

**ПРОБЛЕМАТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННОГО
КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ
ОБОРУДОВАНИЯ**

Автор: Морева Екатерина,

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 ТЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ.....	3
1.1. Проблемы и актуальность исследования.....	3
1.2. Предмет и объект исследования.....	3
1.3. Гипотеза исследования.....	3
1.4. Цель исследования.....	3
1.5. Задачи исследования.....	3
II. ЛИТЕРАТУРНЫЙ АНАЛИЗ.....	4
2.1. Тепловизионные приборы и физические принципы их работы	4
2.2 Факторы, влияющие на измерение температуры с помощью тепловизионных приборов	5
III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	7
IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	14
VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	15
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	15
ПЛАН ИССЛЕДОВАНИЯ	18

ПРОБЛЕМАТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

I. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ТЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

1.1 Проблемы и актуальность исследования Актуальным является контроль работоспособности теплового и электрического оборудования посредством тепловизионной техники. Работа подобных приборов связана с регистрацией инфракрасного излучения от объектов, температура которых выше 0 К. В связи с этим существуют многочисленные проблемы тепловизионного контроля, связанные не только с регистрацией ИК- излучения, проходящего через различные среды, но и со свойствами излучающих тел.

1.2 Предмет и объект исследования

Однако, тепловизионная техника и измерение температуры с ее помощью имеет ряд особенностей, которые нужно учитывать в анализе результатов. Таким образом, предметом исследования является температура и ее измерение, а объектом – проблематика измерения температуры с помощью тепловизионной техники.

1.3 Гипотеза исследования:

Гипотеза: реальная оценка результатов тепловизионного обследования связана с учетом многочисленных физических факторов, которые определяются объектом излучения, средой распространения ИК излучения, оптическими характеристиками приборов и т.п.

1.4 Цель исследования

Целью исследования являлось выявление физических параметров, влияющих на результаты тепловизионных испытаний;

1.5 Задачи исследования

Задачами исследования являлись:

1. Изучение материалов о температуре, тепловизионной диагностике, оптических пирометрах, тепловизорах, проблематике измерения температуры ;
2. Проведение лабораторных работ с помощью пирометра и тепловизора;
3. Анализ полученных результатов.

II. ЛИТЕРАТУРНЫЙ АНАЛИЗ

2.1 Тепловизионные приборы и физические принципы их работы

Пирометрами (рис.1, см. Приложение) называются малогабаритные приборы для дистанционного измерения температуры в выбранной области поверхности. Измерение температуры происходит в момент нажатия спускового устройства.

Пирометры, спектральная чувствительность которых охватывает широкую область спектра (при фиксированной температуре используемое излучение составляет не менее 90% полного излучения), называют пирометрами полного излучения. Пирометры, принцип действия которых основан на измерении плотностей излучения двух или более длин волн и определении отношения этих плотностей, называют пирометрами неполного спектра.

Тепловизор (рис.2, см. Приложение) – сложный оптоэлектрический прибор, функцией которого является визуализация теплового поля поверхности, которая попадает в поле зрения тепловизионного приемника, обработка, хранение, передача информации в виде термограмм. С помощью тепловизора производится анализ температуры всей поверхности.

Тепловизионные приборы работают в области (ИК) спектрального диапазона оптического излучения. На коротковолновом конце этого диапазона находится граница, лежащая на пределе зрительного восприятия (темно-красный цвет). На длинноволновом конце диапазон сливается с радиоволнами миллиметрового диапазона. ИК-диапазон включает четыре диапазона: ближний (0,75-3 мкм), средний (до 6 мкм), дальний (до 15 мкм), крайний (до 1 мм).

Электромагнитное излучение может осуществляться за счет различных видов энергии. Самым распространенным видом является тепловое излучение, совершаемое за счет внутренней энергии тел (теплового движения атомов и молекул вещества) при температуре выше 0 К и характеризующееся непрерывным спектром, в котором при низких температурах доминирует невидимое (глазом человека) инфракрасное излучение. При возрастании

температуры выше 525°C нагретые тела начинают излучать видимые волны.

Измеряя температуру тела методом оптической пирометрии, можно определить истинную температуру $T_{\text{и}}$ нагретого тела лишь с некоторой степенью точности.

2.2 Факторы, влияющие на измерение температуры с помощью тепловизионных приборов

Поскольку тепловизионные приборы оценивают температуру тела в выбранной области поверхности, то на оценку может повлиять следующее:

- калибровка измерительной аппаратуры;
- коэффициент излучательности поверхности объекта;
- оптические характеристики и настройка аппаратуры (фокус, ракурс, палитра и т.п.);
- особенности структуры и геометрии поверхности (зазоры, щели, полости, шероховатости, отверстия и т.п.);
- размер объекта, мгновенное поле зрения тепловизора;
- тепловое отражение от окружающих объектов (тепловой фон);
- наведенное тепло от окружающих объектов;
- конвекция (в жидкостях, в газах и вертикальных слоях);
- солнечное излучение (учет спектрального диапазона);
- ветер, потоки воздуха;
- метеоусловия, удаленность объекта.

Также важно учитывать характеристики самого прибора. Так, при работе с точечными пирометрами важнейшим параметром является коэффициент визирования K , равный отношению диаметра (стороны) L поля зрения (пятна контроля) к расстоянию H до объекта:

$$K=L/H$$

Показатель визирования K инфракрасного пирометра есть величина, определенная для данной модели.

Каждое тело является как излучателем (источником), так и приемником излучения, падающего на него со стороны окружающих объектов. В связи с этим необходимо учитывать *излучательные* и *поглощательные* спектральные характеристики тела. Коэффициентом излучательности тела называется отношение яркости излучения тела к яркости излучения абсолютно чёрного тела при одинаковой температуре. *Спектральный коэффициент поглощения* (*поглощательная способность*) определяется отношением потока излучения, поглощенного телом, к падающему потоку излучения. Таким образом, абсолютно черным телом (АЧТ) называется объект, который полностью поглощает все падающее излучение, независимо от его направления, спектрального состава, ничего не отражая и не пропуская через себя.

При комнатной температуре АЧТ будет казаться черным. Однако, вывод о том, что АЧТ "ничего не излучает", поскольку глазу человека представляется "черным" объектом, является неправильным. Все тела излучают электромагнитные волны, если их температура выше нуля по Кельвину. При комнатных температурах ($T \approx 300 \text{ K}$) АЧТ излучает невидимое глазу инфракрасное излучение, и только при повышенных температурах часть излучения приходится на визуально видимый диапазон электромагнитных волн (рис.3, см Приложение).

Реальные объекты не обладают характеристиками АЧТ, у которого значение коэффициента поглощения 1 во всем диапазоне электромагнитных волн, но могут иметь подобные параметры в узком спектральном диапазоне. Например, при комнатной температуре для сажи в видимом диапазоне величина коэффициента равна 0,99, поэтому сажа, облучаемая белым светом, кажется нам черным телом.

При работе с точечным пирометром следует избегать термографирования неокрашенных блестящих поверхностей металлов. При наличии ближайших нагретых объектов, в том числе оператора, на

поверхности анализируемого устройства будут возникать блики (ложные сигналы), регистрируемые на теплограммах и ошибочно воспринимаемые как локальный источник нагрева. Таким образом, важнейшую роль играет коэффициент излучательности, который зависит от свойств поверхности излучателя.

III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Эксперимент 1

В работе использовались пирометр и тепловизор типа «ТЕСТО».

В ходе исследования была проведена работа, в которой проведен анализ параметров точечного пирометра и оценка их влияния на измерение температуры объектов.

В лабораторной работе пирометром фиксировалась температура жала паяльника, в зависимости от координаты пятна контроля относительно жала паяльника (жало было закреплено в точке $X=0$) на трех расстояниях между жалом и пирометром: $H_1 = 25$ см, $H_2 = 50$ см, $H_3 = 125$ см. Максимальная температура T_m жала в точке с координатой $X=0$. В дальнейшем жало смещалось по оси OX для каждого расстояния H до тех пор, пока фиксируемая температура не становилась равной температуре окружающей среды:

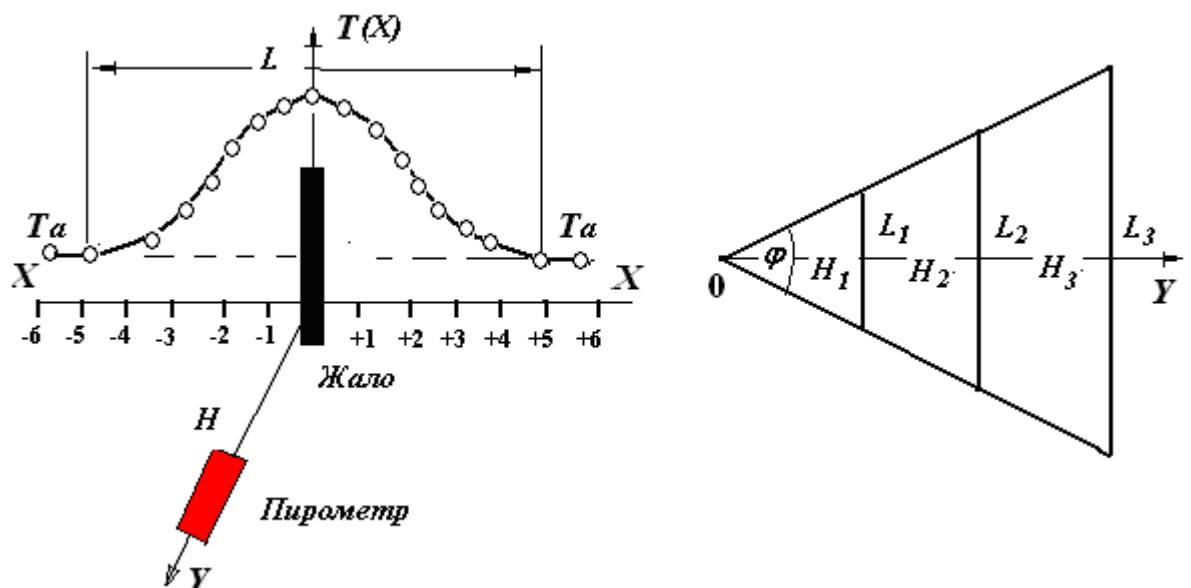


Рис. 4.

На основании проведенного эксперимента были построены графики зависимости температуры от координаты смещения жала паяльника относительно пятна контроля пирометра:

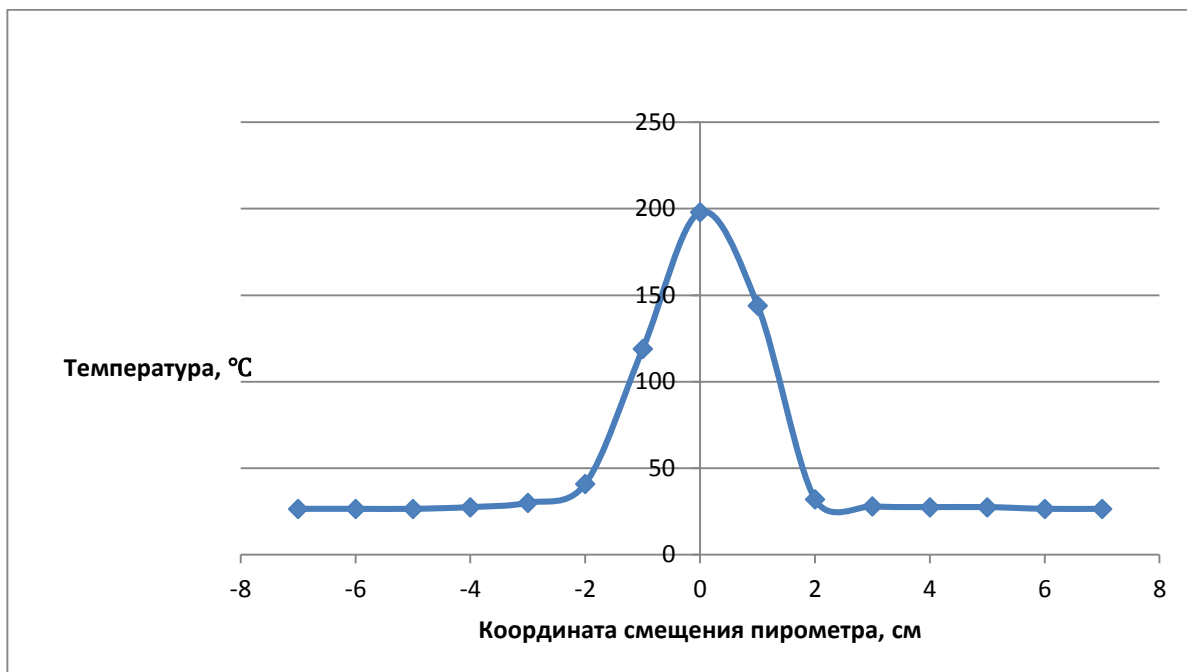


Рис. 5. Зависимость температуры, регистрируемой пирометром, от смещения пирометра по оси OX на расстоянии $H_1=25$ см от жала паяльника

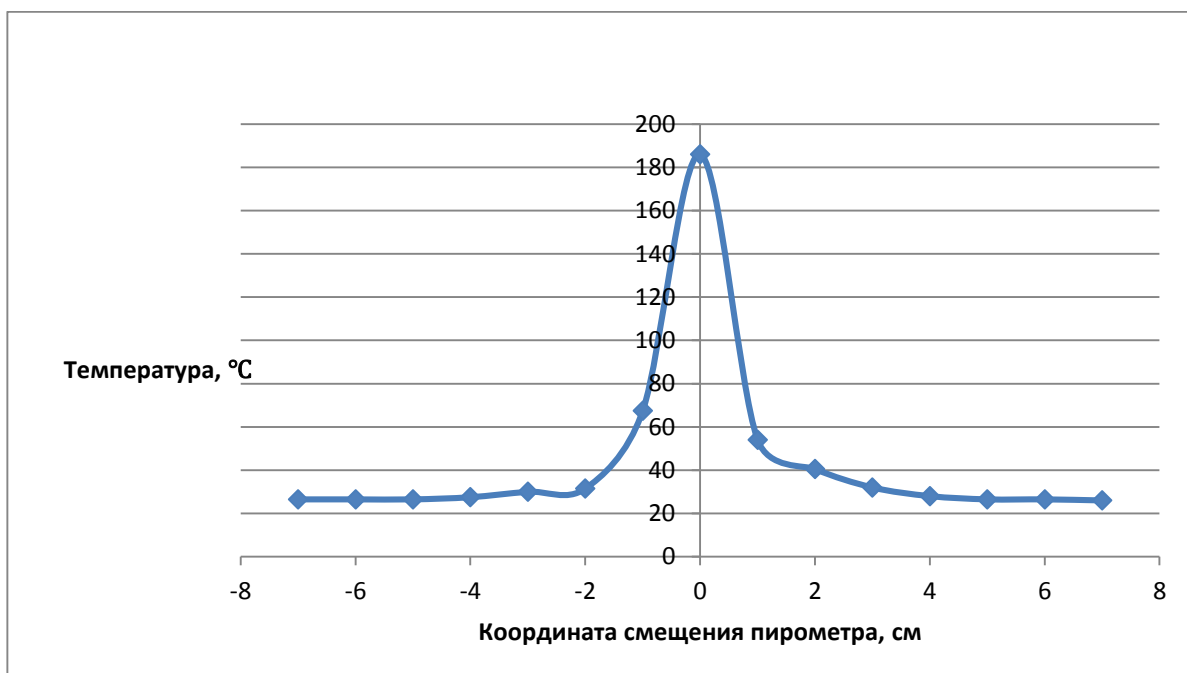


Рис. 6. Зависимость температуры, регистрируемой пирометром, от смещения пирометра по оси OX на расстоянии $H_1=50$ см от жала паяльника

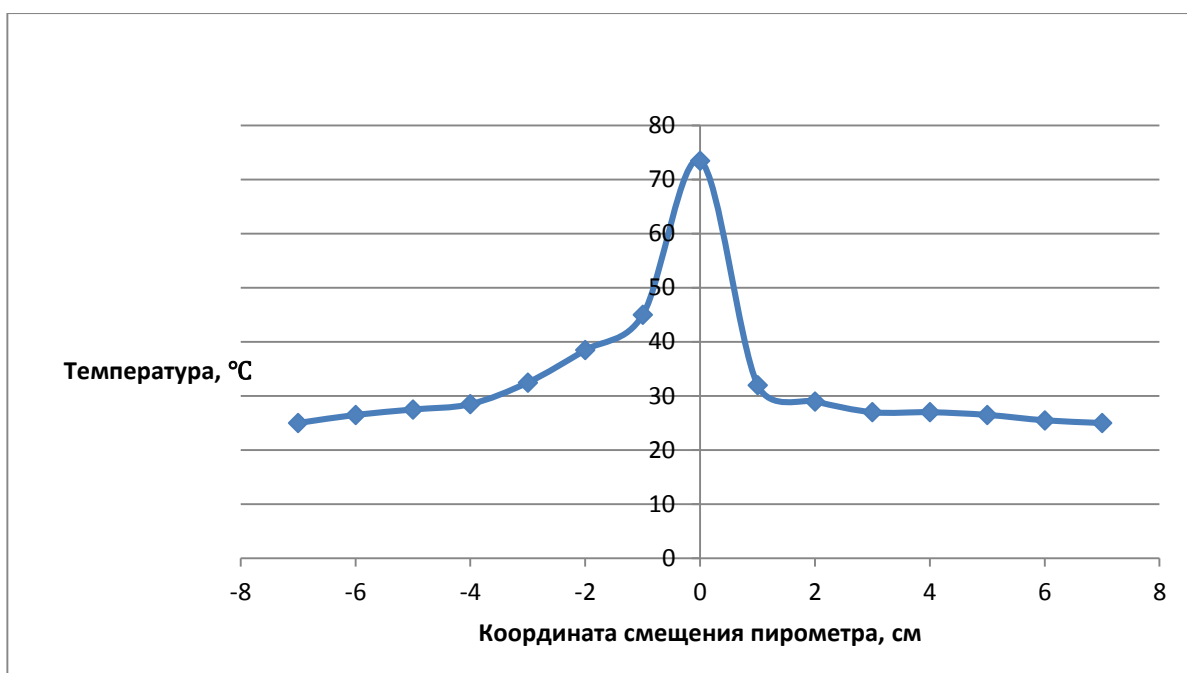


Рис. 7. Зависимость температуры, регистрируемой пирометром, от смещения пирометра по оси ОХ на расстоянии Н1=125 см от жала паяльника

Более точные результаты представлены в таблице:

Н1 = 25 см				Н2 = 50 см				Н3 = 125 см			
+х	T(+х)	-х	T(-х)	+х	T(+х)	-х	T(-х)	+х	T(+х)	-х	T(-х)
0	198	0	198	0	186	0	186	0	73,5	0	73,5
1	144	1	119	1	54	1	67,5	1	32	1	45
2	32	2	41	2	40,5	2	31,5	2	29	2	38,5
3	28	3	30	3	32	3	30	3	27	3	32,5
4	27,5	4	27,5	4	28	4	27,5	4	27	4	28,5
5	27,5	5	26,5	5	26,5	5	26,5	5	26,5	5	27,5
6	26,5	6	26,5	6	26,5	6	26,5	6	25,5	6	26,5
7	26,5	7	26,5	7	26	7	26,5	7	25,5	7	25
L1=8				L2=10				L3=14			
K1=0,32				K2=0,2				K3=0,112			

Таблица 1. Результаты эксперимента по определению поля зрения пирометра

$$K_{cp} = 0,21$$

Примерное значение телесного угла теплового поля γ для Н2:

$$\gamma = \arctan 0.1$$

$$\gamma = 5.7^\circ$$

Вывод: в ходе эксперимента получены качественные характеристики пирометра, выявлена корреляция между расстоянием от объекта и пирометра и температурой, регистрируемой пирометром.

Эксперимент 2

В ходе второго эксперимента устанавливалась зависимость температуры тела от коэффициента излучения.

В ходе эксперимента производились замеры температуры алюминиевого сосуда, наполненного кипятком, с помощью тепловизора. Для каждой эталонной поверхности коэффициент излучения равен примерно 1 (0,94) производился замер температуры, принимаемой за истинную температуру тела. Далее производился замер температуры тела на блестящей (неокрашенной) поверхности с тем же коэффициентом. Затем вручную выставлялся коэффициент излучения для поверхности тела, при котором температура алюминия равна истинной температуре.

Поверхность 1 (бумажный скотч):

Е поверхности	t истинная пов. тела	t алюминия с $\varepsilon=1$	ε выставленное
0,94	77	33	0,14
0,94	72	31,2	0,16
0,94	70	31	0,17
0,94	68,5	30	0,17
0,94	65	30	0,16

Таблица 2

Е_{ср} для пов. тела 1 = 0,16

Поверхность 2 (изолента):

Е поверхности	t истинная пов. тела	t алюминия с $\varepsilon=1$	ε выставленное
0,94	58	29,5	0,12

0,94	56	29	0,13
0,94	55	28,5	0,12
0,94	53,5	28,3	0,12
0,94	53	28	0,13

Таблица 3

Еср для пов.тела 2 = 0,124

Поверхность 3 (покращенная поверхность алюминия):

Е поверхности	t истинная пов. тела	t алюминия с $\varepsilon=1$	ε выставленное
0,94	50	27	0,1
0,94	49	26,8	0,11
0,94	48	28	0,13
0,94	47,5	27,5	0,13
0,94	47	26	0,13

Таблица 4

Еср для пов.тела 3 = 0,12

Еср пов.тела = 0,135

Вывод : при работе с конкретным материалом важно учитывать коэффициент излучения поверхности материала. Данные, полученные без учета коэффициента могут значительно исказить результаты проделанной работы.

Эксперимент 3

В ходе третьего эксперимента было проанализировано влияние величины тока на нагрев проводниковых материалов с помощью установки (Рис. 8, см Приложение).

Сила тока, проходящего через 7 резистор регулировалась посредством последовательного переключения положения переключателя П:

Значения сопротивления резисторов R_i (Ом)						
R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7

1006	501	509	490	489	524	1056
Токи I _i (мА) при положениях переключателя П						
I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	
48	61	71	86	106	139	

Таблица 5

$$I = U / (R_1 + \dots + R_i)$$

По мере увеличения силы тока происходит повышение температуры резистора R₇. Температура резистора фиксировалась тепловизором (t_{эксп}) и пирометром (t_{пир}). Далее был проведен перерасчет температур по формуле

$$t_{расч} = (I_m / I_{эксп})^2 * \Delta t_{эксп} :$$

N	I, мА	U _c = 220 В; t ₀ =23,5 °С; E = 0,94			Прогнозирование на повышенный ток по соотношению: t _{расч} = (I _m /I _{эксп}) ² * Δ t _{эксп}									
		t _{экс}	t _{пир}	Δ	I ₁ на I ₂ -I ₆		I ₂ на I ₃ -I ₆		I ₃ на I ₄ -I ₆		I ₄ на I ₅ -I ₆		I ₅ на I ₆	
		t _{экс} , °С	t _{пир} , °С	Δ t _{эксп} , °С	t _{расч}	δ, %	t _{расч}	δ, %	t _{расч}	δ, %	t _{расч}	δ, %	t _{расч}	δ, %
1	48	82	28	58.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	61	113	32	89.5	94.5	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-
3	71	132	36.5	108.5	128	18	121	11.5	-	-	-	-	-	-
4	86	172	49	148.5	187.8	26	177.9	20	159	7	-	-	-	-
5	106	230	51	206.5	285	28	270	30	241.8	17	225.6	9	-	-
6	139	337	87.5	313.5	490	56.3	464.7	48.2	415.9	32.6	387.9	24	355	13.5

Таблица 6

$$\Delta t_{эксп} = t_{эксп} - 23.5 \text{ °С}$$

Вывод: в ходе проделанного эксперимента было доказано, что температура резистора повышается при увеличении силы проходящего тока. Также перерасчет температуры как возможность предусмотреть качество следующего повышения возможен только в диапазоне ближайших значений силы тока, т.к. при перерасчете температуры на более высокие показатели возрастает погрешность полученных данных.

Эксперимент 4

В ходе четвертого эксперимента рассматривалась возможность применения тепловизора для обнаружения нагретых элементов и моделирование этого процесса.

Для рассмотрения возможности использования тепловизора для обнаружения нагретых элементов был проведен следующий эксперимент. В емкость, наполненную песком, полностью погружен резистор с протекающим через него током. С помощью тепловизора осуществлялось наблюдение за температурой резистора, далее температура может быть проанализирована на термограммах (Рис. 9, см. Приложение)

Термические (и другие) процессы можно моделировать, учитывая множество характеристик процесса, а также производить расчет температур после построения задачи. Моделирование и визуализация таких процессов может осуществляться с помощью программы Elcut (Рис. 10-11, см. Приложение).

Вывод: с помощью тепловизора возможно зафиксировать температуру элементов объекта, а также определить локализацию источника нагрева, тем самым обнаружить нарушение в работе прибора. Также возможно моделирование термических процессов, что может помочь в определении нормальной температуры объекта при определенных факторах и внешних условиях.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гипотеза поставленная в начале исследования доказана: реальная оценка результатов тепловизионного обследования действительно связана с учетом многочисленных физических факторов, которые определяются объектом излучения, средой распространения ИК излучения, оптическими характеристиками приборов и т.п.

Выводы

1. На этапе предварительных исследований нами получены результаты оптических характеристик пирометра, с помощью которых возможно оценить параметры поля зрения и возможности прибора при испытаниях оборудования;
2. Данные, полученные без учета коэффициента излучения могут значительно исказить результаты проделанной работы, поэтому при работе с тепловизионными приборами нужно учитывать коэффициент излучения конкретного объекта;
3. Температура резистора повышается при увеличении проходящего через него тока;
4. Перерасчет температуры с целью предвидеть следующие показатели может быть произведен с наименьшей погрешностью только на ближайших значениях.
5. Возможно моделирование термических процессов, т.о. возможно предварительно рассмотреть нагревание элементов оборудования и учет температуры в конкретных условиях.

В перспективе работы – создание свода таблиц для определенных приборов с указанием нормальных для работоспособности этих приборов температур в заданных условиях, что может быть актуальным для предприятий с большим количеством оборудования.

Список литературы

1. Власов А. Б., Тепловизионная диагностика электротехнических комплексов и систем. – Мурманск, МГТУ 2019
2. Власов А.Б. Модели и методы термографической диагностики объектов энергетики. М., Колос, 2006. -280 с.

Приложение



Рис.1. пирометр



Рис.2 тепловизор

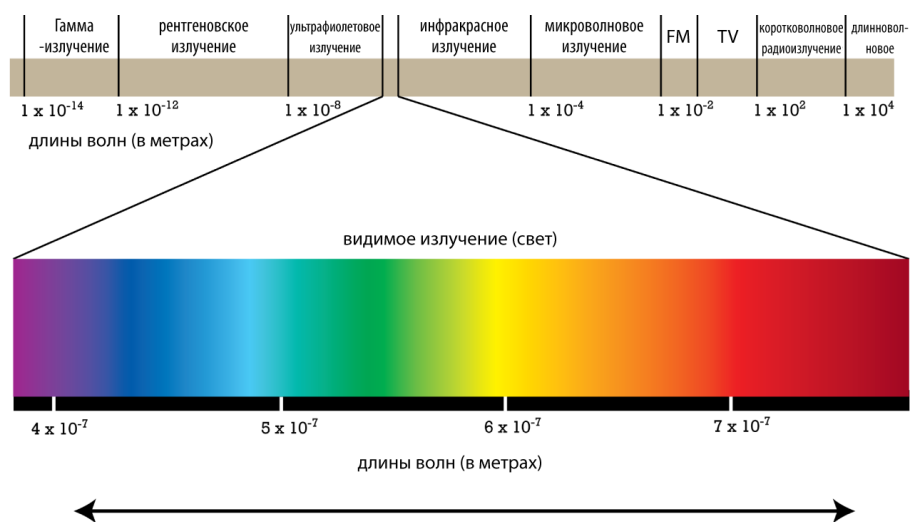


Рис. 3, диапазон волн электромагнитного спектра

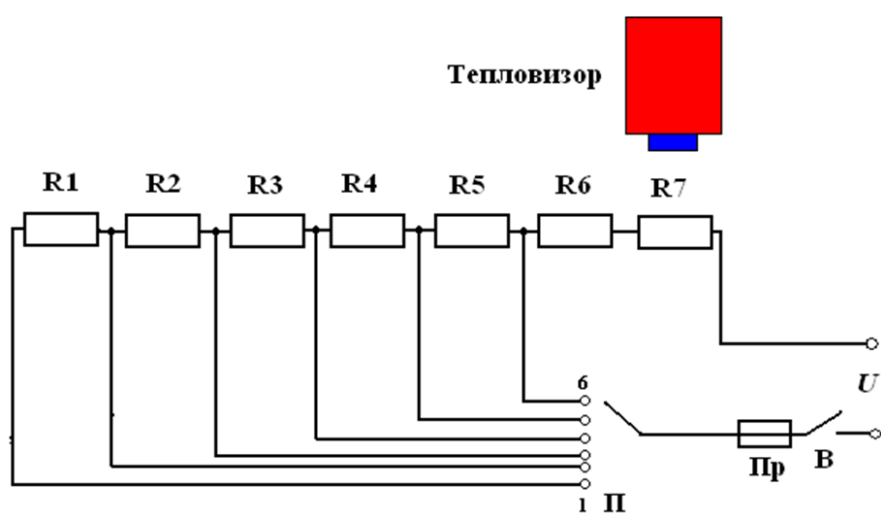


Рис.8 Схема установки

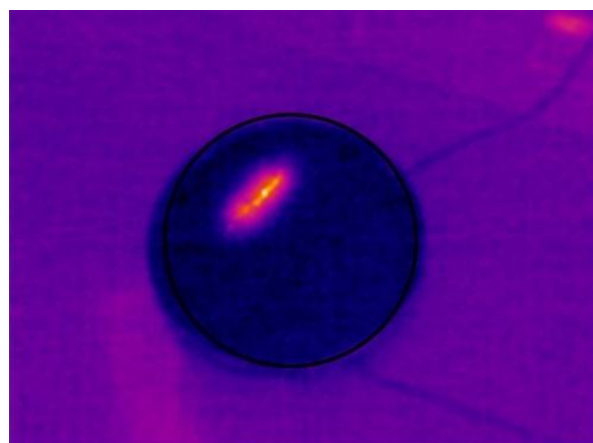


Рис. 9 , термограмма

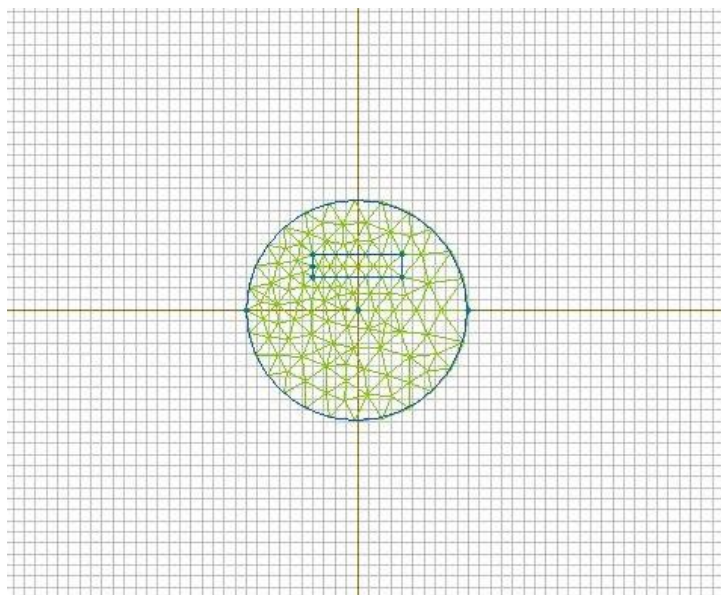


Рис. 10, модель теплового процесса

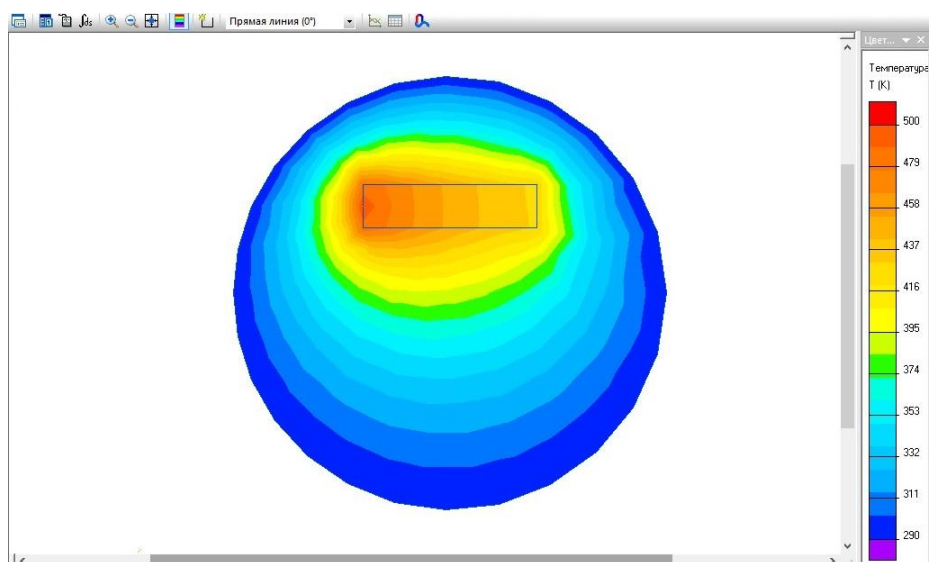


Рис. 11, визуализация теплового процесса

ПЛАН ИССЛЕДОВАНИЙ

Основные мероприятия	Сроки
Начало исследований	Апрель 2019
Проведение лабораторной работы	Апрель 2019
Изучение теоретических материалов по теме	Апрель - май 2019
Продолжение исследований	Сентябрь 2019
Подготовка к конференции	Сентябрь 2019
Выступление на городской конференции	Сентябрь 2019