

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
12.03.01 «Приборостроение»
очной формы обучения*



Могилев 2021

УДК 681.2
ББК 34.9
Ф50

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «17» мая 2021 г.,
протокол № 8

Составитель ст. преподаватель Е. Н. Прокопенко

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

В методических рекомендациях кратко изложены теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторных работ. Рекомендации составлены в соответствии с учебной программой по дисциплине «Физические основы получения информации» для студентов направления подготовки 12.03.01 «Приборостроение» очной формы обучения.

Учебно-методическое издание

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 16 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2021

Содержание

Введение.....	4
1 Техника безопасности при работе с измерительными приборами	5
2 Исследование акустических методов получения информации.....	6
3 Исследование оптических методов получения информации	12
4 Исследование тепловых методов получения информации.....	14
5 Исследование магнитных методов получения информации	20
6 Исследование электрических методов получения информации.....	23
7 Исследование радиоволновых методов получения информации	32
8 Исследование методов атомного спектрального анализа.....	38
Список литературы	46

Введение

Информация – понятие, включающее обмен сведениями между людьми, человеком и автоматом, автоматом и автоматом. Получение информации (каких-либо сведений) об окружающем нас мире может происходить в результате общения с окружающими, чтения книг, приема и обработки сигналов, передаваемых по каналам связи и т. д. Основным способом получения количественной информации о том или ином объекте, системе, их состоянии и происходящих в них процессах является способ, связанный с процессом измерения.

Целью изучения дисциплины «Физические основы получения информации» является изучение физических принципов различных видов получения информации в науке и технике; основ взаимодействия физических полей с веществом; физических явлений и эффектов, используемых для получения измерительной и управляющей информации; основных фундаментальных и прикладных положений, лежащих в основе разнообразных приборов, предназначенных для получения информации об окружающем человека мире.

Целью лабораторных работ по данной дисциплине является ознакомление студентов с основными физическими эффектами, используемыми в измерениях, знакомство со средствами и методами регистрации и преобразования измерительной информации.

1 Техника безопасности при работе с измерительными приборами

Цель работы: ознакомиться с основными правилами по технике безопасности при работе с измерительными приборами.

1.1 Основные теоретические положения

При работе с приборами имеются некоторые общие правила, обеспечивающие безопасную эксплуатацию и охрану труда.

Каждый прибор должен иметь паспорт и инструкцию по эксплуатации, которыми руководствуется обслуживающий персонал. Без изучения инструкции пользоваться приборами, установками и комплексами запрещается. Перед включением в сеть проверяется наличие заземления, а коммутирующие и регулирующие устройства выставляются в исходное состояние.

Работа в лаборатории проводится под наблюдением преподавателя и лаборанта. При этом к лабораторной установке должен быть обеспечен свободный доступ: запрещены загромождение проходов, хождение студентов и посторонних лиц во время занятий.

Приступая к выполнению работы, студент обязан ознакомиться с порядком ее проведения, правилами безопасной работы на данном лабораторном стенде (оборудовании).

Запрещается приступать к выполнению работы до тех пор, пока преподавателем не будет установлено, что студенту известны цель работы, метод ее выполнения, способ обращения с оборудованием, предполагаемые результаты.

Перед включением прибора или аппарата в электросеть необходимо убедиться в исправности заземляющих элементов, качестве изоляции.

Эксплуатация приборов должна производиться только в присутствии преподавателя (лаборанта).

Запрещается трогать оборудование, неиспользуемое в данной работе.

Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования, следует прекратить работу, отключить напряжение и сообщить преподавателю или лаборанту о неполадках в работе. Устранять неполадки собственными силами запрещается.

По окончании работ в лаборатории приборы (оборудование) приводятся в первоначальное состояние, инструкции сдаются лаборанту. Должен производиться осмотр всех рабочих мест с обязательным отключением всех цепей питания и освещения.

1.2 Порядок выполнения работы

Ознакомиться с основными правилами по технике безопасности при работе с измерительными приборами.

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключаются поражающие факторы электрического тока?
- 2 Почему электрический ток и напряжение электрического тока является основным поражающим фактором?
- 3 Чему равна величина условно безопасного напряжения?
- 4 Почему переменный электрический ток более опасен по сравнению с постоянным?

2 Исследование акустических методов получения информации

Цель работы: ознакомиться с основными методами измерения скорости и затухания ультразвуковых волн, провести экспериментальное исследование различных образцов и обработать результаты измерений.

2.1 Основные теоретические положения

2.1.1 Основные методы измерения скорости ультразвуковых волн. Одной из важных характеристик любых волн является скорость – расстояние, проходимое ими за единицу времени [1].

Существует несколько методов определения скорости распространения звуковых волн. Методы можно подразделить на резонансные, импульсные, оптические (с использованием явления дифракции света на ультразвуке), метод интерферометра и некоторые другие. Наибольшую точность можно получить, используя импульсно-фазовые методы. Оптические методы позволяют измерить скорость волн на гиперзвуковых частотах, вплоть до $10^{11} \dots 10^{12}$ Гц. Точность измерения скорости звука зависит от того, надо ли получить её абсолютные значения, или же можно ограничиться относительными измерениями скорости звука при изменении каких-либо внешних параметров, например, в зависимости от температуры или же в зависимости от наличия примесей.

Импульсный метод измерения скорости распространения ультразвуковых волн предусматривает измерение расстояния S , пройденного ультразвуковым импульсом в материале образца и времени прохождения этого расстояния t . Величина скорости определяется отношением этих величин:

$$V = S / t. \quad (2.1)$$

Определение скорости продольных волн. При эхоимпульсном методе УЗ-импульс вводится в образец с плоскопараллельными гранями через одну из них, отражается от противоположной грани, идет в обратном направлении и регистрируется преобразователем (рисунок 2.1, а). Скорость волн вычисляется по известной формуле

$$V = 2d / t, \quad (2.2)$$

где d – толщина образца;

t – время между первым и вторым донными импульсами.

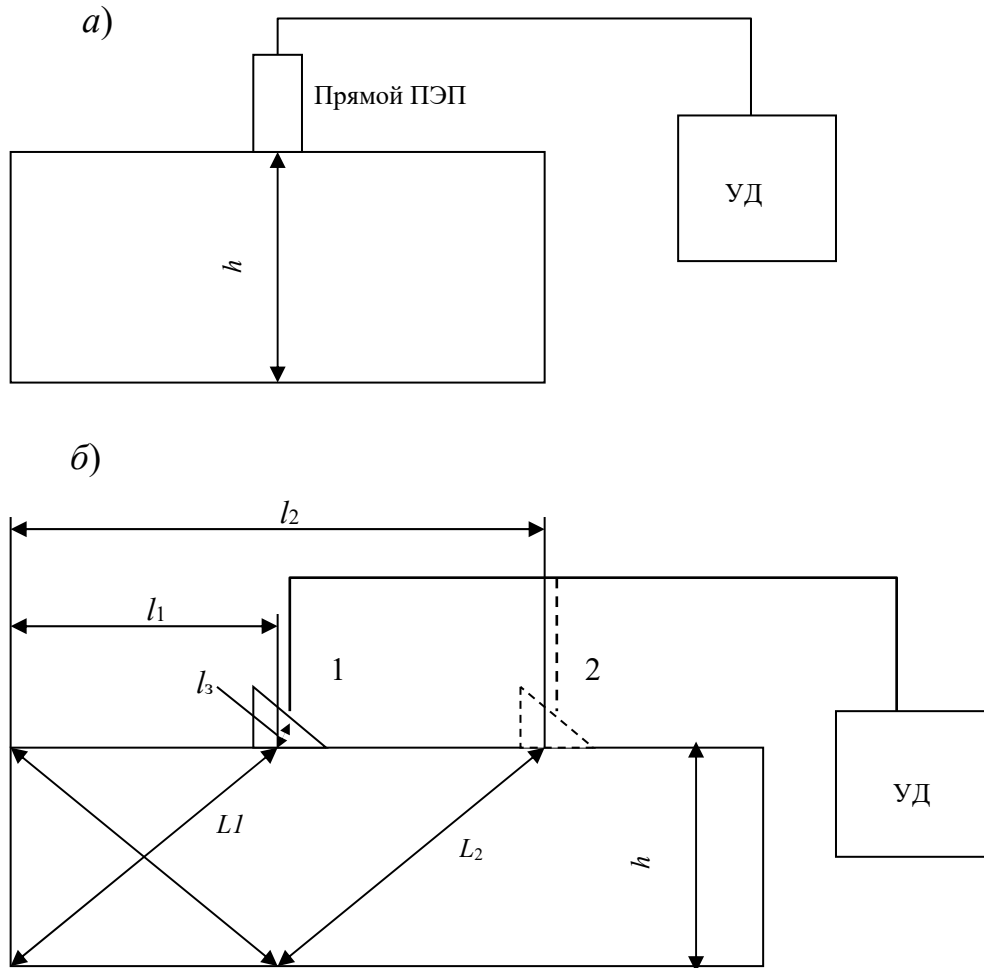


Рисунок 2.1 – Схемы проведения измерений

Определение скорости поперечных волн. Поперечные волны возбуждаются при помощи наклонных преобразователей, использующих явление трансформации продольных волн в поперечные на границе раздела «призма – образец», происходящее при углах падения, отличных от нуля. Поэтому импульс поперечных волн, возбужденных таким образом, отражаясь от противоположной поверхности, не регистрируется тем же преобразователем. В связи с этим необходимо луч поперечной волны направить на какой-либо отражатель, например, уголкового. В качестве последнего можно использовать прямые углы образца (рисунок 2.1, б). Время, измеряемое в этом случае, включает время распространения продольной волны в призме t_n и время распространения поперечной волны в образце t_1 и t_2 , идущей от источника ввода до отражателя. Для того чтобы выделить время распространения импульса поперечных волн в чистом виде, необходимо, по крайней мере, два

измерения (см. рисунок 2.1, б). В положении 1 время прохождения импульса определяется по формуле

$$t_{10} = t_n + t_1 = \frac{2l_3}{c_n} + \frac{2L_1}{c_t}, \quad (2.3)$$

где c_n – скорость продольной волны в призме;
 c_t – скорость поперечной волны в образце;
 l_3 – расстояние, проходимое импульсом в призме;
 L_1 – расстояние, проходимое импульсом в образце.
 В положении 2

$$t_{20} = t_n + t_2 = \frac{2l_3}{c_n} + \frac{2L_2}{c_t}, \quad (2.4)$$

где L_2 – расстояние, проходимое импульсом в образце.
 Вычитая из (2.4) формулу (2.3), получим

$$t_{20} - t_{10} = t_2 - t_1 = \frac{2(L_2 - L_1)}{c_t}. \quad (2.5)$$

Измеряя l и h с учетом геометрии образца, а также t_1 и t_2 , можно рассчитать по формуле (2.5) значение скорости поперечных волн.

2.1.2 Определение затухания ультразвуковых волн. Затухание ультразвука – это уменьшение амплитуды и, следовательно, интенсивности звуковой волны по мере ее распространения в среде. Затухание, обусловленное поглощением и рассеянием, описывается экспоненциальным законом убывания амплитуды с расстоянием. Если без учета затухания уравнение распространения волны в направлении координаты имеет вид:

$$U = U_0 \exp(-j\omega - kx), \quad (2.6)$$

то с учетом затухания

$$U = U_0 \exp(-\delta x) \exp(-j\omega - kx), \quad (2.7)$$

где δ – коэффициент затухания.

С учетом расхождения волны в сферической системе координат уравнение имеет вид:

$$U = U_0 \frac{G}{r} \exp(-\delta r) \exp(-j\omega t - kr), \quad (2.8)$$

где G – размерный коэффициент, м.

Здесь полагается, что начало координат совпадает с эффективным акустическим центром излучателя – точкой, из которой кажутся расходящимися волны для наблюдателя в дальней зоне. Положение этой точки не совпадает с местом контакта преобразователя и материала. Положение ее можно определить, зная частоту колебаний f , скорость распространения волн C и диаметр преобразователя D (рисунок 2.2). Для преобразователей поршневого типа граница ближней зоны определяется соотношением

$$L = \frac{D^2}{4\lambda} = \frac{D^2 f}{4C}, \quad (2.9)$$

где λ – длина волны ультразвука.

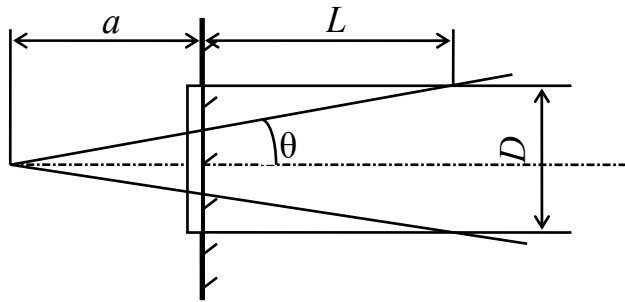


Рисунок 2.2 – Звуковое поле дискового преобразователя

Половина угла раскрытия первого минимума диаграммы направленности в дальней зоне определяется формулой

$$\theta = \arcsin \frac{1,22\lambda}{D} = \arcsin \frac{1,22C}{Df}. \quad (2.10)$$

Ближняя зона не может быть использована для измерения затухания, т. к. в ней наблюдаются интерференционные явления. Поэтому толщина образцов должна быть больше протяженности ближней зоны $h > L$.

Метод определения затухания основан на измерении амплитуды импульса при прохождении некоторого расстояния ($r_2 - r_1$). Необходимо измерить отношение амплитуд U_1 на расстоянии r_1 и U_2 на расстоянии r_2 и вычислить δ по формуле (2.8):

– для расстояния r_1

$$U_1 = U_0 \frac{G}{r_1} \exp(-\delta r_1) \exp(-j\omega t_1 - kr_1); \quad (2.11)$$

– для расстояния r_2

$$U_2 = U_0 \frac{G}{r_2} \exp(-\delta r_2) \exp(-j\omega t_2 - kr_2) \quad (2.12)$$

Разделив (2.11) на (2.12), имеем

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{r_2}{r_1} \exp(\delta(r_2 - r_1)). \quad (2.13)$$

Множители $\exp(-j\omega t_1 - kr_1)$, $\exp(-j\omega t_2 - kr_2)$ не влияют на амплитуду импульса, т. к. каждому r соответствует t , при котором $\exp(-j\omega t - kr) = 1$.

Преобразуем (2.13):

$$\delta = \frac{\ln \frac{U_1}{U_2} - \ln \frac{r_2}{r_1}}{r_2 - r_1}. \quad (2.14)$$

Формула (2.14) позволяет вычислить δ при любых, но различных r_1 и r_2 .

Если для измерений использовать первый и второй донные импульсы, то для образца толщиной h

$$r_1 = 2a + 2h; \quad (2.15)$$

$$r_2 = 2a + 4h; \quad (2.16)$$

$$r_2 - r_1 = 2h, \quad (2.17)$$

где a – расстояние от эффективного акустического центра до поверхности ввода.

2.2 Оборудование и материалы

Для выполнения лабораторной работы используются: типовые ультразвуковые дефектоскопы, ультразвуковые преобразователи, образцы для исследований.

2.3 Порядок выполнения работы

2.3.1 Изучить устройство и принцип действия серийного ультразвукового дефектоскопа.

2.3.2 Провести измерения скорости в продольных образцах равной толщины из различных материалов.

Прозвучить образцы и определить время прохождения импульсного сигнала в каждом образце путем измерения времени между первым и вторым донными отражениями. Измерить толщины каждого образца и данные измерений внести в таблицу 2.1.

2.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать: цель работы, оборудование, используемое для выполнения работы, схемы исследования, результаты проведения исследований, расчеты, выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Какие свойства и характеристики материалов определяют значения скоростей распространения ультразвука?
- 2 Какие методы измерения скорости звука используются в практике?
- 3 В чем отличие фазовой и групповой скоростей?
- 4 Что такое дисперсия скорости звука?
- 5 Из каких основных структурных элементов состоят приборы для измерения скорости ультразвуковых волн?
- 6 В чем сущность импульсного метода измерения затухания УЗК?

3 Исследование оптических методов получения информации

Цель работы: изучить основы измерений оптическими методами, овладеть практическими навыками работы с простейшим электронным микроскопом.

3.1 Основные теоретические положения

Оптический размерный контроль основан на анализе взаимодействия оптического излучения с объектом. Информационными параметрами оптического излучения являются пространственно-временные распределения его амплитуды, частоты, фазы, поляризации и степени когерентности.

Для получения измерительной информации используют измерение этих параметров при взаимодействии оптического излучения с объектом контроля в соответствии с явлениями интерференции, дифракции, поляризации, преломления, поглощения, рассеяния, дисперсии света, а также изменение характеристик самого объекта контроля под действием света [1–3].

Наиболее простой метод – визуально-оптический. Он основан на получении увеличенного изображения объекта контроля на экране или в оптической системе для наблюдения непосредственно глазом оператора с последующим его сравнением с изображением, принятым за эталонное, или измерением. Для реализации этого метода применяются проекторы и микроскопы.

С помощью проекторов контролируют инструмент, резьбы, зубчатые колеса, объекты сложной формы и т. д. Существуют два основных способа проецирования: в отраженных и проходящих лучах. Большинство современных проекторов обладают измерительными функциями. Измерения производят путем сравнения изображения контролируемого изделия с чертежом или

шаблоном, выполненном в масштабе проекции и закрепленным на экране, или при перемещении предметного стола микровинтами до совмещения изображения контуров деталей с меткой на экране. Размер детали находят как разность соответствующих показателей микровинтов.

Основные типы оптических систем проекторов можно объединить в следующие группы:

- подобного увеличения;
- сведенного изображения;
- совмещенного и стереоскопического изображения;
- светового сечения;
- телевизионные.

Для измерения линейных размеров микрообъектов широко используются микроскопы. В этих приборах в поле зрения окуляра наряду с изображением объекта находится масштабная сетка или шкала. Посредством сравнения изображения объекта со шкалой определяют размер того или иного геометрического параметра.

Цифровой микроскоп Dino-Lite применяется для изучения непрозрачных поверхностей различных объектов, а также для их фотографирования и видеозаписи. Модель подключается к компьютеру при помощи USB-кабеля, изображение выводится на экран.

Программное обеспечение Dino Capture состоит из нескольких разделов:

- горизонтальное меню;
- меню инструментов работы с изображениями;
- горизонтальное меню предварительного просмотра изображения;
- панель инструментов;
- панель инструментов предварительного просмотра изображения.

3.2 Оборудование и материалы

Для выполнения лабораторной работы используются: электронный микроскоп, образцы, содержащие оптические волокна различного диаметра.

3.3 Порядок выполнения работы

3.3.1 Изучить основные теоретические положения, устройство и принцип действия микроскопа.

3.3.2 Измерить диаметры оптических волокон в образцах.

3.3.3 Определить толщину образцов.

3.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать: цель работы, перечень используемого оборудования, результаты измерений, выводы.

Контрольные вопросы

- 1 На каких физических принципах основаны оптические методы контроля геометрических параметров?
- 2 Устройство и принцип действия проекторов.
- 3 Устройство и принцип действия микроскопов.
- 4 Методы измерения геометрических размеров посредством микроскопа.
- 5 От чего зависит точность измерения глубины дефекта посредством микроскопа?
- 6 Сформулируйте основные законы геометрической оптики.
- 7 Как связаны показатель преломления среды и скорость распространения света в ней?
- 8 Почему при рассмотрении предмета через плоскую стеклянную пластинку он кажется расположенным ближе?

4 Исследование тепловых методов получения информации

Цель работы: изучить теоретические основы и основные приборы для измерения температуры, овладеть практическими навыками работы пирометром.

4.1 Основные теоретические положения

Тепловыми называются измерения, принцип осуществления которых основан на использовании тепловых процессов (нагрев, охлаждение, теплообмен), а входной величиной является температура. К тепловым преобразователям относятся термопары и терморезисторы (металлические и полупроводниковые) [1, 3].

Методы и средства измерения температуры принято делить на две большие группы – контактные и бесконтактные, которые, в свою очередь, подразделяются по физическим эффектам, положенным в основу принципа их действия.

К контактным методам относятся термометры расширения (ртутные, спиртовые и др.), а также биметаллические и дилатометрические термометры. К этому классу относят термопарные датчики, терморезистивные преобразователи, световодные датчики и многие термоиндикаторы.

Группу бесконтактных измерителей температуры составляют методы пирометрии и термометрии излучения.

Термометры расширения или жидкостные термометры. Жидкостные термометры могут быть как бытовыми, так и техническими. Жидкостный термометр работает по самой простой схеме – при изменении температуры, объем жидкости внутри термометра изменяется и при увеличении температуры – жидкость расширяется и ползет вверх, а при уменьшении – наоборот. Обычно в жидкостных термометрах применяется либо спирт, либо ртуть.

Термометры сопротивления (ТС) применяют в системах, где требуется дистанционная передача показаний. Принцип работы таких термометров основан на свойстве металлов изменять удельное сопротивление при изменении температуры.

Чувствительные элементы термометров сопротивления выполняют из медной (термометры сопротивления медные – ТСМ) или платиновой (ТСП) проволоки, намотанной на каркас.

Термопары применяют для измерения температур в пределах до 1800 °С. Действие термопары основано на следующем принципе. Если спаять два стержня из различных металлов, а затем спаянный (горячий) и свободные (холодные) концы поместить в среды с различными температурами, то между свободными концами стержней появляется разность потенциалов. Свободные концы стержней соединяют с приемником тока и получают электрическую цепь, в которой находится источник ЭДС.

Величина термоэлектродвижущей силы (ЭДС) в цепи зависит от разности температур, в которые помещены свободные и спаянный концы термопары, и от свойств металлов или сплавов, из которых изготовлены стержни.

Биметаллические термометры состоят из двух свальцованных друг с другом пластин из металлов с различными коэффициентами расширения (биметалл), искривляются при изменении температуры. Искривление находится в приблизительной пропорции с температурой.

Биметаллическая пластина легла в основу двух различных измерительных элементов:

- 1) винтовая пружина;
- 2) спиральная пружина.

В результате механической деформации биметаллических пластин при изменении температуры в указанных элементах возникает вращательное движение. Если внешний конец биметаллической измерительной системы жестко закреплен, то другой конец без промежуточного элемента проворачивает вал указательной стрелки.

Манометрические термометры применяют для измерения температуры в зоне аппарата. Принцип действия манометрических термометров основан на зависимости между температурой и давлением жидкости или газа при постоянном объеме. Измерительная система состоит из погружаемого элемента, капиллярного провода и трубчатой пружины в корпусе.

Данные элементы соединены в единое устройство, которое под давлением заполнено инертным газом. Изменение температуры влечёт изменение объема или внутреннего давления в погружаемом устройстве. Давление деформирует измерительную пружину, отклонение которой передается с помощью стрелочного механизма на стрелку. Диапазоны показаний лежат в пределах между минус 200 °С и плюс 700 °С.

Пирометрические методы измерений температуры охватывают широкий диапазон температур от 173 К до 6000 К, включающий в себя низкие, средние и высокие температуры. Эти методы основаны на определении параметров теплового излучения объекта без нарушения его температурного поля.

Тепловое излучение представляет собой электромагнитное излучение, возбуждаемое тепловым движением атомов и молекул в твердых, жидких и газообразных веществах. При температурах выше 4000 К излучение вызывается процессами диссоциации и ионизации.

Теория пирометрических методов измерений температуры основана на законах, устанавливающих связь между излучением абсолютно черного тела (АЧТ) и его температурой. Абсолютно черным телом называется тело, поглощающее все падающее на него излучение и, соответственно, способное при данной температуре излучать максимальную энергию.

Закон Планка устанавливает связь между абсолютной температурой и спектральным распределением потока излучения (светимости) АЧТ:

$$M_{\lambda T}^O = C_1 \lambda^{-5} (e^{C_2/(\lambda T)} - 1)^{-1}, \quad (4.1)$$

где $M_{\lambda T}^O$ – спектральная плотность потока излучения АЧТ.

Соответственно, первая и вторая постоянные излучения: $C_1 = 2\pi c^2 h = 3,741832 \cdot 10^{-16}$ Вт·м² и $C_2 = ch / r = 0,01438786$ м·К, где c – скорость света; h – постоянная Планка; r – постоянная Больцмана.

При малых значениях λT можно пользоваться законом Вина:

$$M_{\lambda T}^O = C_1 \lambda^{-5} e^{C_2/(\lambda T)}. \quad (4.2)$$

Полная энергия, излучаемая с единицы поверхности АЧТ в единицу времени, определяется законом Стефана – Больцмана:

$$M_T^O = \sigma T^4, \quad (4.3)$$

где σ – постоянная Стефана – Больцмана, $\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴).

Разработка чувствительных приемников инфракрасного (ИК) излучения позволяет применять, пирометрические методы для измерения не только высоких, но и низких температур. Приборы для измерения температур объектов по их тепловому электромагнитному излучению называются пирометрами.

В зависимости от естественной входной величины пирометры разделяются на *пирометры полного излучения (радиационные пирометры)*, воспринимающие полную (интегральную) энергию излучения, *пирометры частичного излучения (яркостные пирометры)*, основанные на зависимости от температуры энергетической яркости излучения в ограниченном диапазоне длин волн, и *пирометры спектрального отношения (цветовые пирометры)*, в которых используется зависимость от температуры отношения спектральных плотностей энергетических яркостей на двух или нескольких длинах волн.

Пирометры прямого преобразования обычно состоят из оптической системы, приемника излучения, измерительной цепи с вторичным прибором,

а в ряде случаев с микропроцессорным вычислительным устройством. В пирометрах уравнивающего преобразования, кроме того, имеется образцовый источник излучения. В зависимости от вида оптической системы, с помощью которой излучение передается на приемник излучения, пирометры разделяются на рефракторные с собирающей линзой, рефлекторные с собирающим зеркалом, световодные и комбинированные.

Пирометры полного излучения, или радиационные пирометры. Эти пирометры основаны на зависимости от температуры интегральной мощности излучения АЧТ во всем диапазоне длин волн, определяемой законом Стефана – Больцмана.

Например, для стальных изделий в зависимости от появления на них окисной пленки значение ϵ может изменяться от 0,1 до 0,9. Пирометр, градуированный по излучению АЧТ, при измерении на реальном объекте покажет так называемую радиационную температуру T_p , значение которой всегда меньше действительной температуры объекта T . Радиационной температурой объекта называется такая температура АЧТ, при которой его полная мощность излучения равна полной мощности излучения рассматриваемого объекта при температуре T .

Пирометры полного излучения применяются для измерения в диапазоне температур от минус 50 °С до плюс 3500 °С. Наиболее целесообразно использовать такие пирометры для измерения температуры объектов, излучательные свойства которых мало отличаются от свойств АЧТ. Этому условию удовлетворяют большинство закрытых печей и топок с малым отверстием, кожа человека, стекло, резина и др.

Пирометры частичного излучения. Их действие основано на использовании зависимости от температуры мощности излучения в ограниченном диапазоне длин волн. Рабочий диапазон измерений таких пирометров от минус 100 °С до плюс 6000 °С.

Разновидностью пирометра частичного излучения является *мономатричный яркостный пирометр*, основанный на сравнении энергетической яркости объекта исследования с энергетической яркостью образцового излучателя в узком участке спектра излучения. В качестве образцовых излучателей обычно используются лампы накаливания с плоской вольфрамовой нитью, которые при температуре нити ниже 1500 °С имеют стабильную зависимость яркости от тока накала нити.

Вследствие неполноты излучения реальных тел яркостные пирометры измеряют не действительную температуру тела T , а так называемую яркостную температуру T_y . Соотношение между действительной и яркостной температурами, как следует из законов излучения, определяется выражением

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_y} + \frac{\lambda}{C_2} \ln \epsilon_\lambda, \quad (4.4)$$

где ϵ_λ – коэффициент теплового излучения для длины волны λ .

Большинство яркостных пирометров, работающих в видимой области спектра, снабжаются красным светофильтром, обеспечивающим эффективную длину волны, равную $(0,656 \pm 0,008)$ мкм.

Пирометры спектрального отношения, или цветковые пирометры. Они показывают так называемую цветовую температуру тела T_c – условную температуру, при которой АЧТ имеет такое же относительное спектральное распределение энергетической яркости, что и исследуемое реальное тело с действительной температурой T .

Показания пирометра спектрального отношения соответствуют действительной температуре, если объект является абсолютно черным или серым телом, т. е. таким телом, у которого излучательная способность для всех длин волн одинакова.

Погрешности пирометров спектрального отношения меньше, чем у пирометров полного или частичного излучения. Их показания принципиально не зависят от расстояния до объекта исследования, а также от поглощения излучения в промежуточной среде между объектом и пирометром.

В большинстве серийно выпускаемых пирометров модуляция излучения осуществляется при помощи механических модуляторов, приводимых в движение синхронными микродвигателями. В качестве приемников излучения применяются термобатарей (в пирометрах полного излучения), фотодиоды, фоторезисторы или пироэлектрические приемники. В некоторых приборах приемники излучения термостатированы.

Тепловидение и термографы. Пирометрические методы находят все более широкое применение для получения видимого изображения и регистрации температурного поля поверхности различных объектов. Приборы для наблюдения и исследования объектов по их тепловому излучению называются тепловизорами, термографами или тепловизионными микроскопами.

Первые приборы, разработанные для ночного видения, основанные на применении электронно-оптических методов усиления и визуализации фотоэлектронов, имели спектральный диапазон чувствительности до 1,3 мкм и позволяли наблюдать распределение температур только выше 400 °С.

Телевизионные приемные трубки-видиконы с фоторезистивным слоем из пленки оксида свинца или сульфида оксида свинца чувствительны к излучению до 2 мкм. Чувствительные телекамеры, снабженные такими видиконами, дают возможность определить температурное поле при температурах выше 250 °С.

Создание чувствительных приемников инфракрасного излучения, спектральная чувствительность которых простирается далеко в инфракрасную область спектра, открыло широкие возможности для развития термографии и тепловидения объектов с более низкими температурами.

Телевизионные приемники инфракрасного излучения, в которых видикон выполнен со сканируемой поверхностью из пироэлектрического кристалла триглицилсульфата, позволяют создавать чувствительные пироэлектрические тепловизоры, известные под названием пиротронов, пироконов или видиконов

пироэлектрических, которые обеспечивают прием инфракрасного излучения вплоть до 40 мкм.

В серийно выпускаемых тепловизорах и термографах пока в основном применяются дискретные приемники инфракрасного излучения и оптико-механические, системы развертки изображения при помощи вращающихся или колеблющихся зеркал или призм.

В качестве приемников излучения сейчас преимущественно применяются фоторезисторы из антимонида индия, охлаждаемые жидким азотом до минус 196 °С. Такие приемники имеют постоянную времени 1 мкс, что позволяет в зависимости от требуемого геометрического разрешения получать кадры с частотой 0,5...60 Гц. Низкая частота кадров пока ограничивает применение тепловизоров при исследовании динамики тепловых процессов и наблюдении быстро движущихся объектов. Можно увеличить геометрическое разрешение и частоту кадров применением нескольких приемников, соединенных в строку или детекторную матрицу.

Для исследования температурных полей малых объектов разработаны тепловизорные микроскопы и микрорадиометры, применяемые, например, для исследования температурного поля микросхем с целью обнаружения скрытых дефектов. В таких приборах используется микроскопная оптика с увеличением от 3 до 125.

4.2 Оборудование и материалы

Для выполнения лабораторной работы используются: пирометры, образцы для измерения температуры

4.3 Порядок выполнения работы

4.3.1 Изучить основные виды приборов для измерения температуры и их теоретические основы.

4.3.2 Изучить основные теоретические положения бесконтактных методов измерения температуры.

4.3.3 Изучить по техническим паспортам устройство и принцип действия пирометров.

4.3.4 Провести измерения температуры пирометрами.

4.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать: цель работы, перечень используемого оборудования, результаты измерений, выводы.

Контрольные вопросы

1 Что лежит в основе теории бесконтактного метода измерения температуры?

2 На какие виды, в зависимости от естественной входной величины, разделяются пирометры?

3 Из каких основных блоков состоит пирометр?

4 Какие устройства, кроме пирометров, можно использовать для бесконтактного измерения температуры?

5 Какие виды термометров применяются для измерения температуры?

6 Поясните принцип действия жидкостного термометра? Какие жидкости могут использоваться в данных термометрах?

7 На чем основаны измерения с помощью термопар?

8 Назовите принцип действия термометра сопротивления. Какие материалы могут использоваться для их изготовления?

9 Назовите принципы действия биметаллического и манометрического термометров.

10 Поясните принцип действия тепловизора.

5 Исследование магнитных методов получения информации

Цель работы: изучить принцип действия преобразователя Холла, приобрести навыки работы с приборами для измерения напряженности магнитного поля.

5.1 Основные теоретические положения

Магнитные методы получения информации основаны на физических эффектах, результатом которых является преобразование в электрический сигнал характеристик магнитных полей или магнитных характеристик материалов и изделий. Обычно при данном виде измерительных преобразований объект измерения или его часть помещается в постоянное или переменное магнитное поле, создаваемое за счет протекания электрического тока по проводнику, обмотке или непосредственно по объекту, а также постоянными магнитами [1, 3, 4].

Основными величинами, характеризующими магнитное поле, являются магнитный поток, магнитная индукция и напряженность магнитного поля. Измеряемые магнитные величины обычно предварительно преобразуются в электрические величины, более удобные для измерения. Преобразователи строятся на основе явлений электромагнитной индукции, ядерного магнитного резонанса, гальваномагнитного и некоторых других явлений [1].

Действие индукционных измерительных преобразователей основано на явлении электромагнитной индукции, суть которого заключается в возникновении в замкнутом проводящем контуре, пронизываемом изменяющимся во времени магнитным потоком Φ , ЭДС индукции e :

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (5.1)$$

Электрический ток, вызываемый этой ЭДС, называется индукционным.

Согласно (5.1) ЭДС индукции прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока. Знак минус в правой части выражения определяет направление индукционного тока в соответствии с правилом Ленца, согласно которому индукционный ток в контуре направлен так, что создаваемый им магнитный поток стремится препятствовать тому изменению магнитного потока, которое вызывает данный ток (следствие закона сохранения энергии).

Действие *магнитомодуляционных преобразователей* основано на проявлении нелинейных свойств ферромагнетиков при их намагничивании одновременно в полях разных частот [1].

В отличие от пассивных индукционных преобразователей магнитомодуляционные (феррозондовые преобразователи) являются устройствами активного типа. Происходящие в них процессы всегда связаны со взаимодействием минимум двух магнитных полей – внешнего измеряемого и вспомогательного поля возбуждения, создаваемого за счет протекания электрического тока в одной из обмоток. Благодаря этому появляется возможность преобразования в электрический сигнал на основе явления электромагнитной индукции характеристик постоянных магнитных полей без использования механического вращения индукционной измерительной обмотки.

Действие гальваномагнитных преобразователей основано на использовании гальваномагнитных явлений, связанных с действием магнитного поля на электрические (гальванические) свойства проводников и полупроводников, по которым протекает электрический ток. Наибольшее значение имеют поперечные гальваномагнитные явления, когда силовые линии магнитного поля перпендикулярны направлению электрического тока. К ним относятся эффект Холла и магниторезистивный эффект – эффект Гаусса.

Преобразователь Холла. В 1880 г. Холлом было обнаружено явление, названное впоследствии *гальваномагнитным эффектом Холла*. Принцип действия рассматриваемого преобразователя основан на эффекте Холла, который заключается в следующем. Если пластинку из металла или полупроводника поместить в магнитное поле напряженностью H и по ней пропустить ток I , то на противоположных гранях пластины появится ЭДС. (рисунок 5.1) [1, 3].

Эффект Холла объясняется действием силы на электрический заряд, движущийся в магнитном поле, и может проявляться как в металлах, так и в полупроводниках, причем в последних он проявляется значительно сильнее. Поэтому в качестве материалов для преобразователей Холла используют исключительно полупроводники (кремний, германий и др.). ЭДС Холла определяется по формуле (без учета знака)

$$U_x = R_x \frac{IB}{d}, \quad (5.2)$$

где R_x – постоянная Холла.

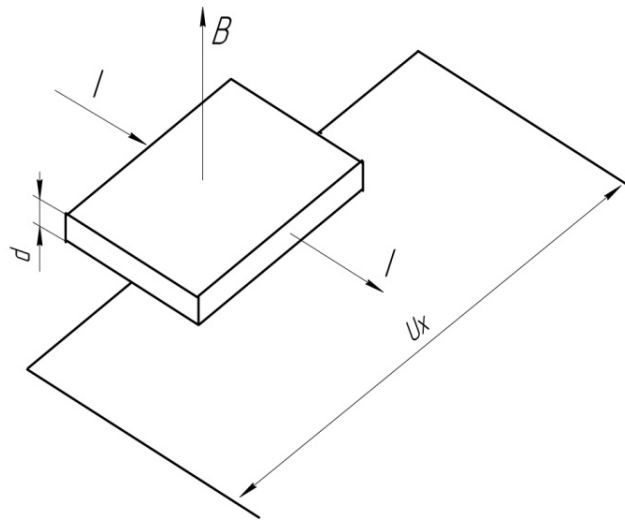


Рисунок 5.1 – Преобразователь Холла

Основными достоинствами датчиков Холла являются пропорциональность ЭДС Холла напряженности магнитного поля, малый размер чувствительного элемента преобразователя, возможность измерения как постоянного, так и переменных магнитных полей в широком диапазоне от 10 до 10^7 А/м.

Обычно, если измеряют переменные магнитные поля, то преобразователь запитывают постоянным током и наоборот. Размер чувствительного элемента преобразователя может достигать $0,01 \times 0,01$ мм и меньше.

Достоинством приборов на основе как постоянных, так и переменных магнитных полей, является хорошее пространственное разрешение благодаря малым размерам преобразователей.

Недостаток – большая зависимость ЭДС Холла от температуры. Основная погрешность составляет десятые доли процента. Диапазон измерений от сотых долей до единиц тесла.

Магниторезистивный эффект заключается в изменении электрического сопротивления твердых проводников под действием внешнего магнитного поля. Это изменение обусловлено увеличением удельного электрического сопротивления проводящего материала под действием магнитного поля [1].

Причина магниторезистивного эффекта, как и в случае эффекта Холла, заключается в искривлении траекторий носителей заряда под действием магнитного поля. Количественно эффект зависит от материала гальваномагнитного элемента и его формы.

5.2 Оборудование и материалы

Для выполнения лабораторной работы используются: электромагнит, соленоид, система проводников, прибор для измерения характеристик магнитного поля с датчиком Холла.

5.3 Порядок выполнения работы

5.3.1 Изучить инструкцию по эксплуатации прибора для измерения характеристик магнитного поля.

5.3.2 Провести измерения характеристик магнитного поля на поверхности образца, содержащего искусственный дефект.

5.3.3 Изобразить топографию магнитного поля в окрестностях исследуемого объекта.

5.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать: цель работы, перечень используемого оборудования, результаты измерений, топографию индукции магнитного поля на поверхности образца.

Контрольные вопросы

- 1 На каком принципе основана работа преобразователей Холла?
- 2 Какие существуют преобразователи для измерения характеристик магнитного поля?
- 3 На каком принципе основана работа индукционных преобразователей?
- 4 Какие преобразователи относят к активным?
- 5 Можно ли по результатам проведения экспериментов судить о качестве образца?
- 6 Поясните принцип действия магниторезистивных первичных преобразователей.

6 Исследование электрических методов получения информации

Цель работы: ознакомиться с основами электрических методов измерений, построить картину эквипотенциальных линий в электролитической ванне.

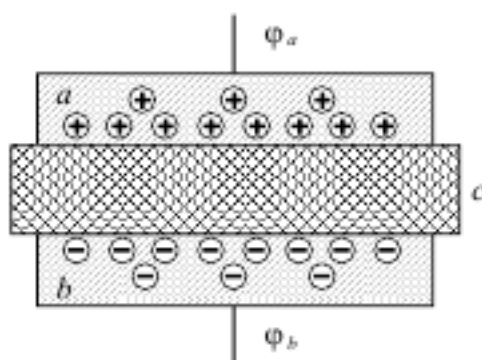
6.1 Основные теоретические сведения

Электрические методы получения информации основаны на физических эффектах, результатом которых является преобразование в электрический

сигнал характеристик электрических полей или электрических характеристик материалов и изделий. Обычно при данном виде получения информации объект измерения или его часть помещается в постоянное или переменное электрическое поле, создаваемое между электродами, контактирующими с электропроводящим объектом измерения (электропотенциальные и электрохимические измерительные преобразователи), либо между обкладками электрического конденсатора (электроемкостные измерительные преобразователи) [1–5].

Емкостный метод получения информации основан на зависимости комплексного электрического сопротивления конденсатора от различных факторов.

Конденсатор образуется двумя сближенными проводниками, разделенными диэлектриком (рисунок 6.1).



a, b – проводники; c – диэлектрик

Рисунок 6.1 – Электрический конденсатор

Проводники заряжаются равными и противоположными по знаку зарядами q . Вследствие взаимного притяжения разноименных зарядов поверхностная плотность зарядов будет выше на обращенных друг к другу частях поверхностей проводников, чем на других частях. Между проводниками должна существовать разность потенциалов $U = \varphi_a - \varphi_b$. Оценка конденсаторов производится по величине электрической емкости C , представляющей собой отношение величины заряда q к разности потенциалов U :

$$C = \frac{q}{U}. \quad (6.1)$$

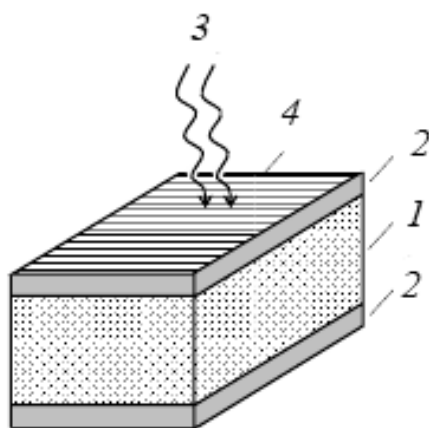
При использовании емкостных первичных преобразователей в качестве информативного параметра выходного электрического сигнала конденсатора может использоваться не только значение емкости, но и значение активного сопротивления конденсатора.

Электропотенциальные методы получения информации основаны на зависимости распределения электрического потенциала на поверхности объекта, по которому протекает электрический ток, от свойств этого объекта.

Действие пьезоэлектрических измерительных преобразователей основано на использовании прямого и обратного пьезоэлектрических эффектов (пьезоэффектов). Эти эффекты наблюдаются в ряде диэлектриков: природных кристаллах, таких как кварц (химическая формула SiO_2), поляризованных керамических материалах и некоторых полимерах, например поливинилиденфториде. Материалы, обладающие пьезоэлектрическими свойствами, называются пьезоэлектриками. Сущность прямого пьезоэффекта заключается в электрической поляризации пьезоэлектриков, проявляющейся появлением электрических зарядов на их поверхности, под действием механической деформации. Слово «пьезо» происходит от греческого *piezen*, означающего давление. Пьезоэффект является обратимым физическим явлением. Обратный пьезоэффект заключается в возникновении в пьезоэлектриках механического напряжения или деформации под действием электрической поляризации.

Родственным пьезоэлектрическому по физической природе является пироэлектрический эффект, сущность которого заключается в поляризации диэлектрика вследствие нагрева. Подобно описанным выше пьезоэлектрикам пироэлектрики можно рассматривать как совокупность упорядоченно расположенных электрических диполей. Нагрев пироэлектрика приводит в результате теплового расширения к его деформации и проявлению пьезоэффекта. Кроме того, появлению поляризационных зарядов способствует тепловая деформация (удлинение) и нарушение первоначальной ориентации отдельных диполей.

На рисунке 6.2 схематично показана структура пироэлектрического преобразователя, представляющего собой прямоугольный параллелепипед *1* из пироэлектрического материала, противоположные грани которого имеют электроды *2* для сбора индуцированных теплом электрических зарядов. Электрод, который подвергается воздействию теплового потока *3*, покрыт теплопоглощающим слоем *4*.



1 — пироэлектрический материал; *2* — электроды; *3* — тепловой поток; *4* — теплопоглощающий слой

Рисунок 6.2 — Пироэлектрический преобразователь

Возникающая в результате проявления пирозффекта разность потенциалов U связана с изменением температуры кристалла ΔT выражением

$$U = \frac{p_n h}{\varepsilon} \Delta T, \quad (6.2)$$

где p_n – пирозлектрический коэффициент;

h – толщина кристалла;

ε – диэлектрическая проницаемость материала.

Действие преобразователей на использовании тензоэффекта, заключающегося в изменении активного электрического сопротивления проводников или полупроводников при их механической деформации. Характеристикой тензоэффекта материала является коэффициент относительной тензочувствительности k , определяемый как отношение относительного изменения сопротивления R к относительному изменению длины проводника l :

$$k = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l}. \quad (6.3)$$

Измерение характеристик электрического поля. Взаимодействие неподвижных электрических зарядов происходит через электрическое поле, образующееся вокруг этих зарядов. На каждый заряд действует электрическое поле, созданное остальными зарядами. Поле, созданное зарядами, неподвижными в данной системе отсчета, называют *электростатическим* [2].

Электрическое поле есть физическая реальность; возмущения в поле передаются с конечной скоростью, равной скорости распространения света.

Основными количественными характеристиками электростатического поля являются вектор напряженности \vec{E} и скалярный потенциал.

Векторные характеристики электростатического поля изучают, помещая в него положительный точечный пробный заряд, и наблюдают действующую на него со стороны поля силу. Отношение силы \vec{F} , влияющей на этот пробный заряд, к его величине q_{np} зависит от величины заряда и характеризует данную точку поля. Это отношение определяет физическую величину, называемую вектором *напряженности электростатического поля*:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{np}}. \quad (6.4)$$

Чтобы не вносить изменения в исследуемое поле, пробный заряд берется достаточно малым. Если положить, что $q_{np} = +1$ Кл, то \vec{E} по величине и направлению совпадает с силой \vec{F} .

Таким образом, *напряжённость электростатического поля в некоторой точке является векторной физической величиной, равной вектору силы, действующей на единицу положительного заряда, помещённого в эту точку.*

Например, поле точечного заряда описывается выражением

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}, \quad (6.5)$$

где q – величина заряда, создающего поле;

\vec{r} – радиус-вектор, проведенный от заряда q к точке поля;

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

ϵ_0 – электрическая постоянная.

Силовой линией или линией напряженности электростатического поля называется линия, в каждой точке которой вектор напряженности направлен по касательной. Например, линиями напряженности поля положительного точечного заряда являются радиальные линии, исходящие из этого заряда. Такое поле называют центральным.

Силы поля, перемещая точечный заряд, совершают работу, которая зависит от начального и конечного положений заряда в пространстве и не зависит от выбора траектории движения. Работа по замкнутой траектории в этом случае будет равна нулю. Такое поле называется *потенциальным*. Каждой точке пространства можно сопоставить значение потенциальной энергии W перемещаемого заряда. Работа поля по перемещению заряда из одной точки поля в другую будет равна разности потенциальных энергий:

$$A_{12} = W_1 - W_2. \quad (6.6)$$

Отношение потенциальной энергии W положительного точечного пробного заряда к величине этого заряда q_{np} , называется *потенциалом поля* φ . Тогда разность потенциалов двух точек поля равна отношению работы сил поля по перемещению положительного точечного заряда из одной точки поля в другую к величине этого заряда.

Учитывая, что в общем случае $A_{12} = \int_1^2 \vec{F} d\vec{l} = \int_1^2 q_{np} \vec{E} \cdot d\vec{l}$, получим

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l}, \text{ где интегрирование можно производить вдоль любой линии } l,$$

соединяющей начальную и конечную точки поля 1 и 2.

Потенциал электростатического поля данной точки численно равен работе, которую совершат силы поля при перемещении положительного единичного заряда из данной точки в бесконечно удалённую, потенциал которой считается равным нулю:

$$\varphi = \int_r^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_r^{\infty} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot dr = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (6.7)$$

Геометрическое место точек поля, имеющих один и тот же потенциал, называют *эквипотенциальной поверхностью*. Например, эквипотенциальными поверхностями поля точечного заряда являются концентрические сферы.

Силловые линии электростатического поля перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям. Действительно, если мысленно перемещать пробный заряд по эквипотенциальной поверхности (рисунок 6.3), то работа $dA = -qd\varphi = 0$ ($\varphi = \text{const}$, $d\varphi = 0$).

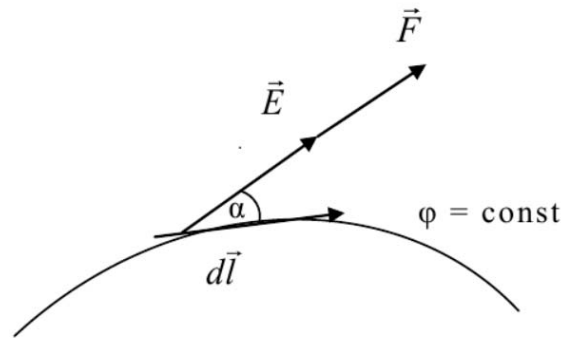


Рисунок 6.3 – Перемещение заряда по эквипотенциальной поверхности

Это возможно, если сила перпендикулярна перемещению.

Изменение потенциала на единицу длины по направлению вектора \vec{l} (рисунок 6.4) характеризуется производной по этому направлению:

$$\frac{\partial\varphi}{\partial l} = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta l}. \quad (6.8)$$

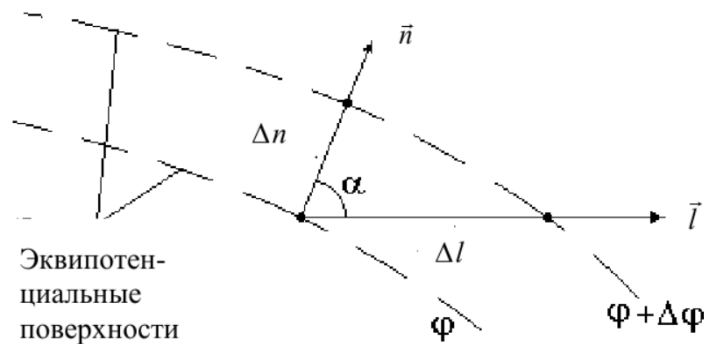


Рисунок 6.4 – Определение производной

Расстояние между двумя точками этих поверхностей по направлению вектора \vec{l} равно Δl , по направлению нормали \vec{n} к поверхности – Δn . Тогда
$$\Delta l = \frac{\Delta n}{\cos \alpha}.$$

В этом случае формула (6.8) запишется в виде

$$\frac{\partial \varphi}{\partial l} = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta l} = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta n} \cdot \cos \alpha = \frac{\partial \varphi}{\partial n} \cdot \cos \alpha. \quad (6.9)$$

Согласно соотношению (6.9) изменение потенциала на единицу длины будет максимальным при $\alpha = 0$, т. е. по нормали \vec{n} .

Вектор, направленный в сторону увеличения потенциала и равный производной потенциала по направлению нормали к эквипотенциальной поверхности, называется *градиентом потенциала* и обозначается

$$\text{grad} \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial n} \cdot \vec{n}, \quad (6.10)$$

где \vec{n} – единичный вектор нормали.

Работа по переносу пробного заряда из точки 1 в точку 2 вдоль нормали \vec{n} :

$$dA = F_n dn = qE_n dn, \quad (6.11)$$

но, с другой стороны,

$$dA = -q d\varphi. \quad (6.12)$$

Приравнивая правые части записанных выражений, получим связь между напряженностью и потенциалом:

$$E_n = -\frac{d\varphi}{dn}. \quad (6.13)$$

Из этого соотношения видно, что вектор \vec{E} направлен по нормали к эквипотенциальной поверхности в сторону убывания потенциала, т. е. векторы напряженности поля и градиенты потенциала равны по модулю, но противоположны по направлению:

$$\vec{E} = -\text{grad} \varphi. \quad (6.14)$$

Вектор напряженности электрического поля противоположен градиенту потенциала, т. е. направлен по нормали к эквипотенциальной поверхности в сторону уменьшения потенциала.

Градиент и напряженность измеряются в одних и тех же единицах: вольт на метр.

Графически электрические поля изображают при помощи силовых линий и эквипотенциальных поверхностей. Силовые линии рекомендуется проводить сплошными линиями, эквипотенциальные поверхности – пунктирными. Силовые линии и эквипотенциальные поверхности взаимно перпендикулярны, причем эквипотенциальные поверхности проводят так, чтобы значения потенциалов соседних поверхностей отличались бы на одно и то же значение, допустим, на 1 В, а число силовых линий на единицу площади, перпендикулярной направлению поля, было бы пропорционально модулю напряженности этого поля.

Например, изображение поля точечного заряда представлено на рисунке 6.5.

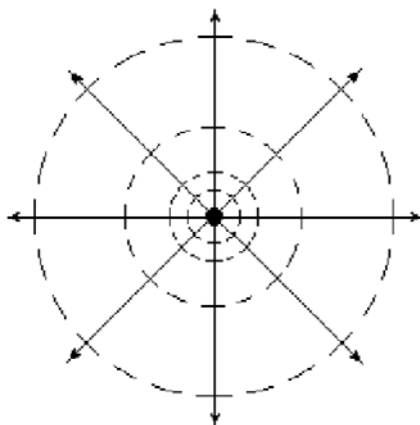


Рисунок 6.5 – Графическое изображение поля точечного заряда

По картине поля можно рассчитать усредненную напряженность поля в некоторой области

$$\langle E \rangle = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta n},$$

где $\langle E \rangle$ – усредненная напряженность поля;

$\Delta\varphi$ – разность потенциалов между соседними эквипотенциальными поверхностями;

Δn – расстояние между этими поверхностями по нормали.

6.2 Оборудование и материалы

Для выполнения лабораторной работы используются: электролитическая ванна, источник переменного напряжения 15 В, вольтметр переменного тока АВО-63, набор образцов электродов и электрический зонд.

6.3 Порядок выполнения работы

6.3.1 Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями о первичных преобразователях, электрических полях, методах их моделирования.

6.3.2 Собрать экспериментальную установку. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 6.6.

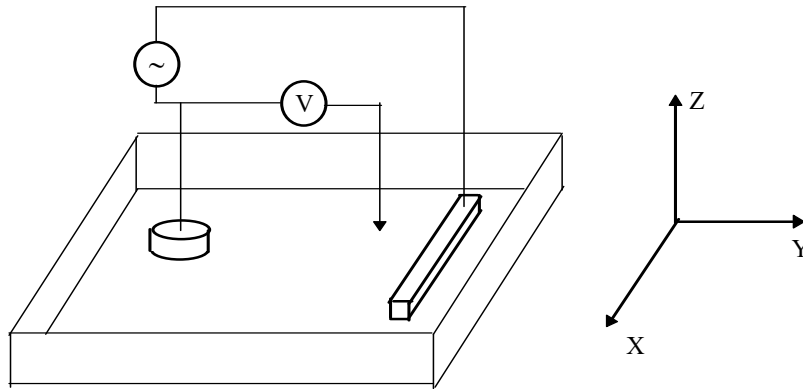


Рисунок 6.6 – Схема экспериментальной установки

Источник напряжения подключен к электродам системы, расположенным в ванне, наполненной водопроводной водой. Между подвижным электрическим зондом и одним из выводов источника питания включен вольтметр для измерения потенциалов поля системы.

6.3.3 По заданию преподавателя исследовать электрические поля в электролитической ванне.

6.3.4 По результатам измерений построить картину силовых линий исследуемого поля.

6.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать: цель лабораторной работы, приборы и материалы, схемы, по которым проводятся эксперименты, картина поля в масштабе, полученная в результате проведения эксперимента, выводы.

Контрольные вопросы

- 1 На чем основаны электрические методы получения информации?
- 2 Какие преобразователи используются при проведении измерений?
- 3 На чем основано действие емкостных первичных преобразователей?
- 4 Что кроме емкости может использоваться в качестве информативного параметра у емкостных преобразователей?
- 5 Поясните основы электропотенциальных методов получения информации.

6 На чем основано действие пьезоэлектрических измерительных преобразователей?

7 Какое поле называется электростатическим? Что называют напряженностью электростатического поля, в каких единицах она измеряется?

8 Выведите формулу напряженности поля точечного заряда.

9 Какое поле называется потенциальным, однородным, центральным?

10 Запишите условие потенциальности электростатического поля.

11 Что называется потенциалом? Выведите формулу потенциала точечного заряда.

12 Что называют градиентом потенциала и как он связан с напряженностью электрического поля?

7 Исследование радиоволновых методов получения информации

Цель работы: изучить особенности радиоволновых методов получения информации на примере определения диэлектрической проницаемости материалов, научиться измерять диэлектрическую проницаемость листовых диэлектрических материалов.

7.1 Основные теоретические положения

Диэлектрическая проницаемость материалов является важным параметром, который во многом определяет состав материала и его электрические свойства. В настоящее время изделия из полимерных материалов находят огромное применение в различных областях человеческой деятельности. При этом уровень контроля таких готовых изделий достаточно высок, что нельзя сказать про контроль технологических параметров при их изготовлении. Поэтому важной задачей является контроль технологических процессов изготовления пластмассовых изделий и материалов [1].

Наиболее важными технологическими параметрами, требующими контроля, являются влажность всех компонент, вязкость связующего, кинетика твердения, плотность материала на всех стадиях его изготовления, упругие и прочностные характеристики армирующего наполнителя (диаметр волокон, толщины слоев). Важным вопросом также является контроль готовых изделий на наличие дефектов. Особенностью такого контроля является то, что все эти параметры необходимо определять непосредственно в технологическом процессе. Это накладывает на применяемый метод существенные ограничения, связанные с быстродействием его реализации. Особое предпочтение отдается системам обработки и визуализации результатов контроля, т. е. автоматизированным системам.

Для измерения диэлектрической проницаемости материалов разработано большое количество радиоволновых методов.

Сущность метода исследования диэлектриков в свободном пространстве

(метода свободного пространства) состоит в сравнении параметров электромагнитной волны, прошедшей через геометрически правильный диэлектрический образец или им отраженной, с параметрами волны, проходящей тоже пространство без образца, либо с волной, отраженной от идеального отражателя.

Под идеальным отражателем понимается плоский металлический экран, практически не создающий при отражении электромагнитной волны потерь и фазовых искажений ее фронта.

Комплексная диэлектрическая проницаемость материала в сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн может быть измерена в свободном пространстве с помощью интерферометров, большинство из которых является аналогами хорошо известных оптических интерферометров Майкельсона и Фабри – Перо. На СВЧ применяются также и более простые двух- и однорупорные интерферометры, основанные на взаимодействии двух волн. В последнем случае исследуемый диэлектрический объект устанавливается между передающей и приемной антеннами (рупорами) или между приемно-передающим рупором и зеркалом-отражателем интерферометра. Диэлектрическая проницаемость материала рассчитывается обычно через величину перемещения одного из рупоров или зеркала-отражателя интерферометра, в результате чего восстанавливаются показания индикатора, существовавшие до установки исследуемого объекта. В схеме однорупорного интерферометра используется автодинный клистронный генератор, одновременно играющий роль фазового детектора при воздействии на него электромагнитной волны, отраженной зеркалом-отражателем интерферометра.

Реальные размеры отражателей СВЧ-интерферометров, а также размеры исследуемых образцов гораздо меньше, чем соответствующие размеры оптических интерферометров по отношению к длине волны. Это приводит к возникновению дифракции, искажающей результаты измерений. Чтобы исключить ее влияние, размеры отражателей и диэлектрических пластин должны быть, по крайней мере, на порядок больше длины волны. То же самое требование справедливо и по отношению к образцам, применяемым при измерениях поляризационными методами, по углу Брюстера и во всех известных других случаях, когда исследуемый образец располагается в свободном пространстве. Понятно, что рассмотренные методы наиболее приемлемы для измерений в миллиметровом диапазоне волн. Измерения в сантиметровом диапазоне, и особенно в его длинноволновой части, требуют применения образцов значительных размеров.

Значения относительной диэлектрической проницаемости ϵ' и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ можно определить, используя волноводную измерительную линию. Для этого необходимо заполнить волновод измерительной линии образцом из исследуемого диэлектрика и измерить постоянную распространения основной моды волновода.

Для определения диэлектрической проницаемости материалов применяют резонаторный метод, основанный на регистрации изменения резонансной частоты и добротности СВЧ-резонатора, обусловленной комплексной

диэлектрической проницаемостью контролируемого материала. Обычно используется полуоткрытый резонатор, одну из стенок или часть стенки которого составляет контролируемый объект в виде диэлектрической или керамической пластины. Этот метод хорошо работает при контроле электрофизических параметров полупроводниковых пластинок.

Для определения диэлектрической проницаемости листовых тонкослойных материалов применяется метод поверхностных волн, основанный на измерении частотной зависимости коэффициента передачи диэлектрического волновода, контактирующего с листовым диэлектриком. Этот метод обеспечивает определение диэлектрической проницаемости с погрешностью $\pm 4\%$ для материалов толщиной от 2 до 20 мм с диэлектрической проницаемостью от 4 до 15. Локальность метода позволяет проводить контроль на участке 5×15 мм при использовании СВЧ-излучения в диапазоне частот от 50 до 80 ГГц. Достоинством этого метода является слабая зависимость результата контроля от изгиба контролируемого слоя, величины зазора между поверхностью объекта и преобразователем и коэффициента стоячей волны СВЧ-тракта. При применении двух диэлектрических волноводов разных типов удается определить как диэлектрическую проницаемость, так и толщину слоистого диэлектрика. Недостатком метода является ограниченный диапазон толщин, что связано с затуханием эванесцентных волн волновода при удалении от его поверхности.

Для определения диэлектрической проницаемости диэлектрических слоевых материалов используется также частотный метод, аналогичный частотному методу толщинометрии.

7.2 Оборудование и материалы

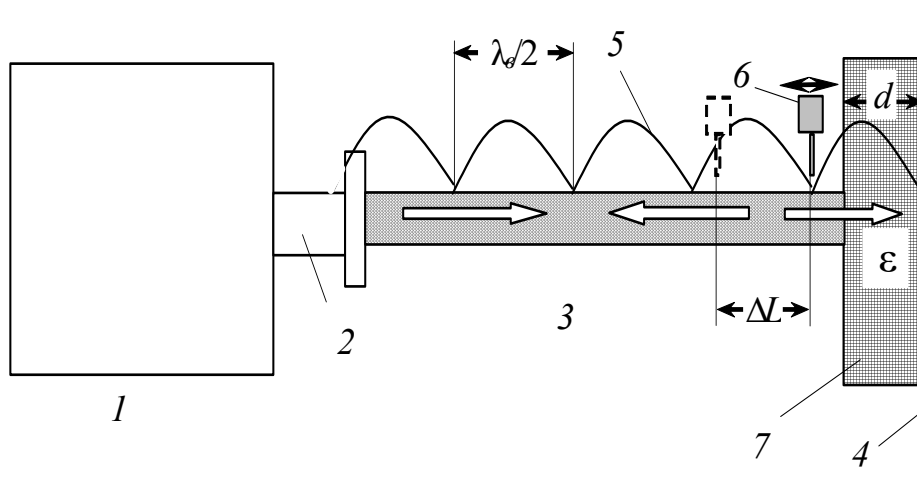
Для выполнения лабораторной работы используются: СВЧ-генератор, полый металлический волновод, диэлектрический волновод, металлическое зеркало, зонд, мультиметр, образцы с различной диэлектрической проницаемостью

7.3 Порядок выполнения работы

7.3.1 Собрать лабораторную установку в соответствии с рисунками 7.1 и 7.2. Ознакомиться с принципом работы лабораторной установки.

Лабораторная установка работает следующим образом. СВЧ-излучение от генератора 1 из металлического волновода 2 вводится в одномодовый диэлектрический волновод 3 и отражается от плоского металлического зеркала 4, которое изначально устанавливается вплотную к выходному торцу одномодового диэлектрического волновода 3. СВЧ-излучение практически полностью отражается от плоского металлического зеркала 4, и в результате интерференции падающего на зеркало 4 и отраженного от него излучения в одномодовом диэлектрическом волноводе 3 образуется стоячая волна 5, период которой равен половине длины волны в волноводе λ_g . Так как в работе

используется одномодовый диэлектрический волновод, в котором электромагнитная волна распространяется в виде основной моды с эффективным показателем преломления $n_{эф}$, то эта волна проникает в граничную с волноводом среду в виде неоднородной волны, амплитуда которой экспоненциально уменьшается при удалении от поверхности волновода, в результате чего вблизи поверхности волновода также образуется стоячая волна с тем же периодом, что и в волноводе.



1 – СВЧ-генератор Г4-109; 2 – секция полого металлического волновода; 3 – отрезок диэлектрического волновода; 4 – металлическое зеркало; 5 – стоячая СВЧ-волна; 6 – зонд детекторной секции; 7 – объект контроля

Рисунок 7.1 – Схема лабораторной установки

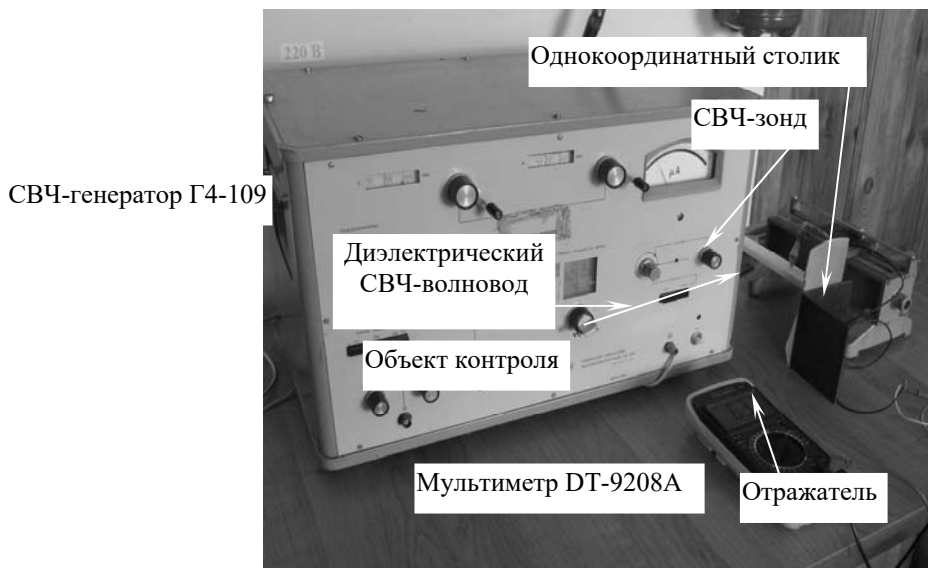


Рисунок 7.2 – Лабораторная установка

Использование в качестве отражателя СВЧ-излучения плоского металлического зеркала 4 приводит к тому, что узел стоячей волны всегда располагается на поверхности зеркала, от которой отражается излучение. Для

регистрации распределения излучения в стоячей волне вблизи поверхности волновода устанавливается антенна-зонд детекторной секции 6 в такое положение, где наблюдается узел стоячей волны. Эта антенна имеет возможность перемещаться контролируемым образом вдоль продольной оси волновода.

Затем между выходным торцом волновода и металлическим зеркалом располагается контролируемый образец с неизвестной диэлектрической проницаемостью ε и известной толщиной d . Он устанавливается таким образом, что одна его поверхность располагается вплотную к выходному торцу волновода, а другая – вплотную к поверхности плоского металлического зеркала 4. После установки зеркала 4 узлы стоячей волны смещаются в направлении зеркала 4 на расстояние ΔL , которое измеряется перемещением антенны-зонда детекторной секции 6. Оптический путь, проходимый СВЧ-волной по волноводу на расстоянии ΔL , равен оптическому пути, проходимый волной через контролируемый образец:

$$n_{эф} \Delta L = d \sqrt{\varepsilon}. \quad (7.1)$$

Из этого выражения определяется диэлектрическая проницаемость:

$$\varepsilon = \left(\frac{\Delta L \cdot n_{эф}}{d} \right)^2. \quad (7.2)$$

7.3.2 Определить эффективный показатель преломления волноводной моды диэлектрического СВЧ-волновода (без установки контролируемого образца).

Установить частоту генератора Г4-109 на цифру 10 ГГц и мощность генератора 2 мВт (показания микроамперметра 20 мкА).

Зонд детекторной секции установить таким образом, чтобы он мог перемещаться вдоль продольной оси волновода на расстоянии 1...2 мм от поверхности волновода.

Перемещением зонда детекторной секции установить его в узле стоячей волны (минимум интерференционной картины), расположенном вблизи металлического зеркала. Отметить местоположение этого узла. Затем, перемещая зонд вдоль волновода в направлении к СВЧ-генератору, определить местоположение пятого по счету узла стоячей волны. По результатам измерений определить величину периода стоячей волны Λ .

По измеренному значению периода стоячей волны в миллиметрах определить эффективный показатель преломления волноводной моды по формуле

$$n_{эф} = \frac{15,81}{\Lambda}.$$

7.3.3 Определить диэлектрическую проницаемость различных материалов. Перемещением зонда детекторной секции установить его в узле стоячей волны (минимум интерференционной картины), расположенном вблизи металлического зеркала (не обязательно самом близком к зеркалу). Отметить местоположение этого узла.

С помощью микрометра или штангенциркуля измерить толщину выбранного экспериментального образца в нескольких местах и определить его среднюю толщину.

Установить экспериментальный образец вплотную к торцу СВЧ-волновода между металлическим отражателем и волноводом. Затем, передвигая зонд измерительной секции по направлению к зеркалу, определить новое местоположение того же самого узла стоячей волны. По двум координатам местоположения узла стоячей волны при отсутствии и наличии контролируемого образца определить величину сдвига стоячей волны ΔL , а затем по формуле (7.2) рассчитать значение диэлектрической проницаемости материала контрольного образца.

7.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать: цель работы, перечень используемого оборудования, схему экспериментальной установки, результаты определения диэлектрической проницаемости, выводы.

Контрольные вопросы

1 Какие методы радиоволнового контроля диэлектрической проницаемости вам известны?

2 Можно ли проводить измерение диэлектрической проницаемости с помощью геометрического метода радиоволнового контроля?

3 Можно ли одновременно определять диэлектрическую проницаемость и толщину слоистых образцов фазовым методом радиоволнового контроля?

4 Что такое стоячая волна?

5 Метод стоячих или бегущих волн удобнее использовать в радиоволновом неразрушающем контроле?

6 Для чего в лабораторной работе необходимо знать значение длины СВЧ-волны в воздухе?

7 Чем определяется точность измерения диэлектрической проницаемости материалов в данной лабораторной работе?

8 Какую роль в данной лабораторной работе играет диэлектрический СВЧ-волновод?

9 Повысится ли точность измерения диэлектрической проницаемости материалов в данной лабораторной работе, если вместо сантиметрового диапазона СВЧ-волн использовать миллиметровый?

10 Какие факторы влияют на точность определения местоположения узла стоячей волны?

8 Исследование методов атомного спектрального анализа

Цель работы: изучить некоторые методы атомной эмиссионной спектроскопии, научиться определять содержание легирующих элементов в сталях и чугунах.

8.1 Основные теоретические положения

В основе спектрального анализа лежат два положения:

- 1) атомы каждого элемента характеризуются вполне определенным набором спектральных линий;
- 2) интенсивность каждой линии зависит от концентрации атомов материала в изучаемом объёме.

Весь процесс анализа можно разделить на четыре основных этапа:

- 1) отбор исследуемого материала и подготовка пробы к анализу;
- 2) возбуждение спектральных линий определяемых элементов;
- 3) разложение сложного излучения в спектр по длинам волн и регистрация полученного спектра;
- 4) изучение спектра, установление концентраций определяемых элементов по интенсивности их характерных линий.

Спектральные методы анализа обычно разделяют:

- по решаемой задаче: на элементный, изотопный, молекулярный и структурный. При этом устанавливают состав пробы по элементам, изотопам или определяют молекулярные и структурные составляющие;
- по применяемому методу: на эмиссионный, абсорбционный, по спектрам комбинационного рассеяния, люминесцентный. То есть информацию получают из анализа спектров излучения, спектров поглощения, спектров комбинационного рассеяния и спектров люминесценции соответственно;
- по характеру получаемых результатов: на качественный, полуколичественный и количественный. При частичном качественном анализе необходимо определить, присутствуют ли в анализируемой пробе один или несколько заранее заданных элементов, т. е. определить наличие в спектре линий, характерных для искомым элементов. При полном качественном анализе требуется установить состав пробы, т. е. необходимо идентифицировать все линии спектра с линиями элементов, наличие которых возможно в данной пробе. Полуколичественный спектральный анализ дает возможность определить содержание элемента в пробе с точностью до 50 %. В задачу количественного спектрального анализа входит определение содержания элементов в пробе с точностью 1 %...5 %;
- по способу регистрации спектра: на визуальный, фотографический и фотоэлектрический;
- по рабочей области спектра: ИК-спектроскопию, спектроскопию видимого диапазона, УФ-спектроскопию, рентгеновскую спектроскопию.

Основой спектрального анализа является зависимость интенсивности линий от концентрации элемента. Из-за эффекта самопоглощения (реабсорбции), которое заключается в том, что излучение, высвечиваемое более нагретыми участками в источнике, поглощается менее нагретыми (на периферии). К примеру, для дугового разряда суммарная яркость излучения линий составляет 5 % от той, которая должна бы быть, если бы излучение не поглощалось. Это приводит к тому, что интенсивность наблюдаемых спектральных линий не пропорциональна концентрации, а описывается соотношением:

$$I = a' C^{b'}, \quad (8.1)$$

где a', b' – коэффициенты;

C – концентрация элемента в пробе.

При проведении анализа обычно сравнивают интенсивность исследуемой линии с интенсивностью линии сравнения, принадлежащей элементу сравнения с известной концентрацией. Эти две линии называют аналитической парой. Тогда отношение их интенсивностей будет также описываться аналогичным (8.1) соотношением

$$R = \frac{I}{I_x} = a C^b, \quad (8.2)$$

или

$$\lg R = \lg A + b \lg C. \quad (8.3)$$

Для получения надежных результатов в качестве аналитической пары выбирают так называемые гомологичные линии. Чтобы выполнялось условие (8.2), эти линии должны удовлетворять определенным требованиям:

- они должны иметь равные или близкие потенциалы возбуждения;
- они должны быть близкими по длинам волн;
- их интенсивности не должны отличаться более чем в 100 раз;
- они должны принадлежать атомам или ионам одной степени ионизации.

Такие аналитические пары подбирают экспериментально для всех элементов или используют другие рекомендации по спектральному анализу.

Отбор исследуемого материала. Достоверность и воспроизводимость результатов анализа во многом зависит не только от качества работы аналитического оборудования, но и от правильного отбора пробы и соответствующей ее подготовки к анализу. Особое внимание уделяется вопросам представительности и однородности пробы, т. е. тому, насколько полно отобранная на анализ проба отражает средний состав анализируемого материала и насколько равномерно распределен каждый из компонентов по объему пробы. Не менее важны и операции при непосредственной подготовке

пробы к анализу: качество и однотипность операций при подготовке поверхности пробы или ее состава (в случае обогащения или разбавления).

Обычно анализируемая проба находится в твердом, порошкообразном или жидком состоянии. Если монолитную пробу можно использовать в качестве электрода (достаточны ее прочность, электропроводность и тугоплавкость), то так обычно и поступают. Электрический разряд можно зажечь между двумя кусками пробы, между пробой и подставным электродом известного состава (пруток из спектрально чистого угля, пруток или диск из чистой меди, железа, никеля, материала основы или пробы). При проведении количественного анализа все образцы и эталоны должны иметь строго определенную и одинаковую форму, подобранную так, чтобы обеспечить необходимую чувствительность анализа и равномерное обегание разряда по ее поверхности не слишком большой, но и не точечной. При мощном дуговом разряде качество обработки поверхности пробы не играет особой роли, но в случае использования искры или маломощной дуги поверхность должна быть тщательно обработана напильником или отшлифована или даже отполирована. На ее поверхности не должно быть дефектов. Теплопроводные и легкоплавкие материалы (олово, свинец, кадмий, алюминий, тонкая стальная проволока) не могут служить электродами многоамперной дуги, т. к. они расплавляются. Тогда обычно делают порошкообразную пробу. После соответствующего отбора пробы (флюсы, пески, силикаты, минералы и др.) с целью получения большей однородности ее перемешивают. Дробление осуществляют на стальной плите, а затем в ступке. Пробу измельчают до размеров 0,05...0,1 мм в агатовой или яшмовой ступке, т. к. они меньше изнашиваются и мало загрязняют пробу. Для увеличения производительности применяют механические ступки, мельницы, растирочные станки. Подготовленную порошкообразную пробу вводят в разряд различными способами:

- набивкой в углубление электрода;
- нанесением ровного слоя на торец электрода;
- просыпкой через облако разряда, вдуванием или подачей пробы через поры и сквозные отверстия в электродах.

Издавна в абсорбционной спектроскопии используется проба в жидком виде. Такой вид пробоотбора позволяет проводить анализ более 40 элементов. Но в последнее время намечается достаточно широкое применение жидкой пробы и в атомном эмиссионном спектральном анализе. Применение пробы в жидком виде позволяет получить высокую однородность и воспроизводимость пробы. Так, например, для анализа почв на наличие тяжелых металлов почву растворяют в царской водке, а затем вводят в разряд.

Введение жидкой пробы осуществляется различными способами:

- нанесением на торец электрода;
- пропиткой всего пористого электрода;
- введением в канал электрода, заполненного угольным порошком;
- введением через пористый верхний электрод, изготовленный в виде стакана с тонким дном, через поры которого раствор равномерно поступает в зону разряда;

–подачей все новых порций раствора с поверхности нижнего электрода, в котором просверлены узкие отверстия, за счет капиллярных сил. Электрод при этом погружен в раствор, при смене раствора электроды заменяют;

– нанесением на движущийся дисковый электрод, контактирующий с исследуемой жидкостью.

Распылением пробы на мелкие частички и введением этих частичек в плазму разряда с помощью потока транспортного газа. Наиболее перспективными считаются ультразвуковые диспергаторы.

Источники возбуждения спектра. Для спектрального анализа разработано большое количество источников возбуждения спектра. Их задача заключается в переведении исследуемого материала в атомарное состояние. Они характеризуются стабильностью в работе, универсальностью, интенсивностью возбуждаемого спектра и температурой плазмы разряда. Температура пламени – 2000 °С...3000 °С, электрической дуги – 4000 °С...7000 °С, высоковольтной искры – до 10000 °С и выше. Пламя – наиболее стабильный источник излучения. Для пламени используются различные горючие газы: метан, ацетилен, водород и др. В качестве окислителей используются воздух, кислород, закись азота. Главным недостатком является их невысокая температура, что ограничивает их применение для анализа элементов с высокими потенциалами возбуждения.

Дуга и искра дают резкие и порой нерегулярные вспышки линий, поэтому при работе с ними интенсивность линий необходимо оценивать за определенный промежуток времени. Электрический разряд воздействует на образец, вызывая поступление его паров в облако разряда, где происходит возбуждение спектров атомов и молекул пара. Эти процессы сопровождаются вторичными явлениями: самопоглощением, окислением, переносом вещества с одного электрода на другой и другими химическими реакциями, происходящими на электродах и в облаке плазмы. Совокупность этих процессов не поддается учету и поэтому важной задачей в использовании таких источников является их стабильность.

В последнее время начинают применять импульсные лазеры в качестве источников для спектрального анализа. Для этого используются рубиновые и неодимовые лазеры, генерирующие микросекундные и наносекундные импульсы света, под действием которых происходит испарение материала и возбуждение спектральных линий. Часто на испаряемое лазером облако плазмы накладывают электрическое поле, которое дополнительно ионизирует плазму. При этом получается спектр не только атомов, но и ионов. Преимуществом лазерных источников является возможность проведения анализа непроводящих материалов и анализа проб малого объема. Наиболее перспективным источником спектров в атомном спектральном анализе в настоящее время считается источник, реализующий метод активно-связанной аргоновой плазмы (ИСП). Для ее получения используется разряд тороидальной формы, возбуждаемый мощным СВЧ-полем в потоке плазмообразующего газа, движущегося вдоль оси разряда. Температура полученной плазмы составляет 6000 °С...10000 °С. При этом происходит полная диссоциация практически всех соединений.

Методы определения концентрации элементов. Как правило, весь спектральный анализ построен с использованием стандартных образцов (эталонов), которые имеют хорошо известный химический состав и физические свойства, близкие к аналогичным характеристикам исследуемого материала. Стандартные образцы должны удовлетворять определенным требованиям:

- по физико-химическим свойствам, технологии изготовления, форме они должны соответствовать исследуемым образцам;
- структура и распределение элементов по всему объему образца должна быть равномерной;
- содержание определенного элемента в комплекте стандартных образцов должно равномерно охватывать анализируемый интервал концентраций.

В стандартных образцах сложного состава содержание всех добавок и примесей в основе должно быть примерно одинаковым, а композиция состава такой, чтобы обеспечить сходные с пробой процессы поступления вещества в облако разряда и сходное возбуждение аналитических линий.

Стандартные образцы изготавливают специальные организации. Образцы бывают как твердыми, так и жидкими. Так как на все частные случаи стандартные образцы получить не удастся, то выход находится в разработке общих условий анализа с целью использования более универсальных стандартных образцов.

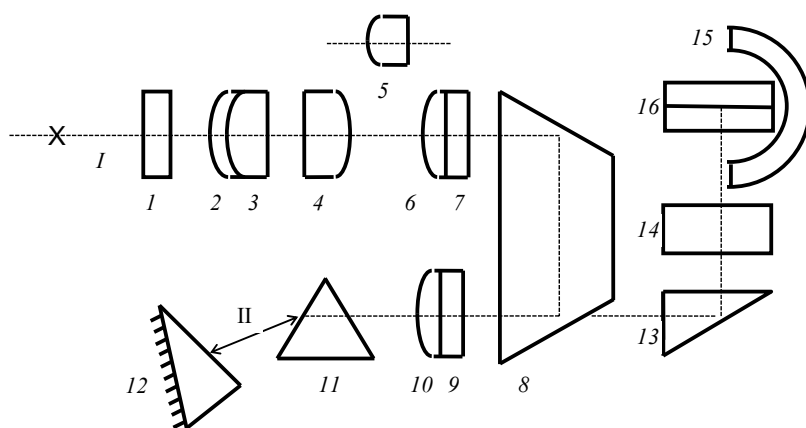
Для проведения спектрального анализа строят градуировочный график:

$$\lg R = \lg a + b \lg C . \quad (8.4)$$

Построение и работа с градуировочным графиком имеет свои особенности, связанные с применением различных фотоприемников: глаза, фотопленки и электронных фотоприемников. Искомые значения концентрации элементов определяют по этим градуировочным графикам. Для их построения разработан ряд методов.

Принцип действия стилоскопа. Анализ с помощью стилоскопа заключается в следующем: между анализируемым образцом и электродом зажигается электрическая дуга и ее излучение направляется трехлинзовым осветителем в щель стилоскопа; наблюдатель рассматривает в окуляр спектр анализируемого сплава. Прибор построен по автоколлимационной схеме с горизонтальным расположением элементов (рисунок 8.1).

Свет от дуги с помощью трехлинзовой системы 2, 3, 4 и отражательной призмы 8 проектируется на объективы 9, 10 с увеличением $4,5^x$. Полученный параллельный пучок света падает на диспергирующие призмы 11 и 12. Большой катет призмы 12 с преломляющим углом 31° посеребрен, поэтому лучи отражаются от него, проходя в обратном направлении через призмы и попадают на прямоугольную призму 13 и зеркало 14, которые направляют их в окуляр 16. При проецировании источника света на щель в ход лучей вводится вместо линзы 4 линза 5, которая при этом дает увеличение $1,4^x$. В фокальной плоскости окуляра расположен фотометрический клин 15.



1–7, 9 10 – линзы; 8 – отражательная призма; 11, 12 – диспергирующие призмы; 13 – прямоугольная призма; 14 – зеркало; 15 – фотометрический клин; 16 – призма; I – источник света; II – ось поворота призмы; X – разряд

Рисунок 8.1 – Оптическая схема стилоскопа «Спектр»

Стилоскоп «Спектр» состоит из следующих основных частей: головки оптической, генератора и приставки.

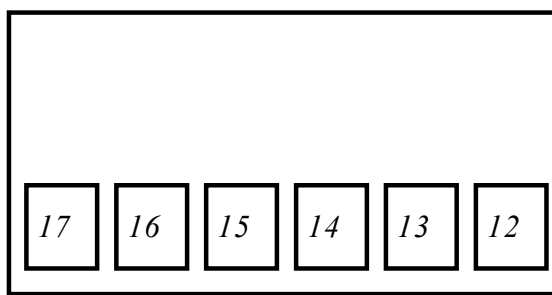
Оптическая головка состоит из осветительной системы, щели с объективом, отражательной призмы, диспергирующей системы, окулярной головки и штатива, размещенных внутри корпуса. Осветительная система, состоящая из конденсоров 2–5 смонтирована на кронштейне и фланцах. Щель постоянной ширины 15 мкм нанесена на стеклянной пластинке, склеенной с третьей линзой осветителя, и закреплена на кронштейне. Отражательная призма также закреплена на другом кронштейне.

Диспергирующая система состоит из двух призм: одна с преломляющим углом 64° закреплена на мостике неподвижно, другая с преломляющим углом 31° вместе со своим мостиком может поворачиваться, вследствие чего спектр перемещается в поле зрения окуляра. Поворот призмы осуществляется маховичком, соединенным с барабаном, на котором нанесена равномерная шкала с ценой деления 2° и шкала с символами химических элементов. Символами обозначены группы спектральных линий, используемые для анализа сталей на соответствующие примеси. При совмещении символа с отчетным штрихом барабана в поле зрения окуляра появляется соответствующая группа линий. Для устранения влияния «мертвого хода» необходимо установку барабана производить со стороны нуля. На кронштейне барабанной головки расположены: прямоугольная призма, зеркало, фотометрический клин со шкалой и окуляр в оправе. Для регулировки интенсивности спектра наверху оптической системы имеется рукоятка. Положение рукоятки 1 соответствует проецированию источника света на объектив, положение 2 – проецированию источника света за щель на 33 мм от нее. Для удобства работы имеется два сменных окуляра с различным увеличением: 20^x – окуляр применяется при изучении спектров, богатых линиями (сталей), $13,5^x$ – при анализе цветных сплавов.

Круговой фотометрический клин помещен в плоскость изображения спектра и расположен вдоль спектральных линий в виде узкой полоски с переменным коэффициентом пропускания в центре поля зрения. Перемещение клина производится рукояткой 4 и отсчитывается по шкале, наблюдаемой в поле зрения окуляра. В тех случаях, когда нужно работать без фотометрического клина, следует рукояткой привести в поле зрения диаграмму, соответствующую установленному окуляру. Для этого необходимо против риски на фланце установить соответствующее обозначение ($13,5^x$ или 20^x).

В левой части корпуса расположен кронштейн, на котором устанавливается подставной электрод, который рукоятками можно перемещать по двум направлениям.

По шаблону выставляют расстояние от образца до электрода. По мере обгорания электрод необходимо зачищать напильником или срезать на токарном станке. Режим разряда управляется рукоятками, расположенными внизу оптической головки, изображенной на рисунке 8.2.



12 – переключатель количества поджигающих импульсов; 13 – переключатель фазы поджога; 14 – переключатель емкостей; 15 – переключатель индуктивностей; 16 – переключатель комбинированного разряда; 17 – переключатель полярности электродов

Рисунок 8.2 – Схема расположения органов управления разрядом стилоскопа «Спектр»

Для получения режима «Дуга» необходимо переключатель 13 поставить в положение, соответствующее выбранному значению фазы поджога (60° , 90° , 120°); 12 – в положение одного поджигающего импульса; 14 – в положение 0; 16 – в положение II; 17 – в положение Выкл; 15 – в положение, соответствующее выбранному значению индукции. Желательно при включении генератора в сеть сопротивление реостата выставить наибольшим и добиваться необходимого значения тока, уменьшая сопротивление реостата.

Для получения режима «Искра» необходимо переключатель 13 поставить в положение 90° ; 12 – в положение 1, 2 и 3 (в зависимости от спектроскопической задачи); 14 и 15 – в необходимое положение 0; 16 – в положение II. При работе следует иметь в виду, что с увеличением емкости и уменьшением индуктивности жесткость разряда увеличивается. Кроме этого, необходимо увеличивать зарядные токи, т. к. конденсаторы не будут успевать заряжаться и разряд будет происходить при меньшем напряжении.

Для получения режима «Комбинированный разряд» необходимо: переключатели 12, 13, 14, 15 поставить в положение, соответствующее режиму

«Искра»; при этом устойчивая работа получается при фазе поджига 90° и одном поджигающем импульсе; переключатель 16 – в положение I; 17 – в положение Выкл.

Для получения униполярных режимов работы необходимо переключатели 12–15 поставить в положение соответствующего разряда, 16 – в положении Выкл (для дуги и для искры); переключатель 17 – в положение Катод или Анод в зависимости от поставленной задачи.

Открывать крышку штатива и менять образцы на столике стилоскопа можно только при выключенном приборе.

Режим работы генератора повторно-кратковременный, после 3 мин непрерывной работы необходимо нажатием кнопки «Стоп» выключить прибор не менее чем на 1 мин.

8.2 Оборудование и материалы

Для выполнения лабораторной работы используются: стилоскоп «Спектр», образцы из стали и чугуна.

8.3 Порядок выполнения работы

8.3.1 Изучить основные положения спектрального эмиссионного анализа.

8.3.2 Изучить устройство стилоскопа «Спектр».

8.3.3 Провести анализ различных режимов возбуждения спектра.

8.3.4 Построить дисперсионную характеристику стилоскопа, используя атомарный спектр железа.

При построении дисперсионной кривой стилоскопа через каждые 50...100 А отмечаются соответствующие показания барабана, соответствующие установке указателя окуляра на характерные линии. Для получения однозначных показаний барабан необходимо вращать в одном направлении.

8.3.5 Изучить методические особенности проведения спектрального анализа на стилоскопе «Спектр».

8.3.6 По выданному преподавателем заданию и образцам провести качественный, полуколичественный и количественный спектральный анализ образцов стальных и чугунных сплавов.

8.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать: цель работы, перечень используемого оборудования, оптическую схему стилоскопа, дисперсионную характеристику стилоскопа, результаты проведения экспериментов.

Контрольные вопросы

1 Какие основные положения составляют основу спектрального анализа?

2 Какие этапы проведения спектрального анализа вам известны?

3 Приведите классификацию спектральных методов анализа.

4 Назовите способы пробоотбора и пробоподготовки, применяемые в атомной спектроскопии.

5 Какие методы возбуждения спектров используются в атомной спектроскопии?

6 Какие требования предъявляются к эталонным образцам для спектрального анализа?

7 Как связана интенсивность спектральных линий с концентрацией анализируемого элемента?

8 Что такое градуировочный график?

9 Что такое дисперсия света?

10 Какие необходимые элементы содержатся в спектральных приборах и их назначение?

11 Назовите основные характеристики спектральных приборов.

12 Объясните оптическую схему стилоскопа «Спектр».

13 Какие режимы возбуждения спектра реализованы в стилоскопе «Спектр»?

Список литературы

1 **Гольдштейн, А. Е.** Физические основы получения информации: учебник для прикладного бакалавриата / А. Е. Гольдштейн. – Москва: Юрайт, 2018. – 219 с.

2 Информационно-измерительная техника и электроника. Преобразователи неэлектрических величин : учебное пособие для вузов / Под общ. ред. О. А. Агеева, В. В. Петрова. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2018. – 158 с.

3 **Шишмарев, В. Ю.** Физические основы получения информации: учебное пособие / В. Ю. Шишмарев. – Москва: Академия, 2010. – 448 с.

4 **Раннев, Г. Г.** Физические основы получения информации: учебник / Г. Г. Раннев, В. А. Суругина, А. П. Тарасенко. – Москва: Курс, ИНФРА-М, 2016. – 296 с.

5 **Левшина, Е. С.** Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи: учебное пособие / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1983. – 319 с.