

УДК 621.3

Слехсаренко Михаил Анатольевич, Веревкина Лина Станиславовна

## **КВАДРОКОПТЕР ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ОБЪЕКТОВ**

*Использование дистанционного тепловизионного контроля оборудования при решении задач определения температурных режимов работы оборудования, зданий, занимающего большие объемы в пространстве, при ограниченном доступе и необходимости быстрых измерений. Цель - разработка устройства для дистанционного тепловизионного контроля оборудования и зданий на базе*

*квадрокоптера. Задачи разработать квадрокоптер дистанционного тепловизионного контроля, для получения тепловой картины обследуемого объекта, с цветовой шкалой температуры.*

*Дистанционный, тепловизионный контроль, квадрокоптер, тепловизоры, тепловая картина, цветовая шкала температуры.*

Slyusarenko Mikhail Anatolyevich, Verevkina Lina Stanislavovna

## **QUADCOPTER FOR REMOTE THERMAL IMAGING CONTROL OF EQUIPMENT AND OBJECTS**

*The use of remote thermal imaging control of equipment in solving problems of determining the temperature conditions of equipment, buildings that occupy large volumes in space, with limited access and the need for rapid measurements. The goal is to develop a device for remote thermal imaging control of equipment and buildings based on a quadcopter. Tasks to develop a remote thermal imaging quadcopter to obtain a thermal picture of the object under examination, with a color temperature scale.*

*Remote, thermal imaging control, quadcopter, thermal imagers, thermal pattern, color temperature scale.*

**Введение.** Использование дистанционного тепловизионного контроля электротехнического оборудования при решении задач определения температурных режимов работы оборудования, после возникновения короткого замыкания, ударов молнии, ремонта оборудования, обследование зданий и объектов, занимающих большие объемы в пространстве, при ограниченном доступе и необходимости быстрых измерений. Поэтому разработка устройства для дистанционного тепловизионного контроля электротехнического оборудования на базе квадрокоптера актуальна для настоящего времени.

**Постановка задачи.** Для дистанционного тепловизионного контроля предлагается использовать квадрокоптер, на который устанавливается тепловизионная камера позволяющая строить тепловизионную картину электротехнического оборудования.

**Разработка устройства.** В РФ разработаны нормативные документы, методика определения тепловыделений от электротехнического оборудования, соответствующих стандартам серий ИЕС 60297 И ИЕС [1, 2], а в условиях севера необходима теплоизоляция электротехнического оборудования и разработаны требования к материалам теплоизоляции [3].

Развитие тепловизионной техники с применением дронов позволяют контролировать состояние электротехнического оборудования. Такой подход незаменим при необходимости быстрого обследования больших размеров, протяженных, громоздких или труднодоступных объектов, а также при наличии вредных или опасных для человека факторов среды.

Для дистанционного тепловизионного контроля электротехнического оборудования на базе квадрокоптера разработана структурная схема, приведенная на рис. 1. Дистанционное управление движением квадрокоптера посредством пульта управления.

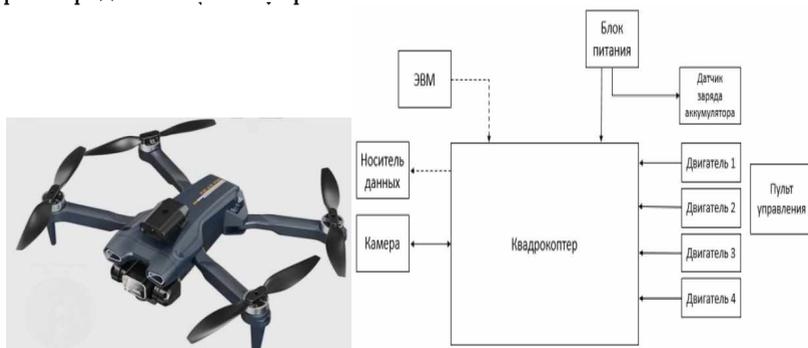


Рис. 1. Структурная схема на базе квадрокоптера A9 PRO для дистанционного тепловизионного контроля электротехнического оборудования

Запись тепловой картины оборудования камерой осуществляется на карты памяти или передается во время обследования. После обследования оборудования, информация с карты памяти загружается в компьютер и строится тепловая картина оборудования в цвете, программное обеспечение позволяет получать цветное изображение в каждой точке картины соответствующее измеренной температуре.

**Реализация структурной схемы.** Выбор дрона для дистанционного тепловизионного контроля электротехнического оборудования выполнен в результате анализа технико-экономических характеристик квадрокоптеров приведенных в табл. 1.

Таблица 1.

Технико-экономические характеристики квадрокоптеров

Наименование, (тип)	Цена, руб	Радиус действия, м	Частота Wi-Fi	Время ра- боты, мин	Макс. ско- рость, км/ч	Передача данных

E99PRO AIRCRAFT	2 192	500	2.4 ГГц	60	20	Трансляция
EVOLUCE	2 933	120	2.4/5 ГГц	15	20	Трансляция
A9 PRO	5 057	150	2.4 ГГц	60	100	Трансляция и карта памяти
BROADREAM FPV	11 946	5000	5 ГГц	60	150	Трансляция и карта памяти
DJI Mini 2 SE	44 602	10000	-	31	56	Карта памяти
FIMI X8 SE V2	59 265	10000	-	35	65	Трансляция на пульт

Из табл. 1 выбирается квадрокоптер A9 PRO (рис. 1), недорогой с временем полета 60 минут и скоростью полета 100км/час, с возможностью трансляции и записи тепловой картины на карту памяти.

В результате анализа технико-экономических характеристик, приведенных в таблице 2 тепловизоров (рис.2), выбран современный тепловизор Fawoony TI (Fawoony Thermal Imager) для контроля температуры оборудования.



Рис. 2. Вид тепловизоров

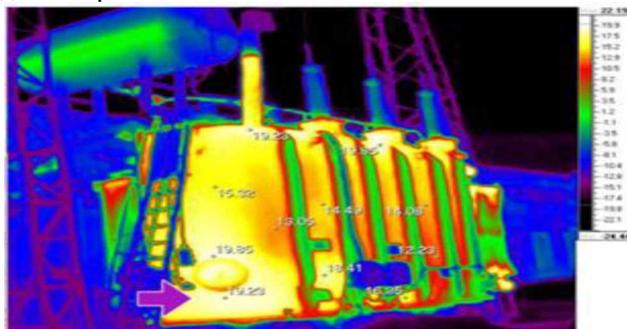
Таблица 2.

Характеристики современных тепловизоров TI (Thermal Imager)

Наименование	Цена, руб	Даль- ность, м	Диапа-зон, °С	Погре- шность °С	Разре- шение	Вес, г
1 Fawoony TI	5 564	-	-20 до 80	3	32*32	11
2 Guide MobiR Air	16 802	200	-20 до 120	5	120*90	18,2
3 P2 PRO	27 506	200	-20 до 600	3	260*195	9
4 T2 PRO	36 278	720	0 до 80	3	256*192	25
5 T3 PRO	78 564	3 200	-20 до 400	2	384*288	40

Устанавливаем тепловизионную камеру Fawoony TI на квадрокоптер типа A9 PRO, который необходимо модифицировать. Модификация заключается в интеграции тепловизионного оборудования в систему квадрокоптера A9 PRO и разработки программного обеспечения (ПО). Для компьютера ПО с учетом конкретной задачи, например, для тепловизионного обследования

ЛЭП или трансформаторных подстанций на предмет дефектов и указания повреждений GPS-маркерами для ремонтной бригады. Управление квадрокоптера A9 PRO осуществляется посредством пульта управления. Примеры полученных результатов компьютерного моделирования тепловых картин электротехнического оборудования в цветах соответствующих шкале температур приведены на рис 3.



*Рис. 3. Тепловая картина электротехнического оборудования в цветах со шкалой температуры*

**Результаты.** В статье определена структура квадрокоптера дистанционного тепловизионного контроля оборудования, предложена ее реализация на базе недорогого квадрокоптера A9 PRO и современного тепловизора типа Fawoonu T1.

**Выводы.** В статье рассмотрен инновационный подход контроля и диагностики состояния и исследования температуры электротехнического оборудования в цветах, соответствующих шкале температур, посредством современных средств тепловизора типа Fawoonu Tetra Imager установленного на недорогой высокотехнический квадрокоптер A9 PRO. Предложенная разработка позволяет быстро и качественно определять температуру оборудования и объектов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 31913-2022 «Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения»
2. ГОСТ Р 56972-2016/IEC/TS 62610-2:2011. Управление температурными режимами шкафов, соответствующих стандартам серий IEC 60297 И IEC 60917

3. РД 22.18-355-89 Методика определения тепловыделений от электротехнического оборудования

**Слюсаренко Михаил Анатольевич**, студент группы РТбо4-40, Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, 864022, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, e-mail: [Msljusarenko@sfedu.ru](mailto:Msljusarenko@sfedu.ru).

**Веревкина Лина Станиславовна**, к.т.н., доцент кафедры электротехники и мехатроники, Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, 864022, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, e-mail: [lverevkina@sfedu.ru](mailto:lverevkina@sfedu.ru).

**Slyusarenko Mikhail Anatolyevich**, student of the RTbo4-40 group, Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, 864022, Taganrog, st. Shevchenko, 2, e-mail: [Msljusarenko@sfedu.ru](mailto:Msljusarenko@sfedu.ru).

**Verevkina Lina Stanislavovna**, Ph.D., Associate Professor, Department of Electrical Engineering and Mechatronics, Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, 864022, Taganrog, st. Shevchenko, 2.