

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
дневной формы обучения*



Могилев 2018

УДК 681.2
ББК 30.13
Ф 50

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «31» августа 2018 г.,
протокол № 1

Составитель ст. преподаватель Е. Н. Прокопенко

Рецензент канд. техн. наук, доц. И. Д. Камчицкая

Даны рекомендации студентам по выполнению лабораторных работ по
дисциплине «Физические основы получения информации» направления
подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии».

Учебно-методическое издание

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Технический редактор	А. Т. Червинская
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:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2018



Содержание

1 Исследование акустических характеристик материалов.....	4
2 Исследование характеристик магнитных и электростатических поле.....	10
3 Исследование методов атомного спектрального анализа.....	15
4 Исследование оптических методов получения информации.....	19
5 Исследование тепловых методов получения информации.....	22
Список литературы.....	24



1 Исследование акустических характеристик материалов

Цель работы: ознакомиться с физическими основами акустических методов получения информации и провести измерение скорости распространения ультразвуковых волн и затухания в различных материалах.

1.1 Основные теоретические положения

1.1.1 Определение скорости ультразвуковых волн. 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:

$$V = \frac{S}{t}. \quad (1.1)$$

1.1.1.1 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 1.1, а). Скорость волн вычисляется по известной формуле

$$V = \frac{2d}{t}, \quad (1.2)$$

где d – толщина образца;

t – время между первым и вторым донными импульсами.

1.1.1.2 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 1.1, 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 произвести, по крайней мере, два измерения (см. рисунок 1.1, б).

В положении 1 время прохождения импульса определяется по формуле

$$t_{10} = t_n + t_1 = \frac{2l_3}{c_n} + \frac{2L_1}{c_t}, \quad (1.3)$$

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.

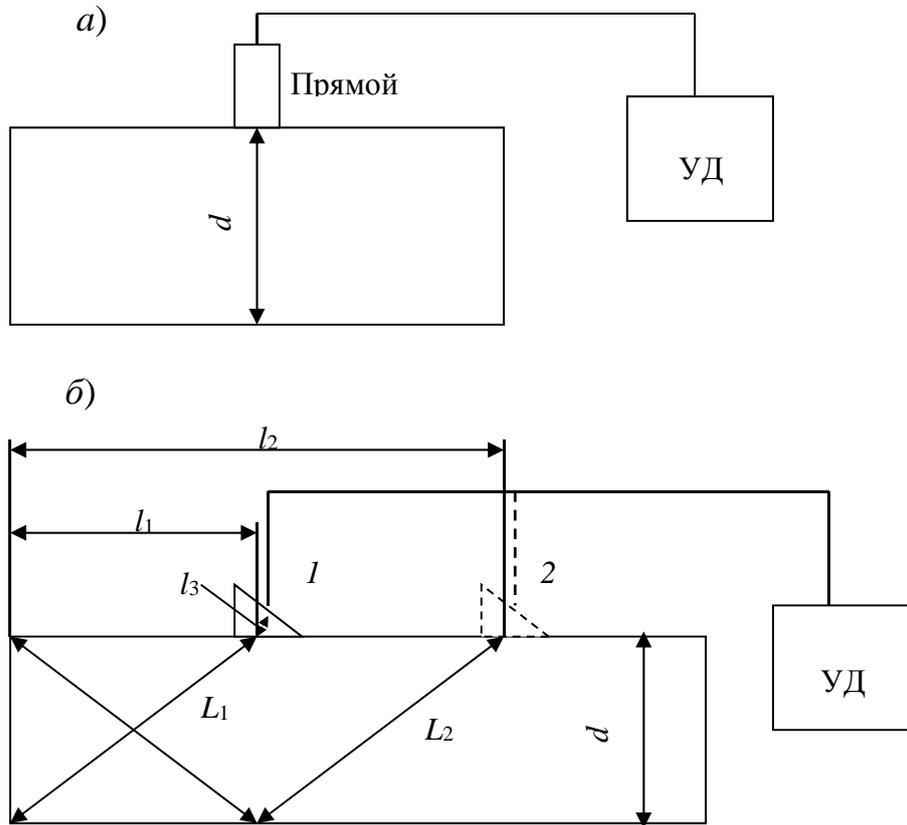


Рисунок 1.1 – Схемы проведения измерений

В положении 2

$$t_{20} = t_n + t_2 = \frac{2l_3}{c_n} + \frac{2L_2}{c_t}, \quad (1.4)$$

где L_2 – расстояние, проходимое импульсом в образце в положении 2.

Вычитая из (1.4.) формулу (1.3), получим

$$t_{20} = t_2 - t_1 = \frac{2(L_2 - L_1)}{c_t}. \quad (1.5)$$

Измеряя l и h с учетом геометрии образца, а также t_1 и t_2 , можно рассчитать по формуле (1.5) значение скорости поперечных волн.

1.1.2 *Определение затухания ультразвуковых волн.* Затухание – 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:

$$U = U_0 \exp(-j\omega t - kx), \quad (1.6)$$

то с учетом затухания

$$U = U_0 \exp(-\delta x) \exp(-j\omega t - kx), \quad (1.7)$$

где δ – коэффициент затухания.

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

$$U = U_0 \frac{G}{r} \exp(-\delta r) \exp(-j\omega t - kr), \quad (1.8)$$

где G – размерный коэффициент.

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 . Для преобразователей поршневого типа граница ближней зоны определяется соотношением

$$L = \frac{D^2}{4\lambda} = \frac{D^2 f}{4C}, \quad (1.9)$$

где λ – длина волны ультразвука.

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

$$\theta = \arcsin \frac{1,22\lambda}{D} = \arcsin \frac{1,22C}{Df}. \quad (1.10)$$

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 (1.8) (рисунок 1.2):

– для расстояния r_1



$$U_1 = U_0 = \frac{G}{r_1} \exp(-\delta r_1) \exp(-j\omega t_1 - kr_1); \quad (1.11)$$

– для расстояния r_2

$$U_2 = U_0 \frac{G}{r_2} \exp(-\delta r_2) \exp(-j\omega t_2 - kr_2). \quad (1.12)$$

Разделив (1.11) на (1.12), имеем

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{r_2}{r_1} \exp \delta(r_2 - r_1). \quad (1.13)$$

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 (1.13):

$$\delta = \frac{\ln \frac{U_1}{U_2} - \ln \frac{r_2}{r_1}}{r_2 - r_1}. \quad (1.14)$$

Формула (1.14) 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

$$r_1 = 2a + 2h; \quad (1.15)$$

$$r_2 = 2a + 4h; \quad (1.16)$$

$$r_2 - r_1 = 2h, \quad (1.17)$$

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

Описанная методика не учитывает потерь при отражении импульса от поверхности образца, контактирующей с пьезопреобразователем. Это может дать значительные ошибки при измерении малых δ .

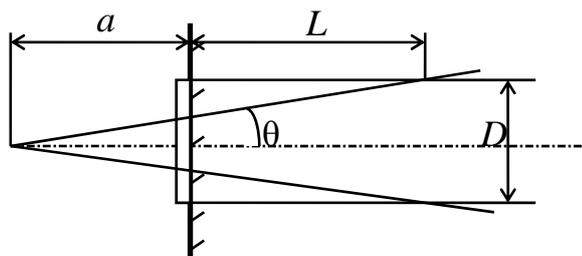


Рисунок 1.2 – Звуковое поле дискового преобразователя

1.2 Приборы и оборудование

Для выполнения лабораторной работы используются ультразвуковой дефектоскоп, образцы из различных материалов, набор ультразвуковых преобразователей.

1.3 Порядок выполнения работы

1.3.1 Подготовить к работе ультразвуковой дефектоскоп в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

1.3.2 Измерить скорость продольных волн в 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. Заполнить таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Данные измерений

Материал	Номер измерения	Толщина образца h , мм	Время t , мкс	Скорость c_l , м/с	$c_l - \bar{c}_l$	$(c_l - \bar{c}_l)^2$
N1	1					
	2					
	3					

1.3.3 Измерить скорости поперечных волн согласно вышеизложенной методике. Заполнить таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Данные измерений

Материал	Номер измерения	t_1 , мкс	t_2 , мкс	l_1 , мм	l_2 , мм	L_1 , мм	L_2 , мм	c_t , м/с	$(c_t - \bar{c}_t)^2$

1.3.4 Провести измерения затухания УЗК для различных образцов, измеряя их толщину в месте прозвучивания. Отношения $\ln(U_1/U_2)$ удобно получить на приборе с использованием аттенюатора.

Измерив на экране значение U_2 , переключателем уменьшить U_1 до прежнего значения U_2 и зафиксировать значения N . Расчет вести по соотношению

$$\ln \frac{U_1}{U_2} = \frac{N}{8,6}. \quad (1.18)$$

По результатам измерений заполнить таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Данные измерений

Материал	L , мм	a , мм	r_1 , мм	r_2 , мм	h , мм	N , dB	δ , м ⁻¹	$\delta - \bar{\delta}$	$(\delta - \bar{\delta})^2$

1.4 Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать следующее: название работы; цель работы; схемы проведения измерений; расчетные формулы; таблицы с результатами измерений; выводы по проделанной работе.

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?
- 7 Физическая сущность затухания ультразвука в твердых средах.
- 8 Как зависит δ от размера неоднородностей материала?
- 9 Каково влияние контактного слоя на результаты измерения затухания?

2 Исследование характеристик магнитных и электростатических полей

Цель работы: приобрести навыки работы с приборами для измерения характеристик магнитных и электрических полей.

2.1 Общие положения

Магнитные преобразователи предназначены для измерения напряженности магнитного поля. Для этих целей нашли применение индукционные, пьезоэлектрические, магниторезисторные, феррозондовые преобразователи, преобразователи Холла и др.

2.1.1 Индукционные преобразователи. Принцип действия индукционных преобразователей (ИП) основан на законе электромагнитной индукции, по которому в катушке, помещенной в изменяющееся магнитное поле, наводится ЭДС, величина которой зависит от напряженности магнитного поля и скорости его изменения. Если магнитное поле переменное, то частота (а следовательно,



и скорость) его изменения задается источником поля. При постоянном магнитном поле его изменение в пространстве, занятом преобразователем, осуществляется вращением или перемещением последнего. Неподвижные индукционные преобразователи будем называть пассивными, а подвижные – активными.

2.1.2 Пассивные индукционные преобразователи. Пассивные индукционные преобразователи представляют собой каркас из изоляционного материала, на котором размещена электрическая обмотка. Для увеличения чувствительности в преобразователе применяют ферромагнитные сердечники. Однако при наличии сердечников амплитудная характеристика преобразователя в области больших напряженностей становится нелинейной.

Пассивные ИП пригодны только для регистрации переменных магнитных полей. Преобразователи, реагирующие на величину напряженности поля, называют полемерами, а реагирующие на градиент поля – градиентомерами.

Напряженность поля измеряют в амперах на метр, а его градиент – в амперах на метр квадратный.

ЭДС, наводимая в электрической катушке гармоническим полем, $H_x = H_{mx} \sin \omega t$ определяется из выражения

$$e = \mu_0 \omega W S H_{mx} \cos \omega t,$$

где μ_0 – магнитная постоянная;

ω – круговая частота;

W – число витков обмотки;

S – ее сечение в направлении, перпендикулярном оси x ;

H_{mx} – амплитудное значение напряженности магнитного поля.

2.1.3 Активные преобразователи. Среди активных преобразователей известны такие, как сканирующие, вращающиеся и вибрирующие.

2.1.3.1 Сканирующие индукционные преобразователи. Сканирующие ИП применяют для регистрации величины и градиента напряженности постоянных магнитных полей. Выходной величиной преобразователя является мгновенное значение ЭДС измерительной обмотки.

2.1.3.2 Вращающийся индукционный преобразователь. Вращающиеся индукционные преобразователи применяются для преобразования постоянных магнитных полей. Преобразователь состоит из катушки, установленной вблизи поверхности изделия и приводимой от двигателя. Катушка устанавливается так, чтобы магнитные силовые линии поля были перпендикулярны оси вращения.

2.1.3.3 Вибрирующий индукционный преобразователь. Для выполнения измерений напряженности магнитного поля вблизи поверхности исследуемого объекта применяют также вибрирующие ИП. Катушка преобразователя имеет малую толщину намотки. Она устанавливается на расстоянии от поверхности образца и колеблется с амплитудой по нормали к поверхности. Среднее значение ЭДС в катушке пропорционально напряженности поля на расстоянии от поверхности образца при достаточно большом h . Величина h должна быть больше зоны действия поля в направлении нормали к его (образца) поверхности.

2.1.4 Пондемоторные преобразователи. Преобразователи этого типа основаны на пондемоторном взаимодействии исследуемого магнитного поля и тока, протекающего по рамке. Для повышения чувствительности применяют рамки, закрепленные на растяжке. С этой же целью на рамке закрепляют зеркальце, световой зайчик которого падает на шкалу. Угол отклонения рамки зависит от напряженности магнитного поля и величины тока в рамке, т. е. данный преобразователь позволяет измеряемую величину напряженности поля преобразовать в видимое отклонение светового зайчика на шкале. ИП можно использовать для измерения постоянных и переменных магнитных полей. В последнем случае по рамке пропускают ток той же частоты, что и частота исследуемого поля. Порог реагирования преобразователя 1...10 А/м.

2.1.5 Преобразователь 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 2.1).

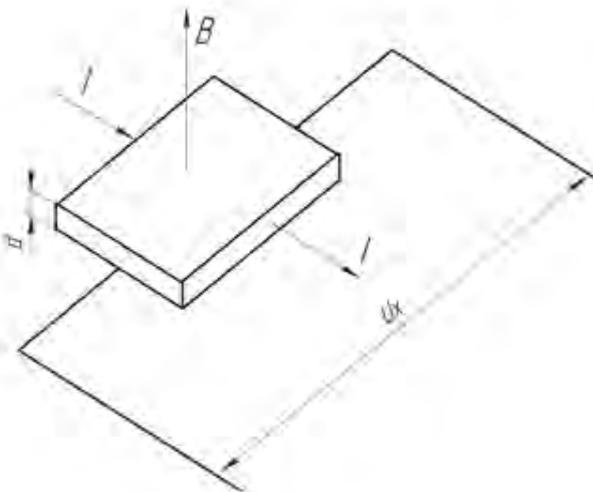


Рисунок 2.1 – Преобразователь Холла

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)

$$U_x = R_x \frac{IB}{d},$$

где R_x – постоянная Холла, R_x определяется экспериментально.

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.

2.1.6 Магниторезисторы. В основе преобразователей этого типа лежит эффект Гаусса, заключающийся в изменении электрического сопротивления проводника или полупроводника при помещении его в магнитное поле. Особенно сильно это наблюдается у висмута.

Висмутовую спираль помещают в магнитное поле и измеряют ее электрическое сопротивление при 18°C . Между величиной напряженности магнитного поля и электрическим сопротивлением спирали имеет место линейная зависимость.

Электрическое поле – электромагнитное поле, характеризуемое воздействием на электрически заряженную частицу с силой, пропорциональной заряду частицы. По определению силовое воздействие электрического поля на заряженные частицы является основным свойством этого поля. Соответственно, основной характеристикой электрического поля выступает вектор напряженности электрического поля \vec{E} , который может быть определен по силе \vec{F} , с которой поле действует на заряд q , находящийся в поле. Направление вектора \vec{E} совпадает с направлением силы \vec{F} , действующей на положительный заряд (рисунок 2.2):

$$\vec{F} = q\vec{E}. \quad (2.1)$$

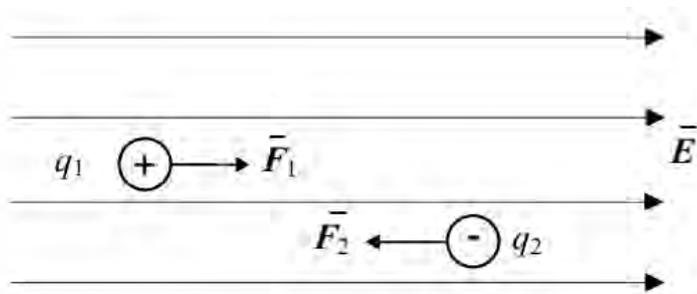


Рисунок 2.2 – Электрические заряды в электрическом поле

Единица измерения напряженности электрического поля – вольт на метр (В/м). Энергетической характеристикой электрического поля является разность электрических потенциалов (электрическое напряжение) между двумя точками поля, численно равная работе, совершаемой силами электрического поля при перенесении положительного единичного заряда из одной точки в другую:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}, \quad (2.2)$$

где A – работа по перемещению положительного заряда q из точки 1 в точку 2.

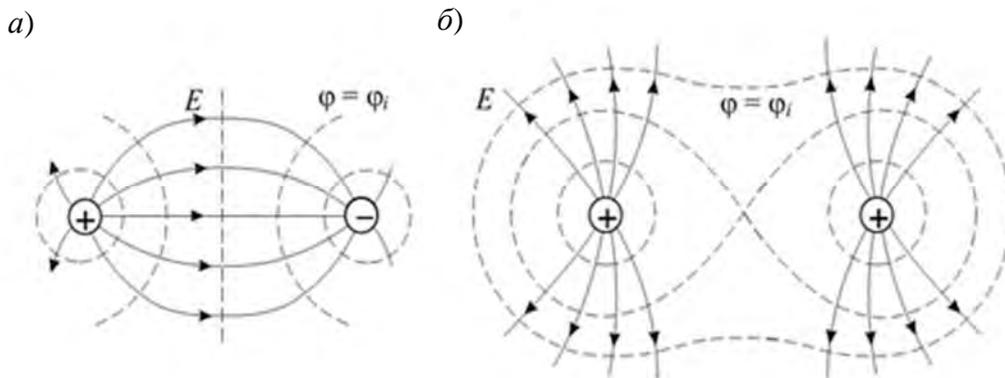
Единица измерения разности электрических потенциалов (электрического напряжения) – вольт (В). Поскольку работа A обусловлена действием на заряд силы F , пропорциональной напряженности электрического поля E , то очевидна взаимосвязь электрического напряжения и напряженности электрического поля. Разность потенциалов (напряжение) между двумя точками поля равна интегралу по некоторому пути скалярного произведения векторов E и элементарного перемещения dl , а напряженность поля, таким образом, является взятым с обратным знаком градиентом скалярной величины разности потенциалов (напряжения):

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l};$$

$$\vec{E} = -\frac{d\varphi}{dl} = -\text{grad}(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (2.3)$$

Следует отметить, что разность потенциалов не зависит от выбранного пути перемещения из одной точки в другую. Поверхности, находящиеся под одним потенциалом, называются *эквипотенциальными*.

Линии в электрическом поле, касательные ко всем точкам которых совпадают по направлению с вектором напряженности поля, называются *силовыми*. Силовые линии всегда ортогональны эквипотенциальным поверхностям (рисунок 2.3). По густоте эквипотенциальных поверхностей можно судить об интенсивности и однородности электрического поля.



a – разноименно заряженные тела; *б* – одноименно заряженные тела

Рисунок 2.3 – Примеры электрических полей заряженных тел

Физической основой электромеханического преобразования является воздействие на объекты, находящиеся в электромагнитном поле, механических (пондеромоторных) сил. Возникновение этих сил обусловлено свойством электрической и магнитной компонент электромагнитного поля воздействовать на неподвижные и движущиеся (вторая компонента) электрически заряженные частицы. Для практических преобразований используются случаи взаимодействия электрически заряженных тел (электростатическое взаимодействие),

контуров с токами (электродинамическое взаимодействие), постоянного магнита и контура с током (магнитоэлектрическое взаимодействие), контура с током и ферромагнитного тела (электромагнитное взаимодействие), контуров с токами и проводящего тела (индукционное взаимодействие).

Измеритель напряженности электростатического поля ЭСПИ-301 выполнен в виде малогабаритного носимого прибора с автономным питанием. Основными элементами измерителя являются устройство отсчетное УО-301 и механический модулятор ММ-301 с насадками. Работа измерителя базируется на возбуждении в ММ-301 под воздействием измеряемого электростатического поля переменного напряжения, пропорционального напряженности поля. Переменное напряжение предварительно усиливается в ММ-301 и поступает на вход в УО-301, где происходит его фильтрация, дальнейшее усиление и преобразование в постоянное напряжение и индикация.

2.2 Приборы и оборудование

Для выполнения лабораторной работы используются приборы для измерения характеристик магнитного поля и напряженности электростатического поля, источники питания, электромагнит, соленоид, система проводников.

2.3 Порядок выполнения работы

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

2.3.2 Изобразить топографию магнитного поля в окрестностях исследуемого объекта.

2.3.3 Изучить конструкцию прибора ЭСПИ-301 и порядок проведения измерений характеристик электростатических полей.

2.3.4 Провести измерения напряженности электростатического поля нескольких источников.

2.4 Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать следующее: название работы; цель работы; таблицы с результатами измерений; выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

- 1 Какие существуют преобразователи для измерения напряженности магнитного поля?
- 2 На каком принципе основана работа индукционных преобразователей?
- 3 На каком принципе основана работа преобразователей Холла?
- 4 Какие поля называются электрическими?
- 5 Назовите основные характеристики электрических полей.

6 Какие первичные преобразователи используются для измерения характеристик электростатических полей?

7 На каком физическом принципе основана работа прибора ЭСПИ-301?

3 Исследование методов атомного спектрального анализа

Цель работы: изучить физические основы получения информации с помощью методов атомной эмиссионной спектроскопии.

3.1 Общие положения

3.1.1 Основы спектрального анализа. 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 объеме.

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;
- по применяемому методу – на эмиссионный, абсорбционный, по спектрам комбинационного рассеяния, люминесцентный;
- по характеру получаемых результатов – на качественный, полуквантитативный и количественный;
- по способу регистрации спектра – на визуальный, фотографический и фотоэлектрический;
- по рабочей области спектра различают 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.

3.1.2 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.



Обычно анализируемая проба находится в твердом, порошкообразном или жидком состоянии. На 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.

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;
- нанесением на движущийся дисковый электрод, контактирующий с исследуемой жидкостью.

3.1.3 Общие схемы спектральных приборов. Атомная абсорбционная и эмиссионная спектроскопия находят широкое применение в различных областях науки и техники.

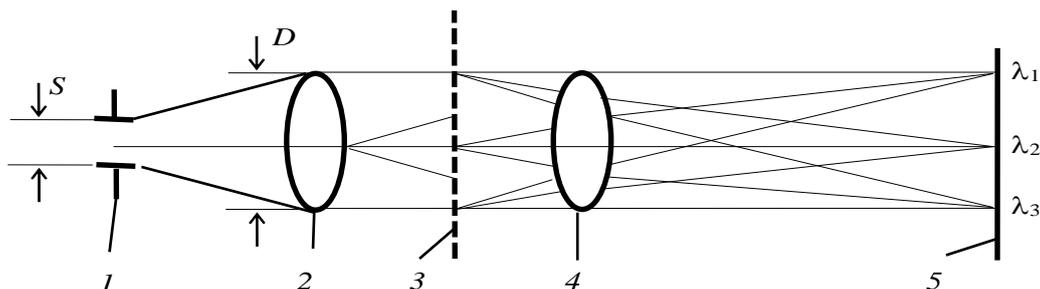
Основное назначение спектральных приборов – выделение излучения в узком спектральном диапазоне в пределах заданной спектральной области. Приборы, реализующие такой метод, называются классическими, а метод – методом селективной фильтрации. В этих приборах обязательным является наличие диспергирующего элемента. Схема типичного спектрального прибора приведена на рисунке 3.1.

3.1.4 Оптические схемы спектральных приборов. Для уменьшения размеров спектральных приборов и увеличения дисперсии используют автоколлимационную оптическую схему, отличающуюся тем, что внутри прибора в области параллельного хода лучей происходит отражение светового пучка обратно. В этих приборах коллиматорный объектив одновременно является и камерным.

Для уменьшения влияния хроматической аберрации в спектральных приборах применяют зеркальные объективы. В качестве зеркал используют



эллипсоидные, параболлоидные и гиперболлоидные зеркала.



1 – входная щель; 2 – коллиматорный объектив; 3 – диспергирующая система; 4 – камерный объектив; 5 – плоскость спектра; S – ширина входной щели; D – диаметр действующего отверстия

Рисунок 3.1 – Схема спектрального прибора

Для уменьшения влияния рассеянного света используют двойные монохроматоры, представляющие собой сочетание двух простых монохроматоров, сопряженных таким образом, чтобы выходная щель одного из них была входной для другого. Они могут быть или со сложением дисперсий, или с вычитанием в зависимости от того, как направлены дисперсии отдельных монохроматоров друг относительно друга.

3.1.5 Стационарный стилоскоп «Спектр». Стилоскоп «Спектр» с фотометрическим клином предназначен для быстрого визуального качественного и полуколичественного спектрального анализа черных и цветных сплавов в видимой области спектра. Стилоскоп применяется для экспресс-анализа, к точности которого не предъявляется высоких требований.

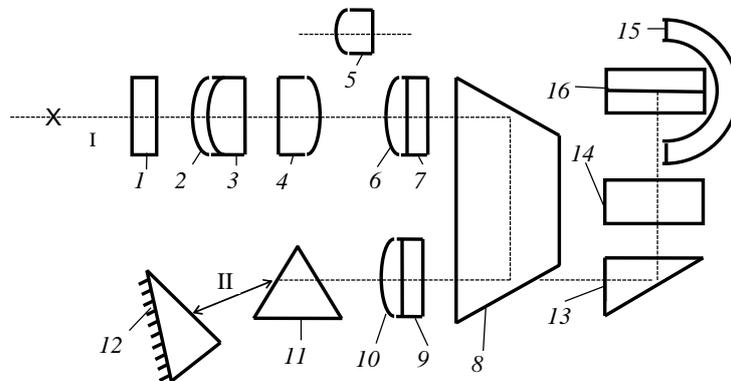
Принцип действия. Анализ с помощью стилоскопа заключается в следующем: между анализируемым образцом и электродом зажигается электрическая дуга и ее излучение направляется трехлинзовым осветителем в щель стилоскопа; наблюдатель рассматривает в окуляр спектр анализируемого сплава. Прибор построен по автоколлимационной схеме с горизонтальным расположением элементов (рисунок 3.2).

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.

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

Оптическая головка состоит из осветительной системы, щели с объек-

тивом, отражательной призмы, диспергирующей системы, окулярной головки и штатива, размещенных внутри корпуса. Осветительная система, состоящая из конденсоров 2, 3, 4, 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.



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 3.2 – Оптическая схема стилоскопа «Спектр»

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), окуляр с увеличением $13,5^x$ – при анализе цветных сплавов.

3.2 Приборы и оборудование

Для выполнения лабораторной работы используются стилоскоп «Спектр» и металлические образцы.

3.3 Порядок проведения работы

3.3.1 Изучить основные положения спектрального эмиссионного анализа.

3.3.2 Изучить принципы построения и схемы спектральных приборов.

3.3.3 Изучить устройство стилоскопа «Спектр».

3.3.4 Провести анализ различных режимов возбуждения спектра.

3.3.5 Построить дисперсионную характеристику стилоскопа, используя атомарный спектр железа.

3.4 Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать следующее: название работы; цель работы; структурную схему стилоскопа; таблицу с результатами проведения эксперимента; дисперсионную характеристику; выводы по проделанной работе.

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 Как связана интенсивность спектральных линий с концентрацией анализируемого элемента?

7 Что такое градуировочный график?

4 Исследование оптических методов получения информации

Цель работы: изучить физические основы оптических методов получения информации, овладеть практическими навыками работы с электронным микроскопом.

4.1 Основные теоретические положения

Оптическое или световое излучение представляет собой электромагнитные волны, длина которых лежит в диапазоне $10^{-3} \dots 10^3$ мкм. Диапазон радиоволн



частично перекрывает оптический в интервале длин волн $50...10^3$ мкм, а диапазон ионизирующих излучений – в интервале длин волн $10^{-3}...10^{-2}$ мкм.

Оптические методы получения информации основаны на анализе взаимодействия оптического излучения с объектом. Информационными параметрами оптического излучения являются пространственно-временные распределения его амплитуды, частоты, фазы, поляризации и степени когерентности.

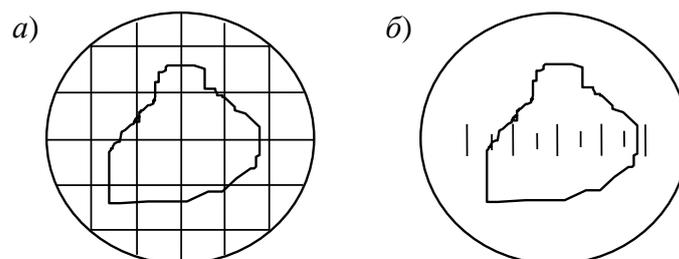
Для получения информации используют измерение этих параметров при взаимодействии оптического излучения с объектом контроля в соответствии с явлениями интерференции, дифракции, поляризации, преломления, поглощения, рассеяния, дисперсии света, а также изменение характеристик самого объекта контроля под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

Основными методами, применяемыми при контроле геометрических параметров, являются: визуальный, визуально-оптический, фотокомпенсационный, фотоследящий, фотоимпульсный, лазерный, голографический, волоконно-оптический.

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, выполненным 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.

Для измерения линейных размеров микрообъектов широко применяются 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. Такое сравнение иллюстрируется рисунком 4.1.



a – объект совмещен с масштабной сеткой; *б* – объект совмещен со шкалой

Рисунок 4.1 – Изображение объекта в окуляре микроскопа

Благодаря малой глубине резкости объективов микроскопов их можно использовать в качестве эффективного и достаточно простого средства измерения глубины поверхностных дефектов. Измерение осуществляется последовательной фокусировкой микроскопа на дно дефекта и на поверхность детали вблизи края дефекта, регистрацией перемещения тубуса $h = x_2 - x_1$.

4.2 Приборы и оборудование

Для выполнения лабораторной работы используются электронный микроскоп, штангенциркуль, образцы.

4.3 Порядок выполнения работы

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

4.3.2 Измерить размеры различных объектов.

4.3.3 Все измерения производить не менее пяти раз с занесением результатов в таблицу.

4.4 Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать следующее: название работы; цель работы; структурную схему микроскопа; результаты проведения измерений; выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1 На каких физических принципах основаны оптические методы контроля геометрических параметров?

2 Устройство и принцип действия проекторов.

3 Методы измерения геометрических размеров посредством микроскопа.

4 Сформулируйте основные законы геометрической оптики.

5 Как связаны показатель преломления среды и скорость распространения света в ней?

6 Почему при рассмотрении предмета через плоскую стеклянную пластинку он кажется расположенным ближе?



5 Исследование тепловых методов получения информации

Цель работы: изучить физические основы получения информации тепловыми методами (бесконтактные методы), овладеть практическими навыками работы с пирометрами.

5.1 Основные теоретические положения

Пирометрические методы измерений температуры охватывают широкий диапазон температур – от 173 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.

В зависимости от естественной входной величины пирометры разделяются на *пирометры полного излучения (радиационные пирометры)*, *пирометры частичного излучения (яркостные пирометры)* и *пирометры спектрального отношения (цветовые пирометры)*.

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.

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.

Пирометры полного излучения применяются для измерения в диапазоне температур от минус 50 до плюс 3500 °С.

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

Разновидностью пирометра частичного излучения является *монохроматический яркостный пирометр*, основанный на сравнении энергетической яркости объекта исследования с энергетической яркостью образцового излучателя в узком участке спектра излучения.

Пирометры спектрального отношения, или цветовые пирометры. Они показывают так называемую цветовую температуру тела T_c – условную темпе-



ратуру, 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.

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 тепловизорными микроскопами.

Телевизионные приемные трубки-видиконы с фоторезистивным слоем из пленки оксида свинца или сульфида оксида свинца чувствительны к излучению до 2 мкм.

Применение в качестве приемников излучения пироэлектрических элементов дает возможность получать видимое изображение температурного поля объектов с температурой от минус 20 до плюс 2000 °С.

В качестве приемников излучения сейчас преимущественно применяются фоторезисторы.

5.2 Приборы и оборудование

Для выполнения лабораторной работы используются пирометры и контрольные образцы.

5.3 Порядок выполнения работы

5.3.1 Изучить основные теоретические положения бесконтактных методов измерения температуры.

5.3.2 Изучить по техническим паспортам устройство и принцип действия пирометров.

5.3.3 Провести измерения температуры пирометрами.

5.4 Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать следующее: название работы; цель работы; структурную схему пирометра; результаты проведения измерений; выводы по проделанной работе.

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?

Список литературы

1 **Гольдштейн, А. Е.** Физические основы получения информации : учебник / А. Е. Гольдштейн. – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2010. – 292 с.

2 **Ермолов, И. Н.** Неразрушающий контроль : справочник в 7 т. Т. 3 : Ультразвуковой контроль / И. Н. Ермолов, Ю. В. Ланге ; под общ. ред. В. В. Ключева. – Москва : Машиностроение, 2004. – 864 с. : ил.

3 **Алешин, Н. П.** Ультразвуковой контроль / Н. П. Алешин, В. Т. Бобров, Ю. В. Ланге ; под общ. ред. В. В. Ключева. – Москва : Спектр, 2011. – 224 с.

4 **Шишмарёв, В. Ю.** Физические основы получения информации : учебное пособие для вузов / В. Ю. Шишмарёв. – Москва : Академия, 2010. – 448 с.

5 Физические основы получения информации : учебник / Г. Г. Раннев [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : КУРС ; ИНФРА-М, 2018. – 304 с.

