



УДК 629.735.33

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-97-103

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОНОМНОЙ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ

**Ю. А. Силин**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В статье кратко рассмотрены возможности применения квадрокоптеров для доставки различных грузов и приведены примеры компаний, занимающихся разработками в данной сфере. Для практической реализации доставки грузов был реализован портативный автономный модуль, способный поддерживать заданную температуру в течение определённого времени. Лучшим вариантом является использование для охлаждения элемента Пельтье, так как он является достаточно компактным.*

*Ключевые слова: квадрокоптеры, доставка грузов, организация доставки, контейнер для доставки грузов, элемент Пельтье.*

**Для цитирования:**

*Силин Ю. А. Разработка охлаждающего контейнера способного поддерживать заданную температуру при транспортировке // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 97-103. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-97-103.*

## DEVELOPMENT AND RESEARCH OF OPERATING MODES OF AN AUTONOMOUS THERMOREGULATION SYSTEM FOR THE TRANSPORTATION OF SMALL-SIZED CARGO

**Y. A. Silin**

State University of Aerospace Instrumentation

*The article briefly discusses the possibilities of using quadcopters for the delivery of various goods and provides examples of companies engaged in development in this area. For the practical implementation of cargo delivery, a portable autonomous module was implemented, capable of maintaining a set temperature for a certain time. The best option is to use the Peltier element for cooling, as it is quite compact.*

*Key words: quadcopters, cargo delivery, organization of delivery, container for cargo delivery, peltier element.*

**For citation:**

*Silin Y. A. Development of a cooling container capable of maintaining a set temperature during transportation // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 97-103. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-97-103.*

### Введение

В современном мире зачастую появляется потребность в быстрой доставке по городу или в труднодоступные места. Самым оптимальным и быстрым способом является доставка по воздуху при помощи беспилотного летательного аппарата. Многие крупные компании уже давно заинтересованы в беспилотной доставке по воздуху. К примеру, компания DHL занимается разработкой дронов, которые смогут осуществлять доставку небольших грузов в черте города, на большие расстояния и в труднодоступные места.

Беспилотная авиадоставка наиболее востребована для следующих типов грузов:

- биологические материалы, вакцины, медикаменты или питание в клиники, больницы или непосредственно пострадавшим от стихийных бедствий [1];
- доставка почты, товаров и других небольших грузов [1];
- доставка товаров из магазинов (включая еду и напитки).

Американская компания Zipline занимается доставкой крови, замороженной плазмы, вакцин, противоядий, средств индивидуальной защиты в удалённые регионы Африки и Индии. Американские летательные аппараты позволили охватить свыше 8 миллионов пациентов и



пересмотреть подход к оказанию медицинских услуг в ряде населенных пунктов [2]. Ниже будет представлено описание основного типа контейнера, при помощи которого происходит транспортировка.

### Принцип работы беспилотной авиадоставки

- 1) Квадрокоптер получает информацию о доставке (например, информацию о грузе, информацию о местоположении груза и / или информацию о месте доставки).
- 2) Автономно или полуавтономно получает груз из места хранения и доставляет по воздуху к месту назначения.
- 3) При достижении места доставки квадрокоптер исследует поверхность в зоне выгрузки для безопасной посадки, осуществляет посадку отпускает груз, и возвращается на базовый пункт обработки или в другое место для получения следующего груза, подзарядки и т.д.

В случае успешной посадки квадрокоптер может запомнить пройденный маршрут для того, чтобы в случае повторной доставки потратить меньше времени на исследование поверхности в зоне выгрузки и составление наиболее оптимального маршрута.

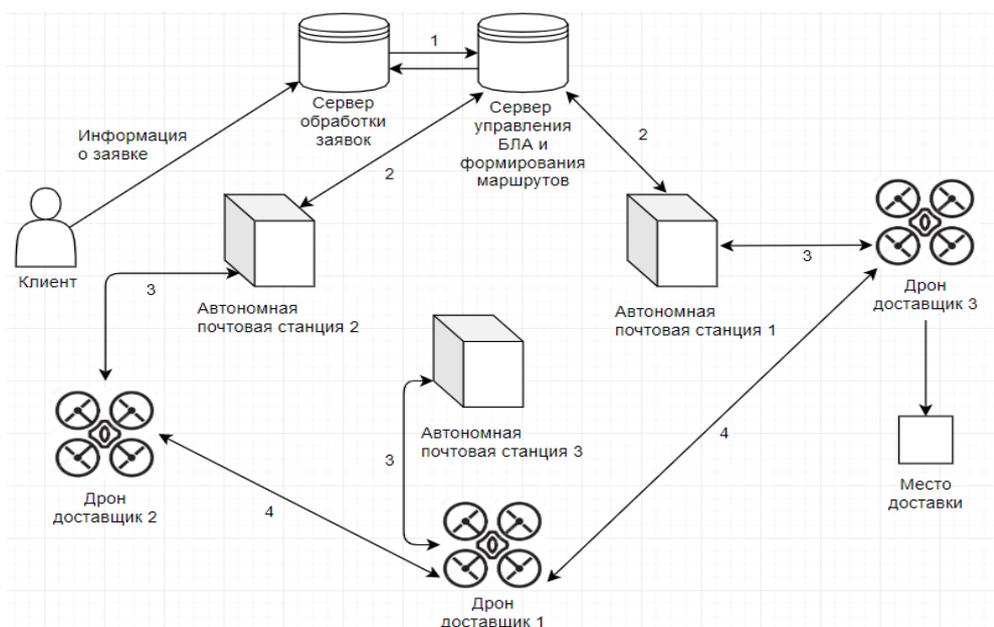


Рис. 1. Схема обработки заявки по доставке груза

### Практическая реализация доставки грузов при помощи дронов в контейнере

Для реализации доставки медикаментов необходимо разработать специальный контейнер, который будет иметь сравнительно небольшую массу и возможность поддерживать поставленный температурный режим в течение заданного времени. Самый рациональный способ для транспортировки такого модуля – транспортировка при помощи квадрокоптера. Квадрокоптер, в отличие от распространенных беспилотников самолётного типа, имеет следующие отличительные преимущества: возможность маневрирования на низких скоростях, возможность зависнуть на месте, возможность вертикального взлёта и посадки, а также отсутствие необходимости наличия специальных взлётно-посадочных установок. Данные преимущества являются ключевыми для осуществления доставки в городской среде, так как во время полёта может потребоваться маневрирование в узких местах между зданиями, а также может быть необходимо совершить точную доставку (к примеру, в здание больницы или к месту чрезвычайного происшествия), осуществить которую беспилотник самолётного типа не в состоянии, так как при достижении заданной точки груз сбрасывается на парашюте.

подавляющее большинство грузов, доставляемых дронами компании Zipline, требуют



поддержания низких температур, что создаёт необходимость использования контейнера, который может это обеспечить. Данная компания использует для доставки таких грузов картонные контейнеры, наполненные сухим льдом. Такой способ имеет следующие существенные недостатки: отсутствие возможности регулирования температуры, что может привести к переохлаждению груза, и выделение большого объёма углекислого газа при таянии сухого льда, который может испортить некоторые доставляемые грузы. Поэтому реализуемым модулем в качестве охлаждающего элемента было решено использовать элементы Пельтье, так как они имеют небольшой размер, и их работа может регулироваться.

Сборка модуля осуществлена на базе одноплатного компьютера RaspberryPi 3 ModelB+. Охлаждение модуля происходит при помощи двух элементов Пельтье, на каждом из которых установлен алюминиевый радиатор и вентилятор для повышения эффективности охлаждения. Данные о температуре поступают в RaspberryPi 3 ModelB+ от датчика температуры, который установлен в грузовом отсеке. Регулировка температуры в грузовом отсеке будет происходить при помощи лопасти, установленной на сервопривод, который управляется при помощи RaspberryPi. У лопасти имеется два крайних положения:

- 1) Нагретый воздух от радиаторов будет отводиться наружу (во время охлаждения);
- 2) Нагретый воздух от радиаторов будет поступать в грузовой отсек если температура в нём опустилась слишком низко.

### Описание электронных компонентов

Электронные компоненты: одноплатный компьютер RaspberryPi 3; элементы Пельтье TEC1-12703 – 2шт; DC-DC преобразователи – 4 шт; сервопривод MG90S – 1шт; вентиляторы – 2шт; датчик температуры DS18B20 – 1шт.

В таблице 1 представлены технические характеристики электронных компонентов [3].

Таблица 1 – Технические характеристики RaspberryPi 3 ModelB+

1	Процессор	64-битный четырёхъядерный ARM Cortex-A53 с тактовой частотой 1,4 ГГц на однокристальном чипе Broadcom BCM2837
2	оперативная память	1ГБ LPDDR2 SDRAM
3	цифровой видеовыход	HDMI
4	композитный выход	3,5 мм (4 pin)
5	USB порты	4× USB 2.0
6	беспроводная сеть	WiFi 2,4/5 ГГц, 802.11n
7	Ethernet	10/100/1000 M6 RJ45
8	Bluetooth	Bluetooth 4.2, Bluetooth Low Energy
9	разъем дисплея	Display Serial Interface (DSI)
10	разъем видеокамеры	MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
11	карта памяти	MicroSD
12	порты ввода-вывода	40
13	габариты	85x56x17 мм

Таблица 2 – Технические характеристики Пельтье TEC1-12703 [4]

1	Рабочее напряжение макс.	15,4В
2	Рабочий ток макс.	3А
3	Внешние размеры	40x40x4,7мм
4	Производительность макс.	38Вт



5	Материал	Al2O3
6	Длина провода	150мм
7	Материал контакта	BiSn
8	Разница температур макс.	68°C
9	Сопротивление	3,2Ом

Таблица 3 – Технические характеристики DC-DC преобразователя

1	Вес	12 г
2	Размер	48*26*13 мм (Д * Ш * В)
3	Диапазон входного напряжения	5,0-25 В
4	Диапазон выходного напряжения	0,5-25 В
5	Непрерывный выходной ток	3А (макс.)
6	Непрерывный входной ток	3А (макс.)
7	Входная/Выходная мощность	30 Вт (макс.)

Таблица 4 – Технические характеристики датчика температуры DS18B20 [5]

1	Диапазон измеряемых температур	-55...+125 °С
2	Точность	±0,5°C (в пределах -10...+85°C)
3	Время получения данных	750 мс при 12-битном разрешении; 94 мс при 9-битном разрешении
4	Напряжение питания	3-5,5 В
5	Потребляемый ток при бездействии	750 нА
6	Потребляемый ток при опросе	1 мА

### Описание конструкции контейнера

Конструкция модуля без электронных компонентов состоит из следующих пяти элементов:

Элемент 1 – грузовой отсек (рисунок 2): объём отсека 1000 см<sup>3</sup>

Элемент 2 – корпус (рисунок 3): имеет 2 гребня по бокам, которые вставляются в пазы грузового отсека при сборке. На корпус устанавливается RaspberryPi, элементы Пельтье, радиаторы и кулеры.

Элемент 3 – крышка: на неё устанавливаются DC-DC преобразователи и сервопривод с лопастью.

Элемент 4 – лопасть: устанавливается на сервопривод. Служит для регулировки направления потока нагретого воздуха.

Элемент 5 – упор: служит для закрепления грузового отсека на корпусе.

Элемент 6 – крышка: служит для защиты электронных компонентов от внешних воздействий.

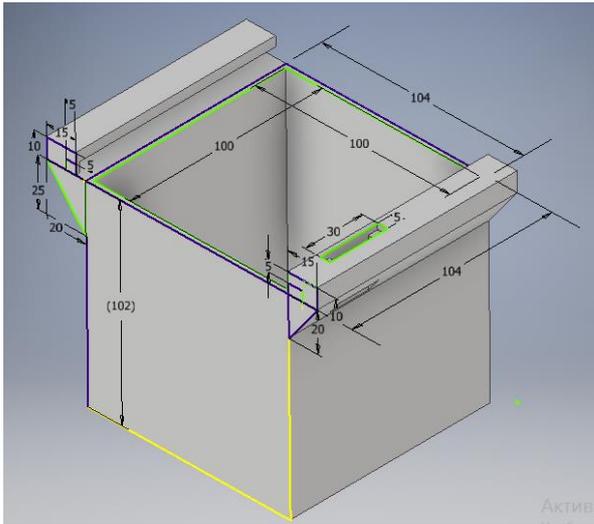


Рис. 2. Грузовой отсек

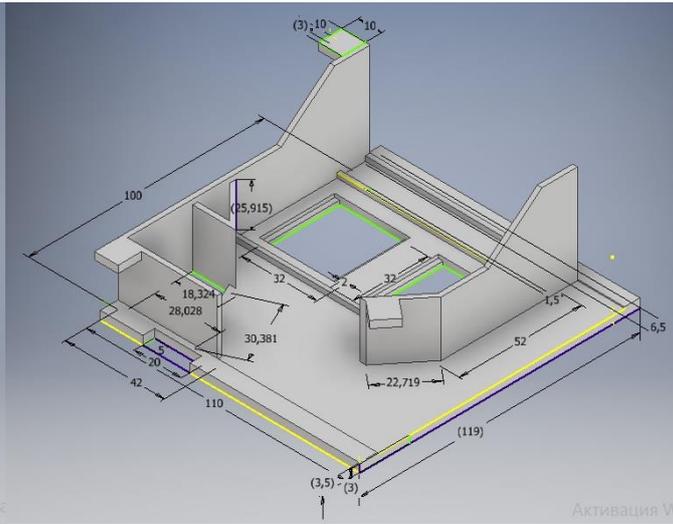


Рис. 3. Корпус

На рисунке 4 представлен собранный вариант контейнера для перевозки грузов.



Рис. 4. Опытный образец контейнера для перевозки грузов

#### Результаты лабораторных испытаний

В рамках лабораторных испытаний были измерены основные показатели работы данного устройства. На рисунках 5 и 6 показаны результаты работы контейнера.

Графики потребления силы тока  $I$ [А] и мощности  $P$ [Вт]:

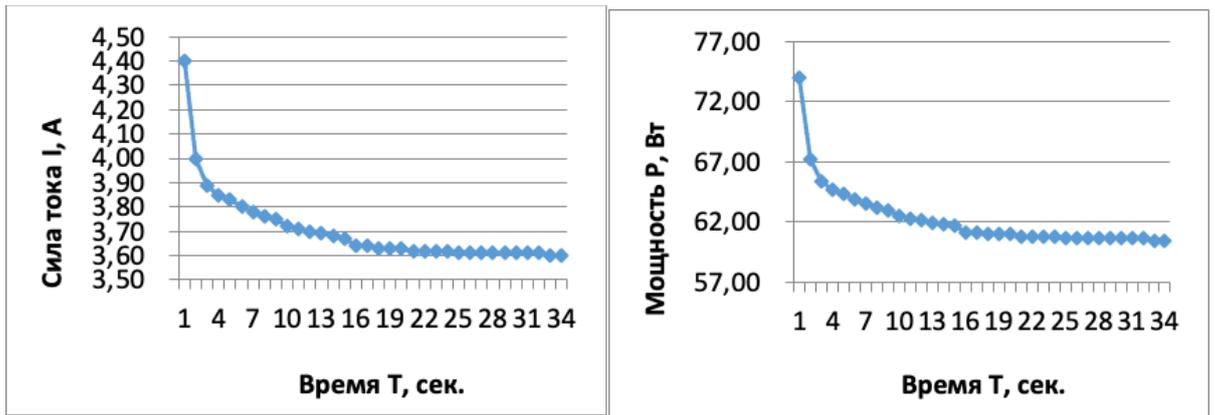


Рис. 5. Графики потребления силы тока  $I$ [А] и мощности  $P$ [Вт]

График изменения температуры  $t$  [°C] охлаждающейся части элемента Пельтье:

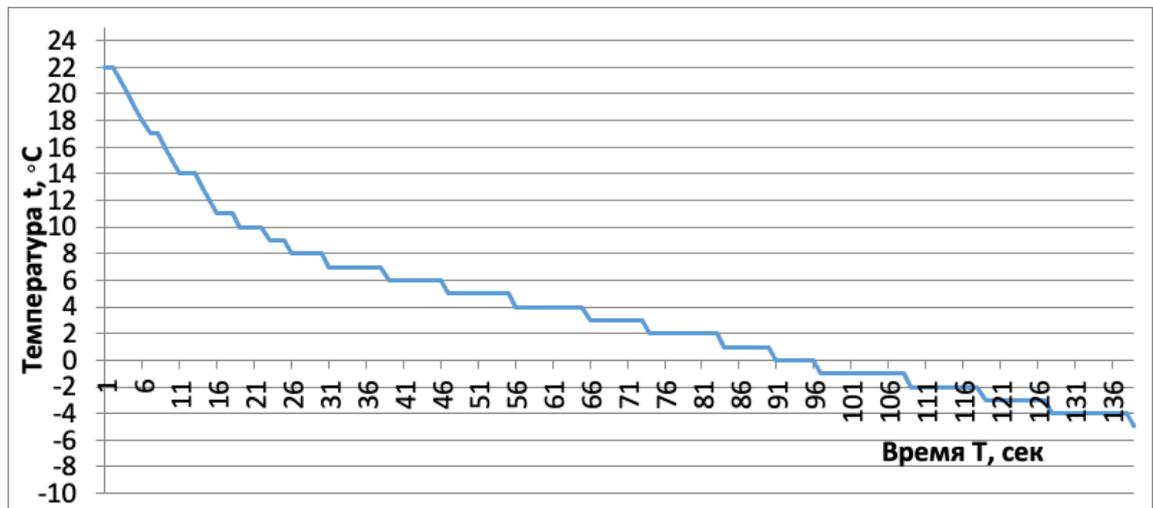


Рис. 6. График изменения температуры  $t$  [°C] охлаждающейся части элемента Пельтье

График изменения температуры в грузовом отсеке при заданной температуре 15°C:

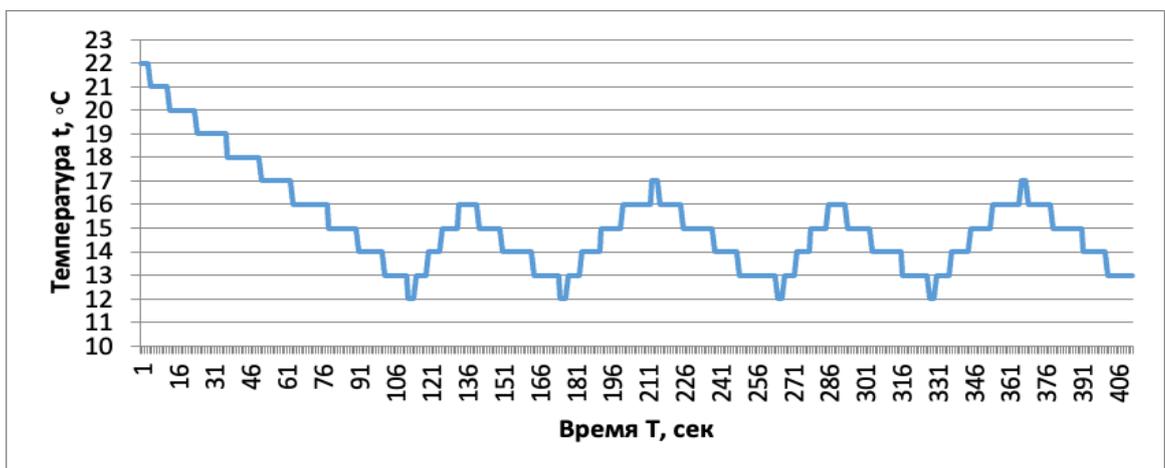


Рис. 7. График изменения температуры в грузовом отсеке при заданной температуре 15°



Формула дисперсии  $D = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$ , где  $n$  – число измерений, а  $\bar{X}$  среднее арифметическое

значение  $n$  измерений. Значение дисперсии: 4,266°С.

Формула среднеквадратического  $S = \sqrt{D}$ . Значение среднеквадратического отклонения: 2,065°С.

### **Заключение**

В рамках разработки контейнера с возможностью задавания определенной внутренней среды для квадрокоптера с целью доставки грузов, был реализован прототип, который выполняет поставленную задачу, имеет возможность программным образом управляться и поддерживать заданную среду оператором.

Однако данный прототип имеет возможность для дальнейших доработок, в частности вместо того, чтобы перераспределять нагретый от радиаторов воздушный поток в отсек с грузом, можно установить программируемое реле, которое позволит включать и выключать элементы Пельтье. Необходимо будет установить термоизоляцию для существенного повышения эффективности. Есть возможность оптимизировать расположение электронных компонентов контейнера, с целью повышения эффективности отвода тепла. В дальнейшем нужно заменить разъем XT60 для питания электронных компонентов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Доставка беспилотниками грузов [Электронный ресурс] // Robo Trends. – URL: <https://bit.ly/2Rcvac1> (дата обращения: 31.03.2021).
2. Ziplinedelivery [Электронный ресурс] // Bloomberg. – URL: <https://flyzipline.com/> (дата обращения: 31.03.2021).
3. Микрокомпьютер RaspberryPi 3 Model B+ [Электронный ресурс] // Amperka. – URL: <https://bit.ly/3w7Rfrg> (дата обращения: 31.03.2021).
4. Герметичный датчик температуры DS18B20 [Электронный ресурс] // Amperka – URL: <https://bit.ly/3fdkSAk> (дата обращения: 31.03.2021).
5. TEC1-12703 [Электронный ресурс] // Transfer Multisor tElektronik Sp. z o.o. – URL: <https://bit.ly/2QiJtvc> (дата обращения: 31.03.2021).

### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Силин Юрий Андреевич** –

бакалавр кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: [foto2001u@mail.ru](mailto:foto2001u@mail.ru)

### **INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Silin Yuri Andreevich** –

bachelor of the Department of System Analysis and Logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: [foto2001u@mail.ru](mailto:foto2001u@mail.ru)