Министерство образования и науки Российской Федерации

Московский государственный университет
геодезии и картографии

В.Н. Егоров, Д.А. Хабаров

Защита от тепловых излучений

Методические указания
к выполнению лабораторной работы по курсу
«Безопасность жизнедеятельности»

Москва
2017

Рецензенты:
профессор, доктор техн. наук **А.П. Сизов** (МИИГАиК);
профессор, доктор техн. наук **Д.А. Шаповалов** (ГУЗ)

Составители: В.Н. Егоров, Д.А. Хабаров
Защита от тепловых излучений: Методические указания. — М.: МИИГАиК, 2017.— 16 с.

Методические указания разработаны для выполнения студентами лабораторной работы по измерению количества тепла от излучающих поверхностей и оценке эффективности и условий применения защитных средств в учебной аудитории. Материалы также могут быть использованы студентами в курсовом и дипломном проектировании при рассмотрении вопросов оценки вредного воздействия тепловых излучений в быту и на рабочем месте.

Электронная версия методических указаний размещена на сайте библиотеки МИИГАиК http://library.miigaik.ru

Цель работы: изучение методов измерения количества тепла от излучающих поверхностей и оценка эффективности и условий применения защитных средств.

Учебные вопросы: 1. Ознакомление со схемой лабораторной установки и расположением приборов; 2. Измерение интенсивности излучения и температуры мишеней без экранов и измерение интенсивности теплового излучения от различных экранов на тех же расстояниях; 3. Оценка воздействия измеренных значений на человека.

Порядок выполнения лабораторной работы: 1. Ознакомление с основными сведениями о тепловых излучениях и мерах защиты от них; 2. Изучение порядка работы на лабораторном стенде «Тепловые излучения»; 3. Измерение интенсивности излучения и температуры мишеней без экранов и измерение интенсивности теплового излучения от различных экранов на тех же расстояниях; 4. Заполнение соответствующей таблицы на основании полученных данных; 5. Построение графика зависимости интенсивности излучения и температуры в координатах; 6. Предоставление отчетов о результатах выполнения лабораторной работы.

ВВЕДЕНИЕ

Тепловое излучение — это электромагнитное излучение, возникающее за счёт внутренней энергии тела. Имеет сплошной спектр, расположение и интенсивность максимума которого зависят от температуры тела. Тепловым излучением (инфракрасным излучением (ИКИ)) является невидимое электромагнитное излучение с длиной волны от 0,76 до 420 микрометров (мкм), которое обладает световыми и волновыми свойствами [1].

Воздух прозрачен для теплового излучения, именно поэтому при прохождении лучистого тепла через воздух температура ею не повышается. Энергию теплового излучения можно определить по формуле:

$$Q = \frac{0,78\,F\left(\left(\frac{T}{100}\right) - 110\right)}{l^2}\ (\text{Вт/м}^2),$$

где F — площадь излучающей поверхности, м^2;
T — температура излучающей поверхности К;
l — расстояние от излучающей поверхности до объекта, м.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Тепловой обмен организма человека с окружающей средой заключается во взаимосвязи между образованием тепла (термогенезом) в результате жизнедеятельности организма и отдачей им этого тепла во внешнюю среду. Существует, в основном, три способа отдачи тепла: излучение, испарение, конвекция. Передача тепла ИК-излучением является одним из самых мощных из всех способов теплоотдачи и составляет 44–59% общей теплоотдачи в комфортных условиях. Излучение тела человека находится в диапазоне длин волн от 5 до 25 мкм с максимальной энергией, составляющей 9,4 мкм. В производственных условиях, когда работник окружен различными предметами, имеющими определенную температуру, отличную от температуры тела работника, соотношение теплоотдачи способно существенно меняться. Отдача человеческим телом тепла во внешнюю среду возможна только при условии, если температура посторонних предметов ниже температуры тела человека.

В производственных условиях источником ИК-излучения могут быть разливаемый жидкий металл, сварочное пламя, нагретые поверхности слитков, поковок и так далее. Производственные источники тепла и лучистой энергии разделяются на 4 основные группы по характеру излучения: 1) источники с температурой до 500 °С; 2) источники с температурой от 500 до 1200 °С; 3) источники с температурой от 1200 до 2000 °С; 4) источники с температурой от 2000 до 4000 °С [1].

Перечислим основные законы физики инфракрасного излучения.

1. *Закон Кирхгофа* — отношение излучательной способности любого тела к его поглощательной способности одинаково для всех тел при данной температуре для данной частоты и не зависит от их формы и химической природы.

$$f(w,T) = \frac{r(w,T)}{a(w,T)},$$

где $f(w,T)$ — универсальная функция частоты (дли волны) и температуры;

$r(w,T)$ — излучательная способность тела;

$a(w,T)$ — поглощательная способность тела.

2. *Закон Стефана – Больцмана* — светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его температуры.

$$E = \sigma T^4 \text{ (Вт/м}^2\text{)},$$

где E — мощность излучения;

σ — постоянная Стефана – Больцмана, равная $5{,}67032 \cdot 10^{-8}$ Вт·м$^{-2}$·K^{-4};

T — абсолютная температура, К.

Количество тепловой энергии, передаваемое излучением, определяется законом Стефана – Больцмана по формуле:

$$E = C_1 C_2 \sigma \, (T_1^4 - T_2^4),$$

где E — теплоотдача, Вт/м;

C_1 и C_2 — константы излучения с поверхностей;

σ — постоянная Стефана – Больцмана;

T_1 и T_2 — температуры поверхностей (К), между которыми происходит теплообмен излучением.

3. *Закон Вина*

В 1893 году Вильгельм Вин, воспользовавшись, помимо классической термодинамики, электромагнитной теорией света, вывел следующую формулу:

$$\lambda_{макс} T = C,$$

где C=2880; T — абсолютная температура К;

λ — длина волны, мкм.

Закон Вина гласит: произведение абсолютной температуры излучающего тела на длину волны излучения $\lambda_{макс}$ с максимальной энергией — величина постоянная [2].

Основная физическая характеристика инфракрасного излучения - интенсивность излучения (плотность потока) E (Вт/м^2) зависит от температуры излучателя, его площади и расстояния до исследуемой точки пространства и определяется по следующим формулам:

при $R \geq \sqrt{S}$:

$$E_и = \frac{0{,}91\, S\, ((0{,}01 T_и)^4 - 85)}{R^2};$$

при $R < \sqrt{S}$:

$$E_и = \frac{0{,}91\, S\, ((0{,}01 T_и)^4 - 85)}{R};$$

где S — площадь поверхности излучателя, м^2;

$T_и$ — абсолютная температура излучателя, К;

R — расстояние от излучателя до точки замера, м.

Эффективность защиты от теплового излучения можно оценить с помощью экранов и водяной завесы по формуле:

$$n = \frac{Q - Q_з}{Q} 100,$$

где Q — интенсивность теплового излучения без применения защиты, Вт/м^2;

$Q_з$ — интенсивность теплового излучения с применением защиты, Вт/м^2 [2].

СРЕДСТВА И МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Санитарные нормы допускают воздействие теплоты излучения на организм работающих в количестве не более 1,25 МДж/(м^2· ч). Температура нагретых поверхностей производственного оборудования и ограждений на рабочих местах (печей, ванн и др.) не должна превышать 45 °С, а для оборудования, внутри которого температура равна или ниже 100 °С, температура на поверхности не должна превышать 35 °С. Для защиты людей от вредного воздействия теплового излучения и высоких температур применяют теплоизоляцию горячих поверхностей, например путем обмазки наружных поверхностей котлов и трубопроводов горячей воды каким-либо строительным раствором с наполнителем в виде стекловаты или асбеста. Общей защитой от излучения могут служить экраны из малотеплопроводных материалов (асбест, шифер), а в качестве средств индивидуальной защиты применяются спецодежда (брезентовые или суконные костюмы), очки со светофильтрами, щитки из органического стекла и другие. В горячих цехах существенную роль играет снабжение рабочих питьевой подсоленной или газированной водой, употребление которой улучшает водный баланс организма.

Ведущая роль в профилактике вредного влияния высоких температур ИК-излучения принадлежит технологическим мероприятиям. Внедрение автоматизации и механизации производственных процессов, дистанционного управления обеспечивает возможность пребывания работников вдали от источника конвекционного и радиационного тепла. Одним из наиболее распространенных способов борьбы с тепловым излучением является экранирование излучающих поверхностей. Теплоизлучение и поступление конвекционной теплоты в рабочую зону значительно уменьшается при применении экранов, которые по своему принципу действия можно подразделить на непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные.

Непрозрачные экраны могут быть теплоотражающими, теплопоглощающими и теплоотводящими. В теплоотражающих экранах используется алюминиевая фольга-альфоль в листовой или гофрированной форме. Теплопоглощающие экраны изготовляются из асбеста, металла, футерованного теплоизоляционным материалом — заслонки, щиты и др.

Теплоотводящие экраны представляют собой сварные или литые конструкции, охлаждаемые протекающей внутри водой.

Полупрозрачные экраны изготовляют из металлической сетки, цепей, армированного стальной сеткой стекла и применяются: сетки — при интенсивности излучения 350 – 1000 Вт/м^2, цепные завесы и армированное стекло — 700 – 5000 Вт/м^2.

Прозрачные теплопоглощающие экраны изготавливают из различных бесцветных или окрашенных стекол: силикатное — для защиты от источников с температурой 700 °С; органическое — для защиты от источников с температурой 900 °С. Эффективность теплозащиты стекол зависит от температуры источника теплоизлучения м при $t_{ис}$=1000 °С достигает 86%.

Воздействие ИКИ на организм человека проявляется как общими, так и местными реакциями (табл. 1). Местная реакция выражается сильнее при длинноволновом облучении, поэтому при одной и той же интенсивности облучения время переносимости при длинноволновом облучении короче, чем при коротковолновой радиации. За счет большой глубины проникновения в ткани тела коротковолновая область спектра ИКИ обладает выраженным общим действием на организм человека, вызывая повышение температуры глубоколежащих тканей: например, при длительном облучении глаза может привести к помутнению хрусталика (профессиональная катаракта) [1].

Кратность снижения температуры излучающей поверхности μ, можно определить с помощью формулы

$$\mu = \frac{t_и}{t_э},$$

где $t_и$ — температура излучателя, °С;

$t_э$ — температура экрана, °С.

Таблица 1

Воздействие теплового облучения на человека в зависимости от его интенсивности и длительности

Интенсивность облучения, Вт/м	Воздействие	Длительность облучения, с
230…350	Слабое	неопределенно долго
350…1050	Умеренное	180…300
1050…1600	Среднее	40…60
2000…2800	Высокое	18…24
3500	Очень высокое	2…5

Кратность ослабления теплового потока m, защитным экраном определяется по формуле:

$$m = \frac{E_и}{E_э},$$

где где $E_и$ — интенсивность потока излучателя, Вт/м^2;

$E_э$ — интенсивность потока теплового излучения экрана, Вт/м^2.

Коэффициент пропускания экраном теплового потока

$$\tau = \frac{1}{m};$$

Коэффициент эффективности экрана, η, равен:

$$\eta = 1 - \tau = \frac{m-1}{m} \text{ [2].}$$

НОРМИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать:

− 35 Вт/м^2 — при облучении 50% поверхности тела и более;

− 70 Вт/м^2 — при величине облучаемой поверхности от 25 до 50%;

− 100 Вт/м^2 — при облучении не более 25% поверхности тела.

Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (нагретый металл, стекло, «открытое» пламя и др.) не должна превышать 140 Вт/м^2, при этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз (ГОСТ 12.1.005-88) [1].

Меры по предупреждению перегревов на производстве

К числу мероприятий, способных ослабить вредное действие теплового излучения, относятся:

1) устройство у тепловыделяющих производственных источников цепных или водяных завес;

2) механизация работ, направленная на то, чтобы работники меньше подвергались тепловому облучению;

3) применение экранов из материалов, обладающих малой теплопроводностью;

4) применение такой организации труда, которая допускает чередование лиц, работающих в сильно облучаемых местах;

5) устройство специальных комнат отдыха, а также душей, снабжение работников подсоленной газированной водой (3 г соли на 1 л воды);

6) обязательное применение специальных очков для защиты от инфракрасного излучения и особых стекол для предотвращения воздействия ультрафиолетовых лучей;

7) осуществление аэрации горячих цехов.

Классификация средств коллективной защиты от тепловых излучений состоит из: 1) теплоизоляция; 2) теплозащитные экраны; 3) воздушное душирование; 4) радиационное охлаждение; 5) мелкодисперсное распыление воды; 6) вентиляция.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой стенд, состоящий из трех тепловых мишеней (черной, блестящей и белой мишени, закрытой экраном). Данные мишени имеют различную черноту поверхности, однако имеют одинаковую форму и сопротивление нагревателей. Над мишенями установлен экран с прорезями и на винты, расположенными над мишенями есть возможность закрепления защитных экранов. Напряжение с ЛАТРа подается на последовательно соединенные мишени, в следствии этого, на мишенях выделяется одинаковое количество тепловой энергии. Суммарная выделяемая мощность вычисляется, после измерения с помощью встроенного трансформатора. Температура мишеней измеряется с помощью термопар, поверхность экранов измеряется с помощью ИК пирометра. Сменные экраны имеют один типоразмер но различную поглощающую или отражающую поверхность.

Перед выполнением работы, следует установить соответствующую программу на профессиональный компьютер, подключить лабораторный стенд к компьютеру с помощью USB- провода, установить необходимые драйвера, запустить программу, заполнить необходимую информацию перед началом выполнения лабораторной работы и нажать кнопку «Пуск».

К работе с лабораторным стендом допускаются лица, ознакомленные с его устройством и принципом действия. Все подключения и работы на стенде проводить сухими руками.

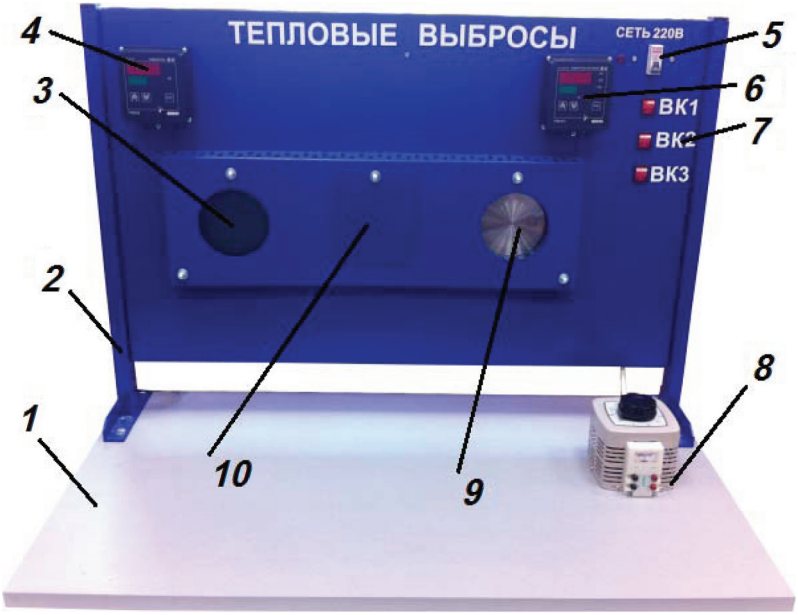

Рис. 1. Внешний вид лабораторного стенда:

1 — основание стенда; *2* — лицевая панель; *3* — черная мишень; *4* — ТРМ 200 (Т1 — температура черной мишени, Т2 — белой); *5* — автоматический выключатель; *6* — ТРМ-200 (Т1 — температура блестящей мишени, Т2 — температура окружающей среды); *7* — группа выключателей ВК; *8* — ЛАТР регулирования напряжения на мишенях; *9* — блестящая мишень; *10* — белая мишень, закрытая экраном [3]

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить стенд к сети 220 В и включить питание сети.

2. Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера и запустить программу Пуск → Программы → MeasLAB → «Тепловые выбросы». Для более подробного знакомства работы с программным обеспечением, открыть описание «Руководство по работе с программным обеспечением».

3. Ознакомиться со схемой лабораторной установки и расположением приборов. Составить ее описание и заготовить таблицы для регистрации результатов испытаний.

4. Включить ЛАТР клавишей ВК1 и вывести стенд на режим 50 В.

5. Определить площадь поверхности мишеней (S, м^2) и занести данные в табл. 2.

6. После установления температуры на нагревателе, произвести измерения

ИК пирометром и произвести расчеты по представленным в методических указаниях формулам, полученные данные занести в таблицу.

7. Провести измерения интенсивности излучения и температуры мишеней без экранов и данные занести в табл. 2.

8. Провести на тех же расстояниях измерения интенсивности теплового излучения от различных экранов (включая воздушный экран) и данные занести в табл. 2.

Таблица 2

Результаты исследуемых параметров теплового потока

Исследуемые параметры теплового потока		Расстояние от источника, м				
		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
$E_и$, Вт/м^2						
$T_и$, °K						
$E_и$, (по формуле), Вт/м^2						
$E_и$, (по формуле), Вт/м^2						
Экран воздушный	$E_{э,в}$, Вт/м^2					
	$t_{э,в}$, °C					
	$m_{ср,в}=m_в$					
	$\mu_{ср,в}=\mu_в$					
	$\tau_{ср,в}=\tau_в$					
	$\eta_{ср,в}=\eta_в$					
Экран металлический тёмный	$E_{э,в}$, Вт/м^2					
	$t_{э,мт}$, °C					
	$m_{ср,мт}=m_{мт}$					
	$\mu_{ср,мт}=\mu_{мт}$					
	$\tau_{ср,мт}=\tau_{мт}$					
	$\eta_{ср,мт}=\eta_{мт}$					
Экран металлический светлый (фольгированная поверхность)	$E_{э,в}$, Вт/м^2					
	$t_{э,мс}$, °C					
	$m_{ср,мс}=m_{мс}$					
	$\mu_{ср,мс}=\mu_{мс}$					
	$\tau_{ср,мс}=\tau_{мс}$					
	$\eta_{ср,мс}=\eta_{мс}$					

9. Построить график зависимости интенсивности излучения и температуры в координатах соответственно «ось ординат (интенсивность излучения ($E_и$, $E_э$, Вт/м^2)), — ось абсцисс (расстояние от мишеней (экрана), (R, m))». В тех же координатах, используя полученные данные, построить зависимость $E_и$, $E_э$ от расстояния R, используя теоретические формулы. Для сравнения теории и практики нанести графики рядом.

Также, необходимо:

— вычислить по формуле для различных экранов кратность ослабления теплового потока, m;

— вычислить по формуле для различных экранов кратность снижения температуры излучаемой поверхности, μ, для имеющихся расстояний;

— вычислить по формуле для различных экранов коэффициент пропускания экраном теплового потока, τ для имеющихся расстояний;

— вычислить по формуле для различных экранов коэффициент эффективности экрана, η, для имеющихся расстояний.

Для измерения температуры с помощью ИК-пирометра (рис. 2.) необходимо произвести следующие действия:

1. Включить ИК-пирометр нажатием кнопки (1).

2. После появления текущего значения температуры на дисплее (4), следует включить лазерный целеуказатель точки измерения температуры кнопкой (2).

3. Для измерения необходимо нажать кнопку (1) и навести появившуюся красную точку на тело, температуру которого необходимо измерить. Для того, чтобы зафиксировать значение, следует отпустить кнопку (1).

4. В случае необходимости, можно включить подсветку дисплея с помощью клавиши (3).

Рис. 2. ИК-пирометр

5. Для настройки значения степени черноты поверхности при измерении необходимо нажимать кнопку (5) до тех пор, пока на дисплее не только значения температуры и степени черноты поверхности. После этого можно установить необходимое значение с помощью клавиш (2 и 3) [3].

Перед тем, как нажимать кнопку «Пуск», необходимо заполнить фамилию человека, выполняющего работу, а также указать путь к записи архива в программе Microsoft Excel (рис. 3,4).

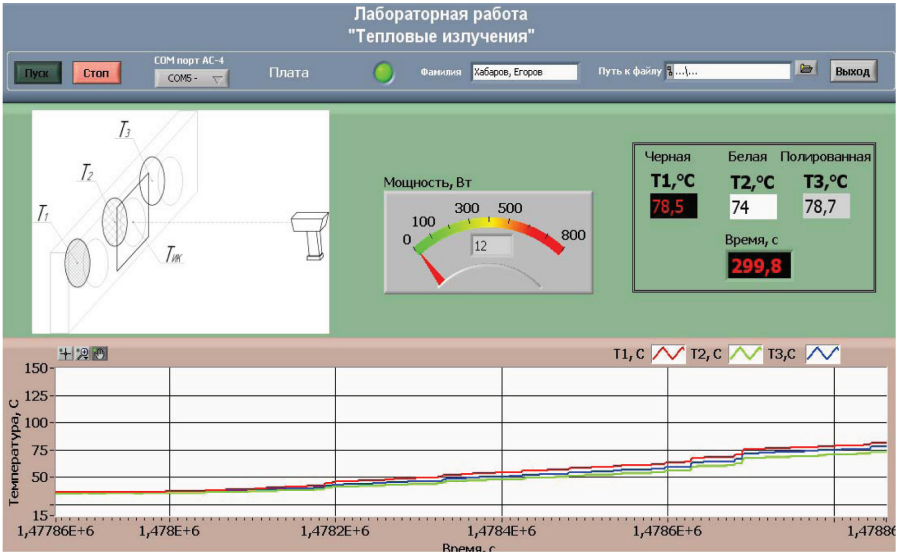

Рис. 3. Работа в программе Measlab

	A	B	C	D	E
1	Время, с	T1 (черн), C	T2 (бел), C	T3 (полир), C	Мощность, Вт
2	4	22,9	22,4	22,4	57,1
3	10	24	23,3	23,3	57,4
4	20	24,6	23,7	23,8	57,5
5	30,1	25,3	24,1	24,3	57,6
6	40,1	25,8	24,6	24,7	57,5
7	50,2	26,3	25,1	25,2	57,7
8	60,2	26,8	25,5	25,8	57,8
9	70,2	27,4	26,1	26,3	58
10	80,3	27,9	26,5	26,7	58
11	90,4	28,5	27	27,3	58,4
12	100,4	29	27,5	27,7	58,1
13	1,4	36,4	34,5	35,4	18,7
14	11,4	36,4	34,7	35,6	18,7
15	21,4	36,5	35	35,6	18,7
16	31,5	36,5	35	35,9	18,7
17	41,6	36,6	35,1	35,9	210,6
18	51,7	37,5	35,7	36,7	228,3
19	61,7	39,7	37	38,3	229,2
20	71,8	42,2	38,6	40,3	228,6
21	81,7	44,8	40,4	42,3	229
22	91,8	47,3	42,3	44,4	228,9
23	111,9	52,3	46,1	48,6	229,2
24	122	54,6	48	50,9	230,3
25	132,1	57	50,1	53	229,7
26	142,1	59,3	52,1	55,2	230
27	152,1	61,5	54,2	57,4	230

Тепловые излучения_Хабаров_24_1

Рис. 4. Архив в программе Microsoft Excel

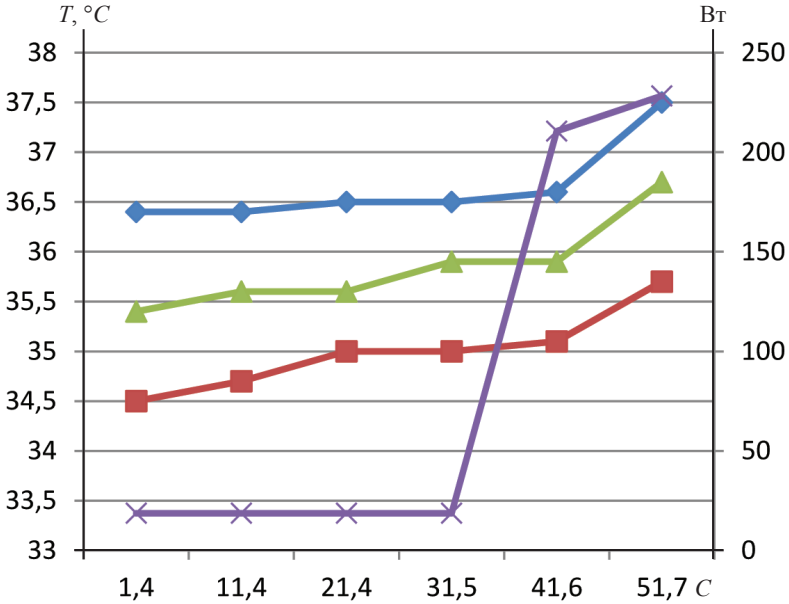

Рис. 5. Динамика изменения температуры мишеней:
— черная мишень; — белая мишень; — полированная мишень; — мощность

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение тепловому излучению.
2. Перечислить основные законы физики инфракрасного излучения.
3. Описать средства защиты от тепловых излучений.
4. Нормирование воздействия теплового излучения.
5. Какие экраны защиты от тепловых излучений используются в промышленности?
6. Описать лабораторный стенд «Тепловые выбросы».
7. Рассказать о порядке выполнения данной лабораторной работы.
8. Рассказать про классификацию средств промышленной теплозащиты.
9. Рассказать о биологическом воздействии ИК – излучения на организм человека.

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Общие сведения.

2. Описание оборудования и приборов.

3. Данные измерений (заполненная таблица).

4. Графики динамики изменения температуры мишеней.

5. График зависимости интенсивности излучения и температуры в координатах.

6. Ответ на контрольные вопросы.

7. Общие выводы по лабораторной работе.

Дата Подпись студента

Дата Подпись преподавателя

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Куклев В.А.* Основы безопасности труда: Учебно-практическое пособие. — УлГТУ, 2013. — 221 с.

2. *Трофимова Т.И.* Курс физики: Учеб. пособие для вузов. 11-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 560 с.

3. measlab.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
Основные сведения 4
Средства и меры защиты от теплового излучения 6
Нормирование воздействия теплового излучения 8
Описание лабораторного стенда 9
Порядок проведения работы 10
Контрольные вопросы 14
Отчет о лабораторной работе 15
Список литературы 15

Внутривузовское издание

Подписано в печать 30.08.2017. Гарнитура Таймс
Формат 60×90/16 Бумага офсетная
Объем 1 усл. печ. л
Тираж 25 экз. Заказ № 86

Отпечатано в УПП «Репрография» МИИГАиК