

Лабораторная работа «Исследование теплообмена излучением и определение степени черноты излучающего тела».

Техника безопасности

Все работы на установках должны проводиться только в присутствии и при участии преподавателя или ответственного лица, прошедшего полный инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Место, где размещена установка, запрещается загромождать посторонними предметами.

Перед включением установки произвести тщательный осмотр оборудования и проборов для определения их пригодности к работе. Электрические шнуры, вилки, розетки и выключатели не должны иметь видимых повреждений. Включать установку при наличии неисправностей запрещается.

Во время выполнения задания студент не должен заниматься посторонними делами, которые не относятся к выполнению данной работы.

Запрещается оставлять без наблюдения действующую установку.

Запрещается работать в лаборатории одному. Обязательно присутствие второго лица для оказания первой помощи в случае необходимости.

Студентам запрещается самостоятельно устранять неисправности лабораторных установок.

Ввиду наличия на установке высокого напряжения 220 В для питания ТЭНов и контрольно-измерительных приборов запрещается:

- а) проникать за защитные ограждения присоединительных клемм;
- б) открывать распределительный щит и защитные кожухи установки;
- в) включать и отключать установку без разрешения преподавателя;
- г) во избежание возможного поражения электрическим током, запрещается касаться при включенной установке одновременно питающих проводов измерительных приборов, оборудования и трубопроводов отопления, водопровода или заземляющего контура. При поражении электрическим током необходимо немедленно вызвать врача, а до его прибытия оказать пострадавшему первую медицинскую помощь;
- д) установка должна быть немедленно отключена, если обнаружено повреждение заземления, защитного ограждения, а также при внезапном прекращении подачи энергии.

При появлении дыма из пускорегулирующей аппаратуры и при других аварийных ситуациях, немедленно отключить установку аварийной кнопкой «Стоп» и сообщить преподавателю.

По окончании работы установка должна быть отключена. Последовательность выключения установки соответствует обратной последовательности её включения.

Перед уходом студенты обязаны привести в порядок свое рабочее место и поставить в известность преподавателя об окончании работы.

1. Цель работы

Обучение студентов правильному использованию ИК-термометра для измерения температуры нагретых тел. Экспериментальное определение коэффициента излучения и степени черноты различных тел. Экспериментальное исследование зависимости степени черноты поверхностей от температуры излучающего тела.

2. Основные теоретические сведения

Теплообмен излучением (или лучистый, радиационный теплообмен) осуществляется в результате процессов превращения внутренней энергии вещества в энергию излучения, переноса энергии излучения и ее поглощения веществом. Интенсивность этого обмена определяется взаимным расположением в пространстве тел, обменивающихся теплом, а также свойствами поверхностей тел и среды, разделяющей эти тела. При этом любое тело, температура которого отлична от абсолютного нуля, испускает энергию, обусловленную нагревом тела. Это излучение называется **собственным излучением тела**.

Теплообмен излучением осуществляется посредством электромагнитных волн. Они распространяются прямолинейно со скоростью света и подчиняются оптическим законам преломления, поглощения и отражения. Источником этих волн являются материальные частицы, входящие в состав вещества. Для распространения электромагнитных волн не требуется материальной среды. В вакууме они распространяются со скоростью света и характеризуются длиной волны λ или частотой колебаний ν . При температуре до 1500°C основная часть энергии соответствует инфракрасному (ИК) и частично световому излучению ($\lambda = 0,7-50$ мкм).

В общем спектре инфракрасного излучения выделяют область излучения **ближней** ($\lambda = 0,76-1,5$ мкм), **средней** (1,5-10 мкм) и **дальней** (10-1000 мкм) ИК-области. При температурах до 1800°C основная доля

мощности излучения приходится на инфракрасную область спектра, не видимую глазом человека.

Следует отметить, что энергия излучения испускается не непрерывно, а в виде определенных порций – **квантов**. Носителями этих порций энергии являются элементарные частицы излучения – фотоны, обладающие энергией, количеством движений и электромагнитной массой.

При попадании на другие тела энергия излучения частично поглощается ими, частично отражается и частично проходит сквозь тело. Процесс превращения энергии излучения во внутреннюю энергию поглощающего тела называется **поглощением**. Большинство твердых и жидких тел имеют сплошной спектр излучения. Газы испускают энергию только в определенных интервалах длин волн (селективный спектр излучения). Твердые тела излучают и поглощают энергию поверхностью, а газы – объемом.

Излучаемая в единицу времени энергия в узком интервале изменения длин волн $\Delta\lambda$ называется **поток монохроматического излучения** Q_λ . Поток излучения, соответствующий всему спектру, называется **интегральным или полным** лучистым потоком Q (Вт). Интегральный лучистый поток, излучаемый с единицы поверхности тела по всем направлениям полусферического пространства, называется **плотностью интегрального излучения** (Вт/м²).

Каждое тело не только излучает, но и поглощает лучистую энергию. Из всего количества падающей на тело лучистой энергии ($Q_{\text{пад}}$) часть ее поглощается ($Q_{\text{пог}}$), часть отражается ($Q_{\text{от}}$) и часть проходит сквозь тело ($Q_{\text{пр}}$). При этом каждая энергия характеризуется коэффициентом, то есть A – коэффициент поглощения, R – коэффициент отражения, D – коэффициент пропускания соответственно и $A+R+D = 1$.

Если тело поглощает все падающие на него лучи, то есть $A=1$, $R=0$, $D=0$, оно называется **абсолютно черным**.

Если вся падающая на тело энергия отражается, то $R=1$, $A=0$, $D=0$. При этом, если отражение подчиняется законам геометрической оптики, тело называется **зеркальным**; при диффузном отражении, когда отраженная лучистая энергия рассеивается по всем направлениям, тело будет **абсолютно белым**.

Если $D=1$, то $A=0$ и $R=0$. Такое тело пропускает все падающие на него лучи и называется **абсолютно прозрачным**.

В природе не существует абсолютно черных, белых и прозрачных тел. При расчетах лучистого теплообмена между телами большое значение имеет результирующее излучение, представляющее собой разность между лучистым потоком, получаемым телом, и лучистым потоком, который оно испускает в окружающее пространство.

Часто теплотехнические расчеты ведут на основе допущения излучения серых тел, имеющих непрерывный спектр излучения. Такое допущение упрощает решение многих теплотехнических задач, которые без него были бы неразрешимы. Собственное излучение большей части поверхностей, участвующих в теплообмене, действительно близко к излучению серого тела, за исключением газов, излучение которых является селективным.

Для определенной длины волны отражательная, пропускная и поглощательная способности тел характеризуют спектральные коэффициенты поглощения A_λ , отражения R_λ и пропускания D_λ . Большинство белых поверхностей в видимом диапазоне волн обладают большим коэффициентом отражения $R_\lambda=0,7-0,9$, а в ИК-диапазоне волн ведут себя как черные тела в связи с большим коэффициентом поглощения электромагнитных волн именно в этом диапазоне.

3. Описание экспериментальной установки

Установка (рис.1) представляет собой три тепловые мишени с электронагревателями, последовательно включенными в электрическую цепь (рис.2). Нагреватели имеют одну и ту же мощность и одинаковым образом расположены на лицевой панели установки. Они отличаются друг от друга лишь состоянием излучающей поверхности. Первая мишень имеет черную закрашенную поверхность, вторая – закрашенную белую, третья – полированную металлическую.

В центре каждой мишени с внутренней стороны нагревателя зачечанены хромель-копелевые термопары. Электрический сигнал с термопар подается на цифровые измерители температуры (4, 5). В таблице 1 описаны сигналы, отображаемые на дисплеях измерителей. Сигнал с измерителей поступает в компьютер через преобразователь. Одновременно эта же температура с наружной стороны мишени может поочередно контролироваться с помощью инфракрасного термометра с лазерным указателем участка излучающей поверхности. Подробное указание по использованию ИК-термометра приведено далее.

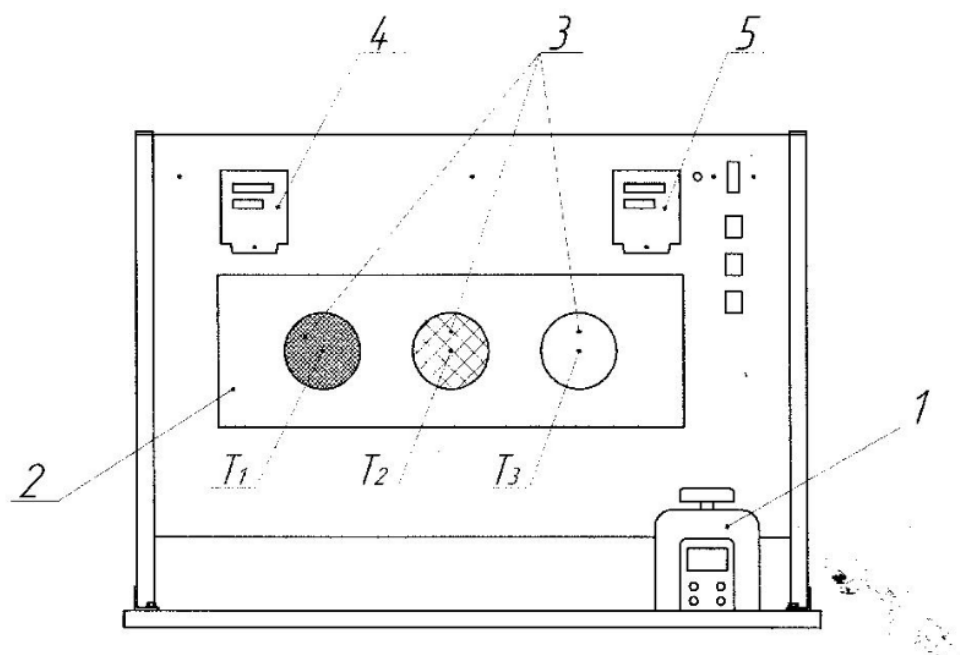


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

1 – автотрансформатор (ЛАТР), 2 – защитная панель, 3 – мишени, 4,5 – цифровой измеритель ТРМ 200.

Таблица 1 – Описание сигналов, отображаемых измерителями ТРМ 200 и ТРМ 202

Измеритель	Индикатор	Примечание
ТРМ 202 – левый (поз. 4 на рисунке 1)	Красный	Температура поверхности черной мишени
ТРМ 202 – левый (поз. 4 на рисунке 1)	Зеленый	Температура поверхности белой мишени
ТРМ 200 – правый (поз. 5 на рисунке 1)	Красный	Температура поверхности полированной мишени
ТРМ 200 – правый (поз. 5 на рисунке 1)	Зеленый	Выделяемая мощность

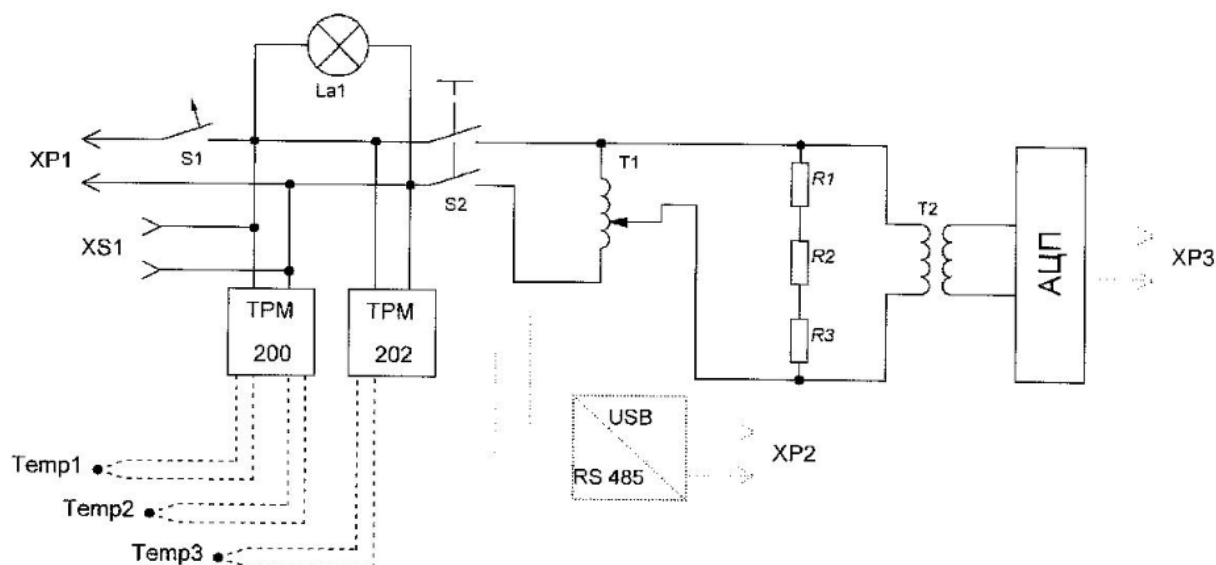


Рисунок 2 – Электрическая схема стенда

XP1 – вилка для подключения стенда к сети 220В/50Гц, **заземление обязательно!**

XP2, XP3 – вилка USB для подключения к компьютеру (протокол USB 1.1)

XS1 – розетка для подключения дополнительных приборов к сети 220В/50Гц. Располагается сзади стенда в белом коробе. Максимальная мощность 1,5 кВт. Используется для подключения компьютера (ноутбука) при работе со стендом

S1 – автоматический однофазный выключатель мощностью 6А, 10А, 16А или 25А в зависимости от модели стенда. Установлен на лицевой панели стенда

S2 – выключатель подачи питания к автоматическому трансформатору со встроенным индикатором (светодиод). На стенде расположен в лицевой панели с обозначением ВК1

La1 – индикаторная лампа. Загорается при подаче к стенду питания 220В с помощью автоматического выключателя S1

T1 – автоматический трансформатор. Подает регулируемое напряжение (0-220В) к нагревателям мишеней стенда. Мощность 500Вт, максимальный ток 2А

T2 – понижающий трансформатор (220-9В) для измерения напряжения на мишенях, В

R1, R2, R3 – нагреватели мишеней, общее сопротивление 78 Ом

TPM 200 и TPM 202 – измерители сигналов с термопар. Передача данных осуществляется по протоколу RS 485 с последующим

преобразованием (преобразователь АС-4) и передачей данных в компьютер по протоколу USB

Temp1, Temp2, Temp3 – термопары, установленные на обратной стороне мишеней для измерения температуры поверхности.

4. *Указания к использованию ИК-термометра UNI-T UT302C*

Для измерения температуры поверхности с помощью инфракрасного (ИК) термометра необходимо:

1. Нажать большую красную кнопку, расположенную на рукоятке термометра под измеряющим элементом. Включится экран термометра.

2. Навести термометр измеряющим элементом в сторону поверхности, температуру которой необходимо измерить.

3. Нажать ещё раз кнопку на рукоятке термометра. Появится лазерный указатель. Для измерения температуры необходимо совместить луч лазера с центром излучающей поверхности. Выждать несколько секунд. Значение температуры поверхности в °С выводится на экран термометра автоматически.

4. Обратит внимание на наклейку на боковой поверхности ИК-термометра. На ней приведен рисунок с необходимыми подписями, графически показывающий диаметр области измерения температуры (диаметр области усреднения температуры) от расстояния до измеряемого объекта.

5. *Порядок проведения работы*

1. Изучить методические указания, заготовить форму отчета о проведенной работе, в которую внести название и цель работы, основные сведения об изучаемых процессах, схему экспериментальной установки, заготовить таблицу 2 для записи результатов измерений и вычислений.

2. Включить питание установки с помощью автомата «Сеть 220В».

3. Включить компьютер и запустить программу проведения лабораторной работы командами Пуск → Программы → MeasLab → «ИК излучение». На лицевой панели программы запустить её кнопкой «Пуск».

Использование компьютера при проведении данной работы не является ни необходимым, ни обязательным.

4. Записать температуру окружающей среды T_0 , измеренную для каждой мишени по данным термопар и ИК-термометром, в таблицу 2 исходных данных. Объяснить имеющиеся расхождения.

5. Включить ЛАТР клавишей ВК1. На ЛАТР вывести напряжение 50В.

6. По истечении 5 минут наблюдать либо на лицевой панели компьютерной системы показания термопар (на многолучевом графике), либо на индикаторах ТРМ (в соответствии с таблицей 1): T_1 – черной, T_2 – белой и T_3 – полированной мишеней, закрепленных с внутренних сторон мишеней. Одновременно необходимо измерять температуры мишеней с помощью ИК-термометра. Все результаты занести в таблицу исходных данных

7. Сравнить показания температур термопар и ИК-термометра.

8. Изменять напряжение на ЛАТР в соответствии с таблицей 2.

9. В таблицу 2 фиксировать показания температуры термопар мишеней и измеренную ИК-термометром температуру на мишенях при разных значениях напряжения. Кроме того, необходимо фиксировать выделяемую мощность.

10. Опытным путем, начиная с небольших значений напряжения и постепенно увеличивая его, увеличить температуру нагрева мишеней до 100 °С. Необходимо иметь ввиду, что при резком увеличении напряжения на латре, может произойти заброс температуры мишеней выше 101 °С и подача электрической мощности на нагрев отключиться автоматически (отключение происходит по температуре черной мишени, определяемой термопарой). В этом случае, надо снизить напряжение на нагревательных элементах и дождаться остывания мишеней. После этого работу можно продолжить.

11. Обработать полученные данные по всем мишеням и определить степень черноты ε_j для каждой мишени при разных температурах их поверхностей (формула 1).

12. Определить величину коэффициента излучения C_1 для каждой мишени при разных температурах по уравнению Стефана-Больцмана (формула 2).

13. Построить график зависимости степени черноты исследованных поверхностей от их температуры.

14. Сравнить результаты эксперимента со справочными данными, которые необходимо самостоятельно найти в литературных источниках или Интернете.

15. Исходя из измеренного диаметра мишени и данных на наклейке ИК-термометра, рассчитать максимальное расстояние от термометра до мишени, на котором могут производиться измерения температуры. ИК-термометром провести измерения температур нагретых черной и белой

мишени на расстоянии 50 см и максимально возможном, сравнить результаты и объяснить возможные расхождения.

16. ИК-термометром провести измерения температур нагретых черной и белой мишени с одного расстояния через любой плоский оптически прозрачный предмет и без него. Обратите внимание, что лазерный целеуказатель четко отображается на мишени, тогда как измеряемые температуры при наличии прозрачного экрана и без него существенно различаются.

17. Ответить на контрольные вопросы и сделать самостоятельные выводы по лабораторной работе.

Таблица 2 – Результаты измерения температуры излучающих поверхностей

№ опыта	Уровень напряжения, В	Выделяемая мощность, Вт	Измеренные значения температур						Степени черноты поверхностей			
			ч, К	икч, К	б, К	икб, К	п, К	икп, К	ч	б	п	
1	0											
2	50											
3	60											
4	70											
5	80											
6	90											

б. Обработка результатов эксперимента

Степень черноты ε_j для каждой мишени при разных температурах их поверхностей вычисляется по приведенным ниже соотношениям (1):

$$\varepsilon_{\text{ч}} = \frac{\left[\left(\frac{T_{\text{икч}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{0\text{икч}}}{100}\right)^4\right]}{\left[\left(\frac{T_{\text{ч}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{0\text{ч}}}{100}\right)^4\right]}$$

$$\varepsilon_{\text{б}} = \frac{\left[\left(\frac{T_{\text{икб}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{0\text{икб}}}{100}\right)^4\right]}{\left[\left(\frac{T_{\text{б}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{0\text{б}}}{100}\right)^4\right]}$$

$$\varepsilon_{\text{п}} = \frac{\left[\left(\frac{T_{\text{икп}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{0\text{икп}}}{100}\right)^4\right]}{\left[\left(\frac{T_{\text{п}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{0\text{п}}}{100}\right)^4\right]}$$

где $T_{\text{ч}}$, $T_{\text{б}}$, $T_{\text{п}}$ – температуры черной, белой и полированной поверхностей, измеренные термопарой, К; $T_{\text{икч}}$, $T_{\text{икб}}$, $T_{\text{икп}}$ – температуры черной, белой и полированной поверхностей, измеренные ИК-термометром, К; T_0 –

температура окружающей среды, записанная перед проведением эксперимента, К.

Коэффициент излучения C_i для каждой мишени при разных температурах вычисляется по формуле:

$$C_i = \frac{\varepsilon S \left(\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{0i}}{100} \right)^4 \right)}{(Q/3)} \quad (2)$$

где ε – степень черноты наружной поверхности мишени; Q – результирующий тепловой поток, $Q = \frac{U^2}{R}$, R – общее сопротивление всех последовательно соединенных мишеней, равное 78 Ом, U – падение напряжения на мишенях (измеряется понижающим трансформатором и платой АЦП); S – площадь поверхности мишени, $S = \pi r^2$ [m^2], r – радиус мишени, измеряется вручную; T_{i} – температура поверхности мишени, измеренная термопарой, К; T_{0i} – первоначально измеренная температура окружающей среды, К.

7. Контрольные вопросы

1. Что представляет собой тепловое излучение? К какому диапазону длин волн оно относится?
2. Тепловое излучение является монохроматическим?
3. Как соотносятся между собой скорости распространения тепла при передаче его теплопроводностью, свободной или вынужденной конвекцией и тепловым излучением?
4. Что представляют собой модели абсолютно черного, абсолютно белого и серого тел, используемые в расчете лучистого теплообмена?
5. Какие из тел могут считаться абсолютно прозрачными?
6. От чего зависит излучение твердых тел?
7. Какова размерность коэффициента излучения?
8. Какие способы защиты от теплового излучения может предложить современная техника?
9. Для чего предназначены тепловые экраны?
10. Что представляет собой экранно-вакуумная изоляция и чем объясняется ее эффективность? Привести пример использования в быту.
11. Чем обусловлен парниковый эффект атмосферных газов в первую очередь?

Литература

1. Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А., Захаренко В.В., Зиновкина Т.В., Таран А.Л., Костанян А.Е. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс. Учебник. В двух книгах. 8-е изд. стер. - СПб.: Лань, 2018. - 1792 с.
2. Лабейш В.Г., Шелудько О.В. Тепломассообмен: Методические указания по выполнению лабораторных работ по теплотехнике. СПб.: СЗТУ, 2003 - 29 с.
3. Теория тепломассообмена / Под редакцией А.И. Леонтьева. - М.: Высшая школа, 1984. – 495 с.
4. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. - М. : Энергоатомиздат, 1988. - 560 с.
5. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н. Теплообмен излучением. Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1991, - 431 с.