

Региональный конкурс «Большие Вызовы»

«РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ»

Автор: Кореннов Михаил,
МБОУ г. Мурманска, Мурманский политехнический лицей, 10 класс
Руководитель:

Власов Анатолий Борисович,
Д.т.н., профессор кафедры ЭОС
ФГБОУ ВПО «МГТУ»

Мурманск
2020

ОГЛАВЛЕНИЕ	стр
I. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ.....	3
1.1. Проблемы и актуальность исследования.....	3
1.2. Актуальность исследования.....	3
1.3. Предмет исследования.....	3
1.4. Объекты исследования.....	3
1.5. Цели исследования.....	3
1.6. Задачи исследования.....	4
1.7. Краткое описание проведенных исследований.....	4
1.8. Основные научные гипотезы.....	4
1.9. Методы реализации гипотезы.....	4
1.10. Оборудование для реализации гипотезы	4
II. ЛИТЕРАТУРНЫЙ АНАЛИЗ.....	5
2.1. Общие принципы регистрации и контроля температуры	5
2.2 Общие сведения о приборах для дистанционного измерения температур.....	5
2.3. Общие сведения о характеристиках оптических приборов.....	5
III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	7
IV. ВЫВОДЫ.....	8
V. АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ	8
VI. БИБЛИОГРАФИЯ.....	9
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	10
ПЛАН ИССЛЕДОВАНИЯ	16

"РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ"

I. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ТЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

1.1. Проблемы и актуальность исследования

Эксплуатация силовых электроэнергетических установок, в том числе, высоковольтного оборудования (от 6 кВ и выше), невозможно без внедрения средств оперативной оценки технического состояния электрооборудования непосредственно при работе под напряжением.

1.2. Актуальность исследования

Известно широкое применение тепловизоров для оценки технического состояния электрооборудования под напряжением на подстанциях. Этот метод возможен при наличии открытого (визуального) доступа при испытаниях. Во многих случаях современное высоковольтное оборудование заключено в металлические комплектные ячейки (КСО – камеры сборные одностороннего обслуживания (Приложение Рис. 1)) закрытые для блокировки от доступа при работе под напряжением, так что визуальный контроль с применением штатной ИК-камеры исключен.

С другой стороны, применение современного тепловизора стоимостью от 0,5 до 5 млн. рублей на высоковольтных подстанциях производится эпизодически (по графику технического обслуживания), например, 1-2 раза в год, так, что непрерывный контроль фактически не производится.

Для решения проблемы оперативного контроля ответственного электрического оборудования (силовые трансформаторы, выключатели и другое) класса напряжения более 6 кВ необходима разработка датчика – извещателя, который будет непрерывно регистрировать температурный режим конкретного устройства с помощью ИК-микрокамеры, сопряженной с видеокамерой.

1.3 Предметом исследования является проблема диагностики технического состояния оборудования.

1.4. Объектом исследования датчик дистанционного контроля температуры.

1.5. Цели исследования

Целью исследования являлось: создание действующего датчика – извещателя для непрерывного контроля температурного режима электроэнергетических объектов, в том числе, находящихся в замкнутом пространстве, например, комплектных ячейках (шкафах), в которых тепловизионный контроль с помощью стационарных приборов невозможен.

1.6. Задачи исследования

Задачами исследования являлись:

- анализ литературных данных;
- создания датчика дистанционного измерения температуры на основе портативной ИК-камеры;
- разработка программного обеспечения;

1.7. Краткое описание проведенных исследований

В процессе работы создано устройство для непрерывного контроля температуры объекта на основе модулей ИК-камеры, WEB-видеокамеры для захвата реального изображения, микроконтроллера для обработки данных, а также ЭВМ для визуализации полученной информации.

1.8. Основные научные гипотезы

Выдвинута гипотеза о том, что:

- совокупность методов обработки информации и средств контроля позволит создать устройство для дистанционного контроля температуры объектов, в том числе, находящихся в замкнутом пространстве.

1.9. Методы реализации гипотезы

В ходе исследований применялись следующие методы:

- физические, физико-математические;
- оптические;

1.10. Оборудование для реализации гипотезы

В процессе создания датчика использовались WEB-камера, ИК-камера, микроконтроллер, установка для апробирования работы датчика (Приложение Рис. 11, 12).

II. ЛИТЕРАТУРНЫЙ АНАЛИЗ

2.1. Общие принципы регистрации и контроля температуры

Устройства, с помощью которых дистанционно измеряется температура поверхности тел по собственному оптическому (тепловому) излучению, в целом, называются пирометрами и тепловизорами.

В последнее время, пирометрами называются приборы, с помощью которых оценивается локальная температура в выделенной области поверхности.

Пирометры, как правило, выполняются на основе пироэлементов или на основе фотоприемников (фотодиодов), в которых возникает пироэлектрический эффект – появление заряда на диэлектрике при его нагревании ИК-излучением.

Тепловизоры (тепловизионные системы) характеризуются тем, что с их помощью возможно сканирование протяженных поверхностей, тем самым достигается визуализация теплового поля поверхности и его представление в виде термограммы.

2.2. Общие сведения о приборах для дистанционного измерения температур

Пирометры

Пирометры – малогабаритные, относительно дешевые приборы для дистанционного измерения температуры в выбранной области поверхности. Внешний вид пирометра приведен на рис. 1.

Тепловизор

Тепловизор – сложный оптоэлектронный прибор, функцией которого является визуализация теплового поля поверхности, которая попадает в поле зрения тепловизионного приемника, обработка, хранение, передача информации в виде термограмм на ЭВМ со специализированными программами. Внешний вид тепловизора приведен на рис. 2.

2. 3. Общие сведения о характеристиках оптических приборов

Основными техническими параметрами тепловизоров являются: минимально обнаруживаемое превышение температуры; частота смены изображений; формат изображения; поле зрения и другие

Поле зрения и мгновенное поле зрения

Устройство тепловизионного контроля и сопряженная ним видеокамера направлены на исследуемую область электрического оборудования, охватывая определенную площадь пространства (Приложение рис. 3).

При фиксированном угле зрения φ в зависимости от удаления L оборудования от камеры производится анализ области.

ИК-камера фиксирует инфракрасное излучение заданной области формирует цветную карту теплового поля (теплогамму) в пиксельном виде в формате 16х4, где выбранная цветовая гамма связана с интервалом определенных температур (Приложение рис. 4).

Поле зрения FOV (field of view) называется ограниченный плоский угол по вертикали или по горизонтали (Приложение рис. 4).

Поле зрения (иначе, *угол зрения угол обзора, угол зрения, угол визирования, угловое пространство*) определяется размером матрицы приемника.

Значения FOV и IFOV могут быть рассчитаны с учетом экспериментальных данных (Приложение Рис. 9, 8) следующим образом.

Количество горизонтальных пикселей равно 16. В поле зрения (Приложение рис. 9, 8) попадает линейный размер X_1 , равный $X_1 = 17,5$ см. С учетом того, что

$$FOV = X/L \text{ (рад)}$$

имеем:

$$FOV_1 = 17,5/20 = 0,8 \text{ рад} = 53^\circ,$$

Аналогично (Приложение рис. 10) в поле зрения попадает линейный размер X_2 , равный $X_2 = 32$ см, следовательно,

$$FOV_2 = 32/40 = 0,875 \text{ рад} = 45^\circ,$$

Таким образом, значение *FOV* устройства лежит в пределах $45^\circ - 55^\circ$, что соответствует паспортным данным камеры MLX90640.

Мгновенный угол зрения IFOV (instantaneous FOV, IFOVmeag - пространственное разрешение:) определяется отдельными приемными площадками (Приложение рис. 8).

Расчет показывает, что значение *IFOV* равно:

$$IFOV = 1 \text{ см}/20 \text{ см} = 0,05 \text{ рад} = 0,05 \times 57 = 2,8^\circ.$$

Мгновенное поле зрения сканирующего тепловизора определяется фокусным расстоянием объектива тепловизора и размером приемной площадки ИК-приемника.

С учетом полученных данных можно полагать, что при расстоянии $L = 1$ м при мгновенном угле зрения $IFOV = 3^\circ = 0,05$ рад с помощью представленного устройства можно различать объекты с линейными размерами более 5 см. Этого достаточно, чтобы диагностировать перегрев отдельных элементов электрического оборудования: нарушенных контактов, шин, кабельных каналов и т.п. .

III. Экспериментальная часть

Создано устройство на основе модулей ИК-камеры, WEB-видеокамеры для захвата реального изображения, микроконтроллера для обработки данных, а также ЭВМ для визуализации полученной информации.

Устройство тепловизионного контроля и сопряженная с ним видеокамера устанавливаются и направляются на исследуемую область электрического оборудования, в том числе, в замкнутом пространстве КСО (Приложение Рис. 5.), охватывая определенную область с учетом оптических параметров ИК-камеры.

ИК-камера фиксирует инфракрасное излучение заданной области и формирует цветную карту теплового поля (термограмму) в пиксельном виде в формате 16х4, где выбранная цветовая гамма связана с интервалом определенных температур.

Термограмма теплового поля объекта накладывается на видеоизображение исследуемой области, полученное с помощью видеокамеры, так что можно анализировать тепловое состояние отдельных устройств или узлов протяженного электроэнергетического объекта.

Полученная информация обрабатывается с использованием алгоритмов машинного зрения в рамках разработанного программного обеспечения. При этом реализуется наблюдение за распределением температуры в заданной области или конкретном объекте и производится автоматический анализ. Полученные данные сравниваются с эталонными и на основании расхождений выявляются температурные аномалии.

Проведены испытания датчика - извещателя и оценены его основные технические параметры.

Описание разработки

Создано малогабаритное автономное устройство для диагностики технического состояния электрического оборудования.

Общий вид и структурная схема аппаратной части разрабатываемого устройства представлены в приложении на рисунках 6 и 7.

Структурная схема состоит из: модулей WEB-камеры(Logitech 1920x1080) и ИК-камеры(массив пикселей 16х4), соединённых через USB-порт с центральным процессором микроконтроллера. Полученная информация обрабатывается с использованием алгоритмов машинного зрения. При этом реализуется наблюдение за распределением температуры в заданной области или конкретном объекте и производится автоматический анализ. Полученные данные сравниваются с эталонными и на основании расхождений выявляются температурные аномалии, а также строится термограмма в разработанном WEB-приложении (Приложение Рис. 8).

Для апробации работы датчика была создана имитация КСО. В схеме предусмотрено

включение элемента, температура которого возрастает при приложении напряжения (варистор). Таким образом установка позволяет контролировать температуру не только на открытых объектах, но и в закрытом корпусе.

IV. Выводы

В процессе работы создан действующий датчик непрерывного контроля температуры, характеризуемый компактностью, возможностью установки в замкнутом пространстве для оценки теплового состояния устройств непосредственно при работе под напряжением, малой стоимостью по сравнению с промышленными тепловизионными камерами.

Установка датчиков - извещателей на открытых высоковольтных подстанциях, замкнутых распределительных щитах КСО подстанций, современных судов с высоковольтным оборудованием способствует повышению надежности, электро- и пожаробезопасности электроэнергетических объектов.

Рабочий прототип датчика - извещателя получил высокую оценку электроэнергетических компаний, в том числе ПАО РМСК Северо-Запада «Колэнерго», Публичное акционерное общество «Российские сети» (ПАО «Россети») – операторов энергетических сетей в России.

Получены рекомендации для внедрения датчика – извещателя в производство.

V. Апробация работы

Автор представлял различные этапы и результаты работы на английском и русском языках на различных конференциях в г. Мурманске, Москве в период 2015-2018 гг.

Работа была представлена на Студенческой научно-технической конференции в мае 2019 года на русском и английском языках.

VI. Библиография

1. Власов А.Б., Физические основы электроники. Электрофизические методы исследования полупроводников и полупроводниковых приборов. Учебное пособие. - Мурманск. Изд-во МГТУ, 2002 г., 158 с.
2. Борейшо А.С., Ивакин С.В. Лазеры: устройство и действие. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. -304 с
3. Власов А.Б. Модели и методы термографической диагностики объектов энергетики. М., Колос, 2006. -280 с.
4. Гулямов Г., Шарипбаев Н. Ю. Влияние температуры на ширину запрещенной зоны полупроводника // Физическая инженерия поверхности. 2011. Т. 9. № 1. С. 40.
5. Власов А.Б., Кореннов М.М. Способ дистанционного измерения температуры. Патент РФ на изобретение Заявка №2015115848/28(024728), МКП, G01J 5/00 (2006/01), G01J 5/52 (2006/01), G01K 15/00 (2006/01), 2016 г.



Рис. 1. Внешний вид пирометра



Рис. 2. Общий вид тепловизора

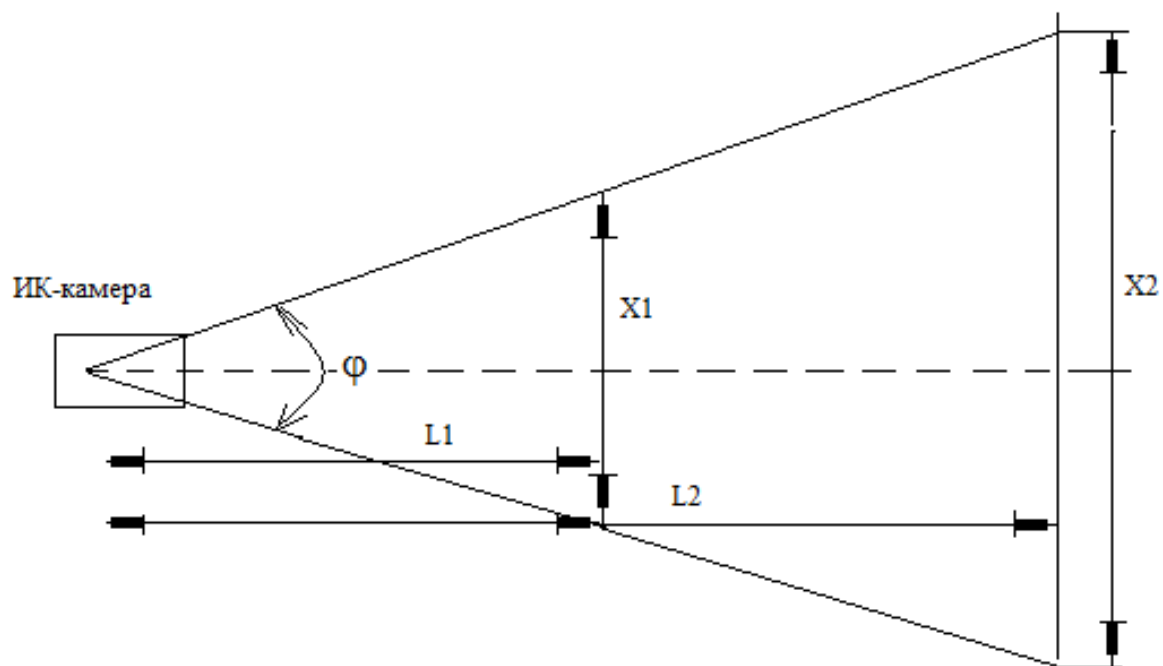


Рис. 3. Поле зрения ИК камеры устройства

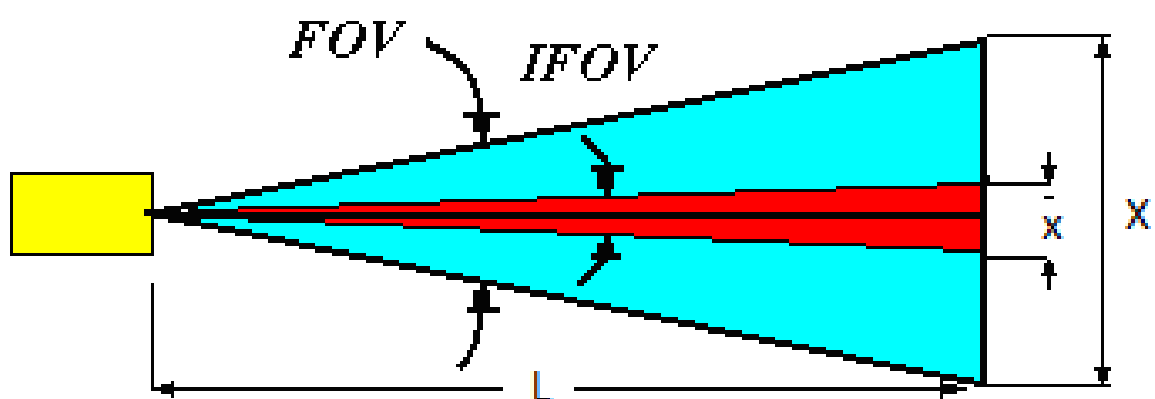


Рис.4. Поле зрения (FOV) и мгновенное поле зрения (IFOV) прибора



Рис. 5. Камера сборная одностороннего обслуживания

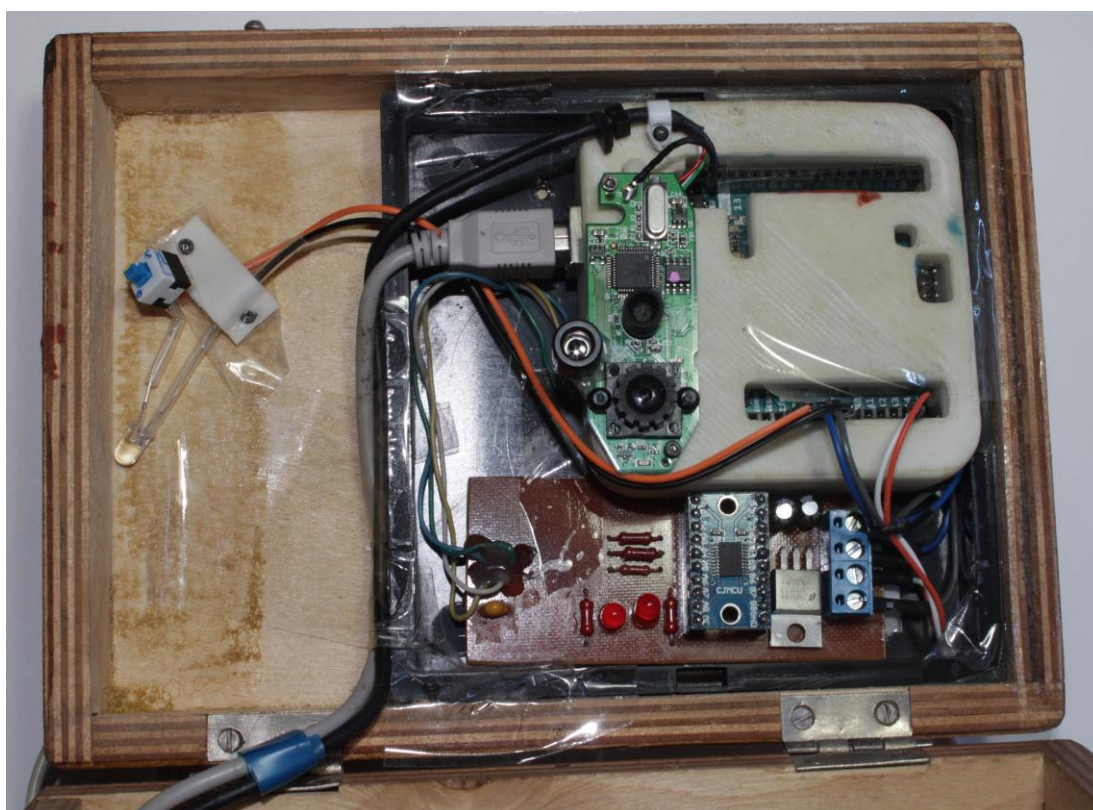


Рис. 6. Общий вид установки

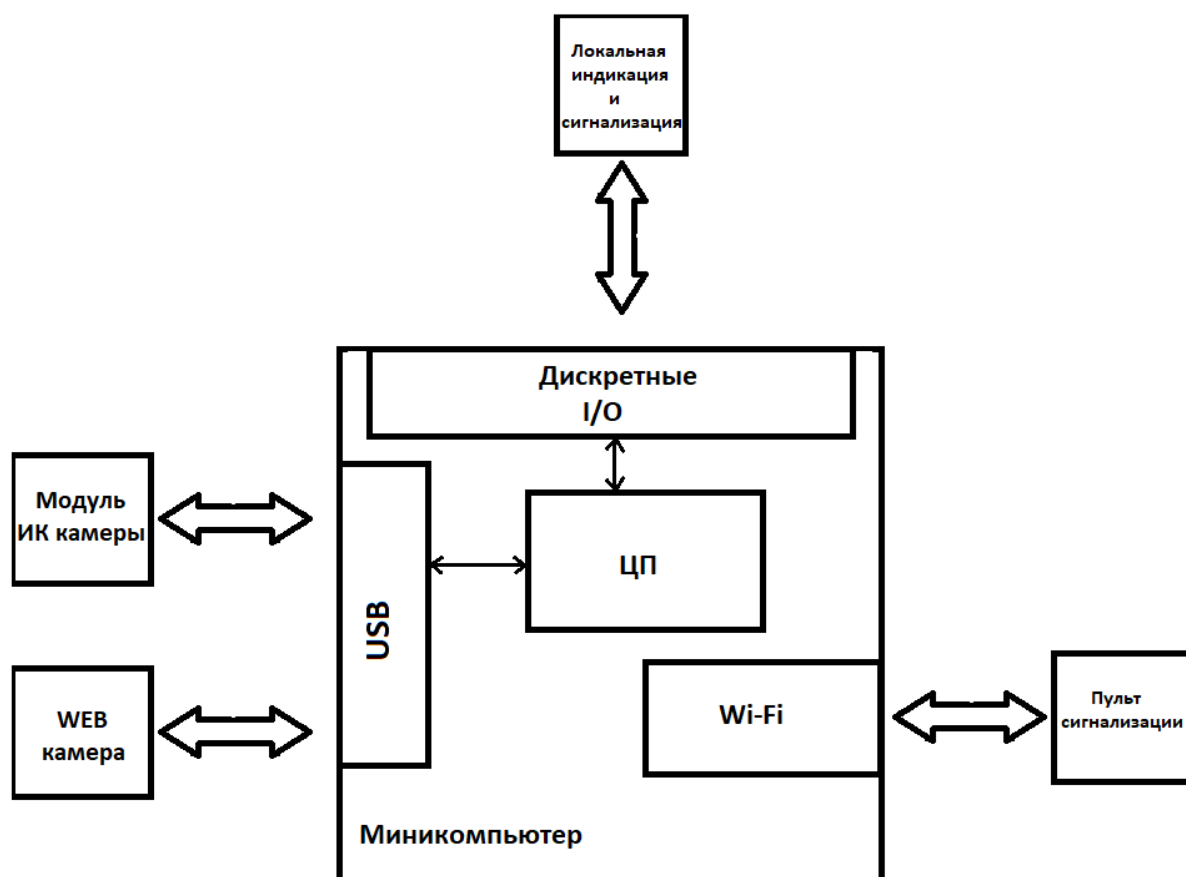


Рис. 7. Структурная схема установки

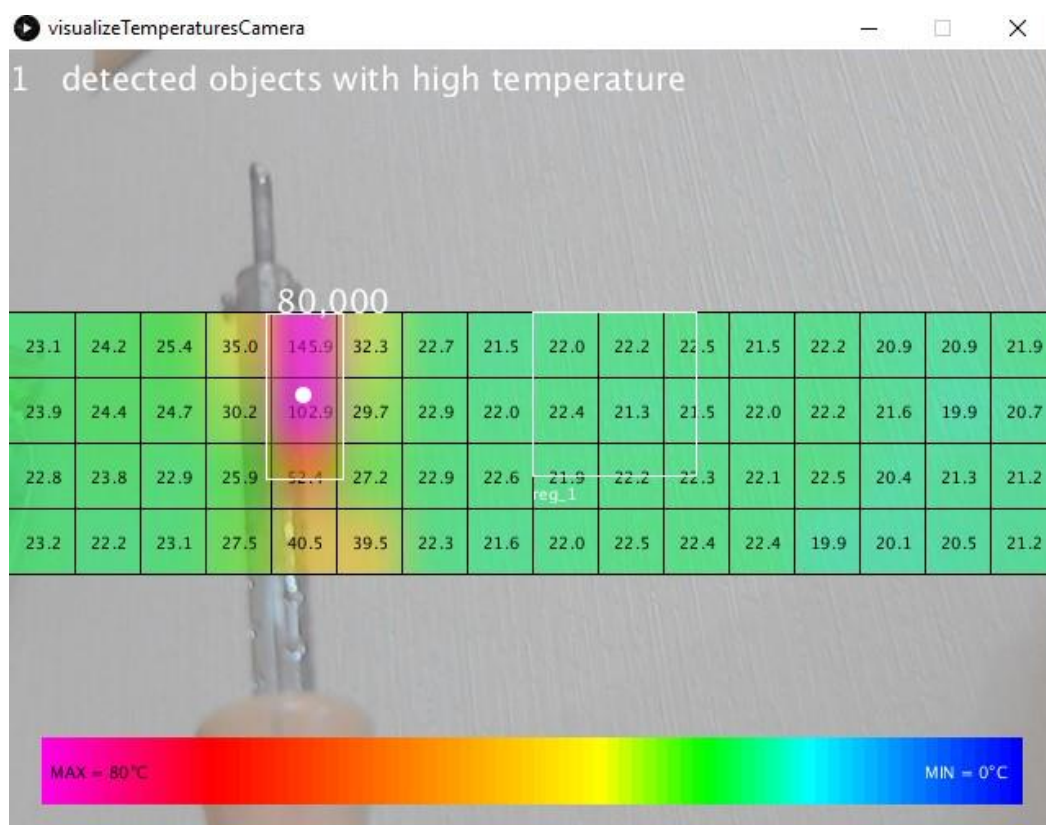


Рис. 8. Теплограмма нагретого объекта ($x_{11} = 1$ см; $L_1 = 20$ см)

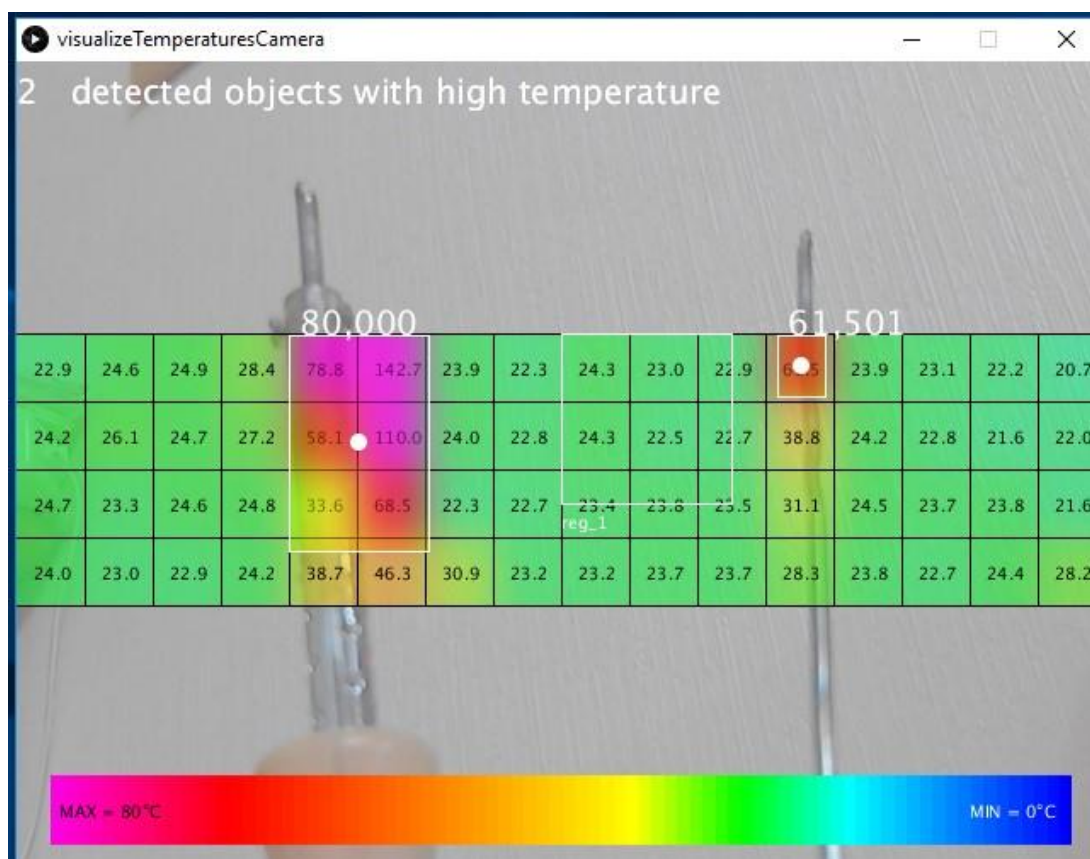


Рис. 9. Термограмма двух нагретых объектов ($x_{11} = 1\text{ см}$; $x_{12} = 0,3\text{ см}$, $L = 20\text{ см}$)

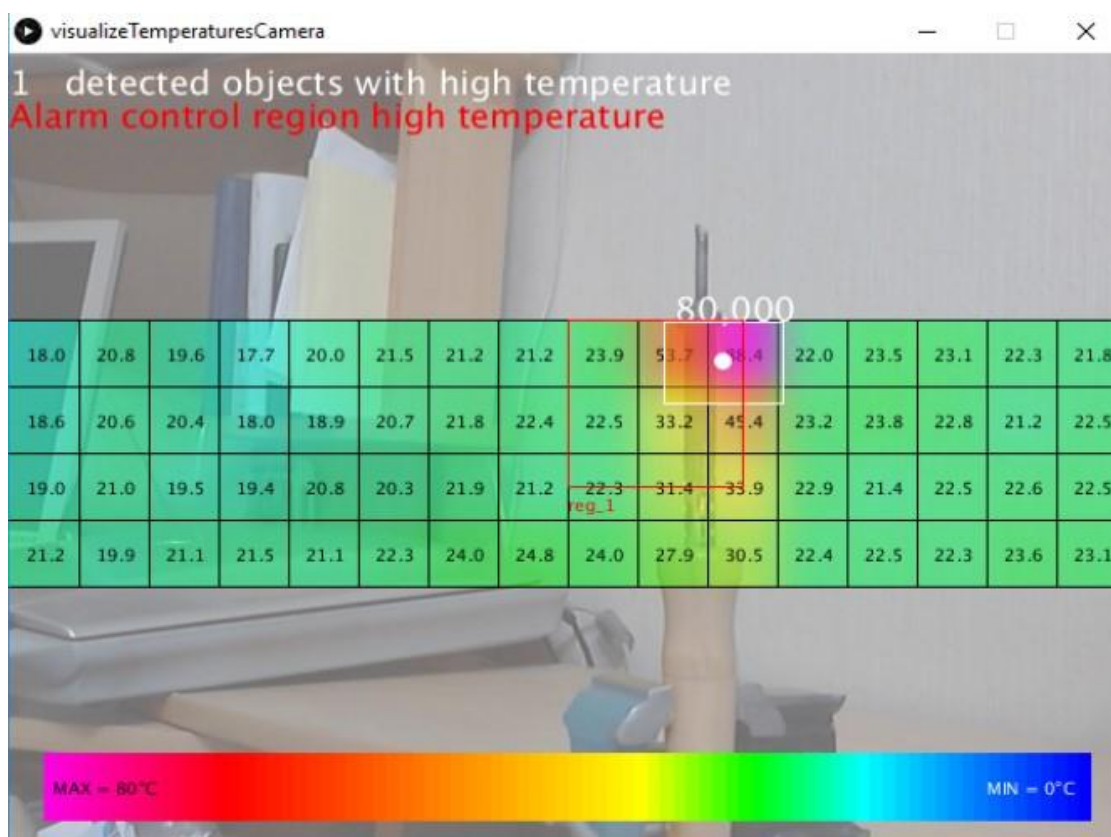
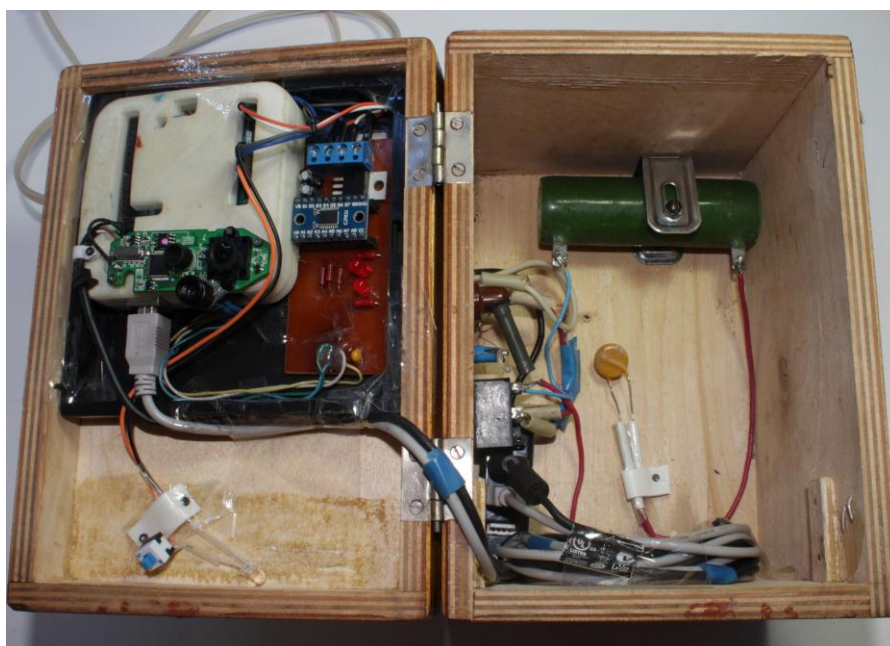


Рис. 10. Теплограмма нагретого объекта ($x_{21}=1\text{ см}$; $L_2=40\text{ см}$)



А)



Б)

Рис.11. Внешний вид установки для апробации датчика

А)Вид спереди; Б) Вид сверху

ПЛАН ИССЛЕДОВАНИЙ

Основные мероприятия	Сроки
Продолжение исследований. Изучение теоретического материала.	январь 2019
Работа с ИК-камерой. Разработка программного обеспечения.	Февраль-март 2019
Выступление на Студенческой научно-технической конференции.	Апрель 2019
Продолжение исследований	Апрель 2019
Работа с установкой. Изучение теоретического материала.	Май-июль 2019
Подготовка к конференции	Август 2019
Выступление на городской конференции	Сентябрь 2019