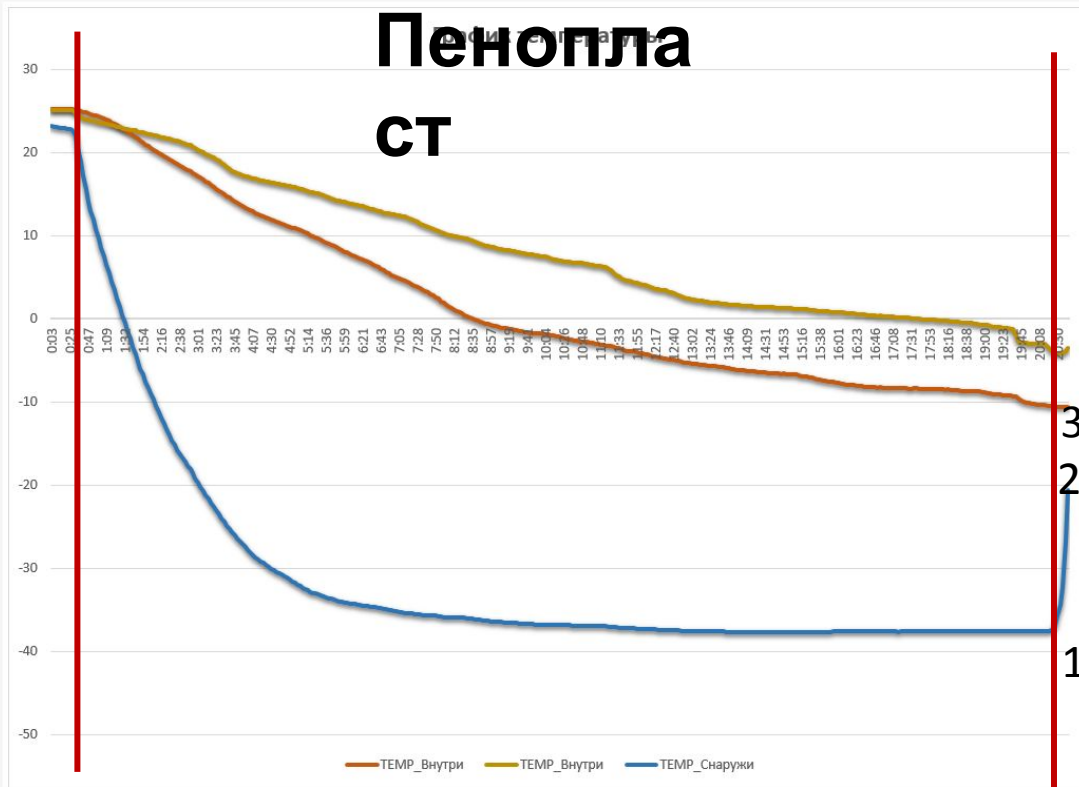
Эксперимент 2: Батарея на холоде



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



Пенопласт



Условия проведения:
температура в помещении: 25°C
температура на улице: -38-40° C
время: 15 минут
толщина пенопласта: 3 см
размер коробки из пенопласта: 17x15x11 см
использованы датчики квадрокоптера

Ход эксперимента

1 этап. Изменение температуры воздуха внутри коробки (График 1):

- 1 - датчик за пределами;
- 2 - датчик у стенки;
- 3 - датчик внутри.

2 этап. Батарея на морозе в -38°C:

Начало: 17,17В; 6002 мА*ч; t°C батареи=23.

Конец: 17В; 5941 мА*ч; t°C батареи=5.

3 этап. Батарея в пенопласте -38°C:

Начало: 17,12В; 5720 мА*ч; t°C батареи=20.

Конец: 17,09В; 5654 мА*ч; t°C батареи=17.

Эксперимент 2: итог



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



Анализ: воздух внутри коробки выхолаживается медленно, за 15 минут батарея охладилась до 5 градусов, что повлияло на выходное напряжение; пенопласт значительно замедлил охлаждение аккумуляторного блока.

Вывод: пенопласт как термоизолирующий материал доказал свою эффективность, снизив охлаждение батареи на 83,(3)%. Можно сделать вывод, что создание дешевого кейса из пенопласта с простейшей изоляцией целесообразно.



Датчик Arduino



Процесс сборки
термоизолирующего

Эксперимент 3: Полетные испытания



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



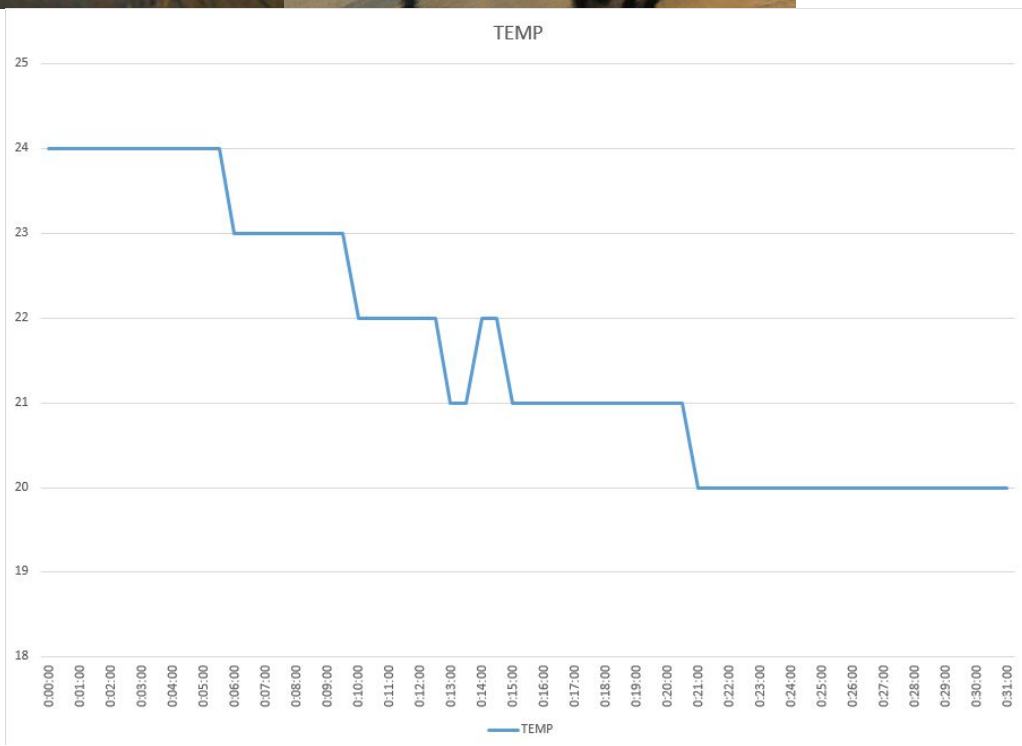
Условия проведения
температура: -40°C
заряд аккумулятора: полный

Ход эксперимента

1. Первое испытание: в среднем полётное время составило 23 минуты, батарея охладилась с 20°C до 10°C
2. Второе испытание: полёты с средним временем 25 минут, батарея охладилась с 22°C до 11°C ; применено простое утепление двигателей ЛА.

Анализ: практическое максимальное время полета квадрокоптера (25 минут) на 16,66% меньше времени, указанного производителем модели (30 минут).

На фото: процесс испытаний, **уменьшение температуры аккумулятора**



Эксперимент 3: Работа на холостых



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



Условия проведения

Температура внешняя -40°C, 25°C

Время: 20-30 минут

Заряд полный, применено утепление корпуса и радиатора

Ход эксперимента

1. Первое испытание: работа на улице, $t^{\circ}\text{C} = -40$; показания вольтметра изменились с **16,8 В** до **15,8 В**; температура батареи коптера изменилась с **24°C** до **20°C**.

2. Второе испытание: работа в помещении, $t^{\circ}\text{C} = 25$ (график 1); показания вольтметра не изменились и остались на уровне **16,7 В**; батарея нагрелась с **20°C** до **42°C**

Анализ и вывод: утепление привело к перегреву батареи в комнатной температуре и к медленному охлаждению на морозе



График
1

Эксперимент 3: Работа на холостых



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

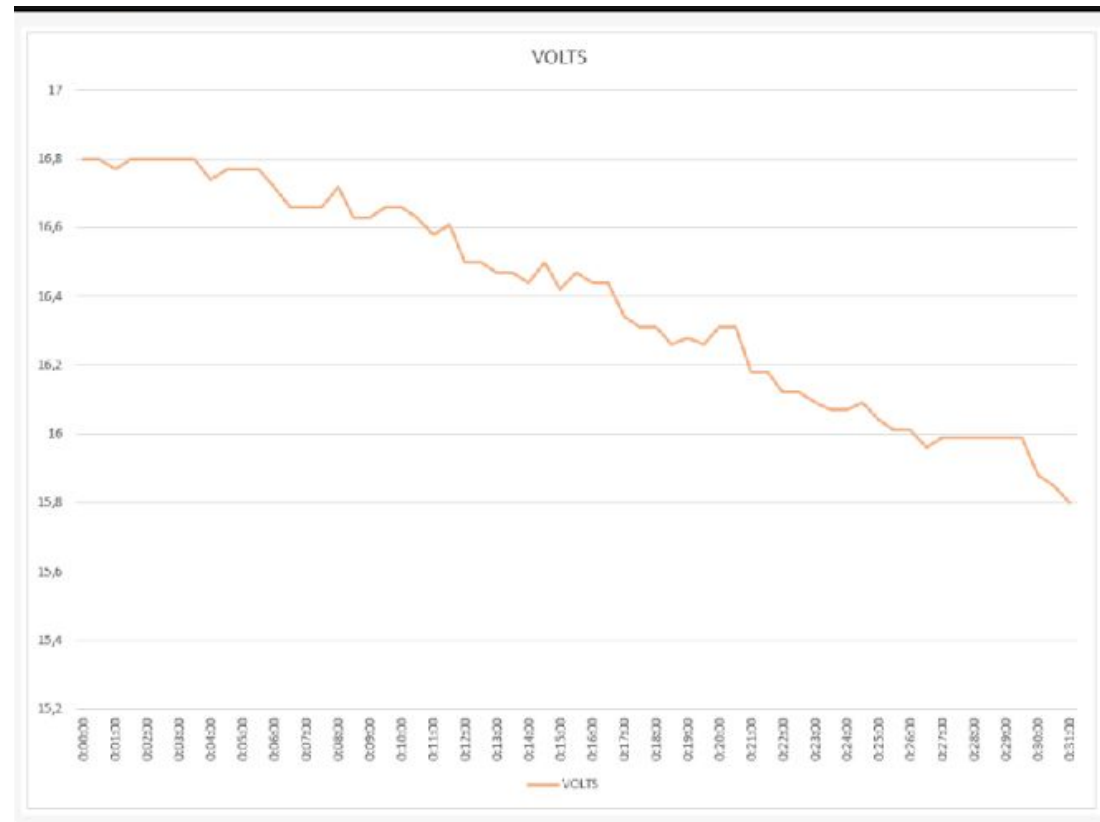


График
Показания температуры (график 2) и вольтметра (график 3) в **холодную**
температуру

Выводы и результаты



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



В итоге работы мы пришли к следующим выводам:

- Использование общего доступа к облачному хранению данных, сильно повлияла на эффективность и удобство передачи данных, информации, идей;
- Изучив и проанализировав литературу, мы поняли, что dji Phantom 4 Pro не использовался в условиях холодных регионов;
- По итогам экспериментов выявлены хорошие теплоизолирующие свойства пенофола, монтажной пены и пенопласта;
- Платформа Arduino позволяет автоматизировать эксперимент, что увеличивает точность измерений, уменьшает погрешность;
- Из-за массо-габаритных характеристик монтажной пены, несмотря на лучшую теплоизоляцию, мы выбрали пенофол.
- Если держать аккумулятор на холоде до использования (например, нести на улице до пункта вылета квадрокоптера) его следует положить в кейс, в нашем случае, из пенопласта.
- Наше утепление привело к перегреву батареи в комнатной температуре и к медленному охлаждению на морозе
- При -40 градусах по Цельсию квадрокоптер dji Phantom 4 Pro разряжается в среднем на 16.66% быстрее времени, заявленного производителем в пределах плюсовых

Дальнейшие перспективы



СИРИУС
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



- Увеличить количество экспериментов для наименьшей погрешности
- Исследовать и испытать больший спектр материалов
- Провести модификацию квадрокоптера
- Изучить беспилотники, предназначенные для работы на севере