

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

## **КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ОБЪЕКТОВ РЕНОВАЦИИ**

Методические указания по выполнению лабораторных работ  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся  
в бакалавриате по направлению «Машиностроение»

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ»  
2014

УДК 620.179

Рецензент

канд. пед. наук, доцент кафедры автоматизированного машиностроения  
ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»  
И.А. Соколова

Автор

**Лещинский М.Б.**, к.т.н., доцент кафедры автоматизированного  
машиностроения ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный  
технический университет»

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой  
автоматизированного машиностроения ФГБОУ ВПО «Калининградский  
государственный технический университет» 3 июня 2014 г., протокол № 10

Методические указания рекомендованы к изданию методической  
комиссией факультета автоматизации производства и управления ФГБОУ ВПО  
«Калининградский государственный технический университет»  
4 июня 2014 г., протокол № 6

УДК 620.179

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2014 г.

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Настоящие указания содержат перечень, описание и методику выполнения лабораторных работ по дисциплине «Контроль и диагностика объектов реновации».

Лабораторные работы проводятся согласно учебной программы и под руководством преподавателя. Они предназначены для углубления, расширения и закрепления знаний, полученных студентами в процессе теоретического обучения.

Преподаватель кратко информирует студентов о целях и содержании работы, порядке её подготовки, выполнения, а также по оформлению отчета.

Предварительная подготовка к выполнению лабораторной работы состоит в следующем: по рекомендованной учебной литературе изучаются рассматриваемые вопросы, записывается название работы, цель её, план проведения, краткая характеристика оборудования, чертятся схемы, таблицы и т. д.

Допущенные к работе студенты начинают знакомиться с теоретической частью и заканчивают устройством наиболее важных, с точки зрения функционирования устройств, узлов или блоков лабораторной установки.

После изучения каждой темы надо ответить на вопросы для самопроверки. Ответы должны быть полными.

По окончании лабораторной работы студенты пишут отчет, в котором излагают цель работы, современные методы анализа. Затем приводится описание исследований, применяемые материалы, анализ процессов, характеристики образцов и дальнейшие рекомендации. Приводятся основные выводы.

Преподаватель проверяет правильность записей и подписывает отчет по проделанной работе.

## Лабораторная работа № 1

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ В НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДАХ КОНТРОЛЯ

**Цель работы:** ознакомиться с возможностью использования тензометрических датчиков сопротивления для измерения напряжений и деформаций.

Сложность конструктивных форм узлов и деталей современных машин, многообразие действующих на них нагрузок в подавляющем большинстве случаев не позволяют определять напряженное состояние расчетным путем или моделированием при создании машин новых конструкций, т. е. новые машины не могут быть правильно спроектированы и выполнены без проведения экспериментальных исследований. Это стало совершенно очевидным, когда проявилась общая тенденция в технике – стремление к высоким параметрам наряду с постоянно растущими требованиями к улучшению показателей надежности и снижению металлоемкости машин.

Тензометрия получила широкое распространение в самых различных областях науки и техники.

Применяются различные средства тензометрии, но одним из главных средств решения задач, связанных с экспериментальными исследованиями в области машиностроения, явилась электротензометрия.

#### Задание по лабораторной работе

1. Подключить к тензометрическому усилителю измерительный преобразователь.
2. Подключить источник питания и провести балансировку моста (полумоста).
3. Подключить регистрирующий прибор (самописец).
4. Провести серию нагружений, записать показания приборов.

#### Методические указания

В лабораторной работе используется промежуточный преобразователь, выполненный по мостовой схеме (рис. 1.1).

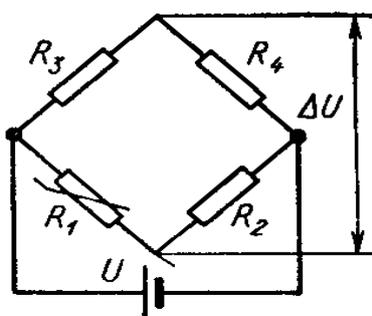


Рис. 1.1. Схема промежуточного преобразователя, выполненного по мостовой схеме

При условии  $R_1R_4 = R_2R_3$  мост уравновешен и э. д. с. на выходе моста равна нулю. Если мост имеет полную симметрию, т. е.  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ , то э. д. с. на измерительной диагонали мостовой схемы при изменении сопротивления тензорезистора на  $\Delta R$

$$\Delta U = \frac{U \Delta R}{4 R}.$$

Одна из характерных особенностей проводниковых тензорезисторов, особенно проволочных, состоит в том, что величина сигнала на выходе потенциометрических или мостовых промежуточных преобразователей, в которые они включены, очень мала (обычно не превышает нескольких милливольт), в связи с чем необходимо усиление сигнала, которое осуществляется специальными промежуточными преобразователями. К их числу относятся тензометрические усилители – масштабные преобразователи, не меняющие в процессе преобразования физической природы преобразуемой величины. В некоторых типах преобразователей имеет место изменение в процессе преобразования вида сигнала (с целью улучшения каких-либо характеристик), например преобразование изменения напряжения или изменения сопротивления в изменения частоты электрического сигнала.

### **Справочный учебный материал**

Тензометрирование машин, механизмов, агрегатов и технологического оборудования необходимо для оценки напряженно-деформированного состояния элементов, деталей и узлов при эксплуатационных или специальных режимах работы.

Основные цели тензометрирования:

- изучение условий действительной работы деталей, узлов и несущих конструкций машин для проверки и оптимизации расчетных схем, установления критериев равнопрочности и совершенствования конструктивной формы отдельных узлов и деталей;
- установление фактических внешних нагрузок, статистических или функциональных закономерностей их появления;
- оценка воздействия на объект исследования различных условий внешней среды;
- проверка соответствия напряженно-деформированного состояния расчетным данным;
- определение количественных показателей надежности узлов и деталей машин при нормальной эксплуатации и при специальных режимах работы;
- изучение влияния технологических операций изготовления машиностроительных деталей и узлов на их прочность и надежность.

Методы тензометрии основаны на изучении и измерении деформаций, что в большинстве случаев дает возможность оценки напряженного состояния.

Для экспериментального определения напряженно-деформированного состояния узлов машин применяются методы и средства, в которых использованы различные принципы измерений. Методы тензометрии можно подразделить на следующие группы: рентгеновские, поляризационно-

оптические (методы фотоупругости), муаровых полос, хрупких покрытий, гальванических покрытий и методы, основанные на преобразовании деформаций поверхности объекта исследования с помощью тензометров и тензометрических преобразователей.

Электрические тензометры. Их действие основано на изменении параметров электрической цепи тензометра (сопротивления, емкости или индуктивности) или генерирования электрических сигналов в соответствии с измеряемой деформацией. Можно назвать следующие виды электрических тензометров: сопротивления, индуктивные, емкостные, пьезоэлектрические и индукционные.

Из приведенных электрических тензометров наибольшее число разновидностей имеют тензометры сопротивления. Их действие основано на принципе изменения сопротивления металлов и полупроводников под действием деформаций.

Чувствительные элементы тензорезисторов (рис.1.2) могут быть выполнены в виде петлеобразной решетки из тонкой проволоки (рис.1.2,а) или фольги (рис.1.2,б), в виде пластинки монокристалла из полупроводникового материала. Чувствительные элементы могут быть также образованы напылением в вакууме полупроводниковой пленки и другими способами.

Чувствительный элемент 4 обычно прикрепляют к основе 2 из изоляционного материала (бумага, лаковая пленка, ткань и др.) с помощью связующего 3 (клея, цемента), которые передают деформацию чувствительному элементу. На объекте исследования основу закрепляют также посредством связующего. Для электрического соединения тензорезистора с измерительными схемами имеются выводы 1.

Особенность тензорезистора состоит в том, что его чувствительный элемент (решетка), как правило, имеет механическую связь с объектом исследования по всей длине измерительной базы (а не только по концам базы).

Чувствительность тензорезистора к деформациям характеризуется отношением изменения его сопротивления под действием деформации к величине относительной деформации.

Широкое распространение тензорезисторов как универсального средства измерения деформаций объясняется возможностью:

- измерения деформаций при разных размерах базы, начиная с десятых долей миллиметра;
- дистанционных измерений в большом числе точек;
- измерений в широком диапазоне температур при самотермокомпенсации или автоматической схемной компенсации;
- измерений при самых различных внешних условиях (влажность, давление, ионизирующие излучения и др.), неблагоприятных для других измерительных средств;
- измерения многокомпонентных деформаций на локальных участках объекта исследования.

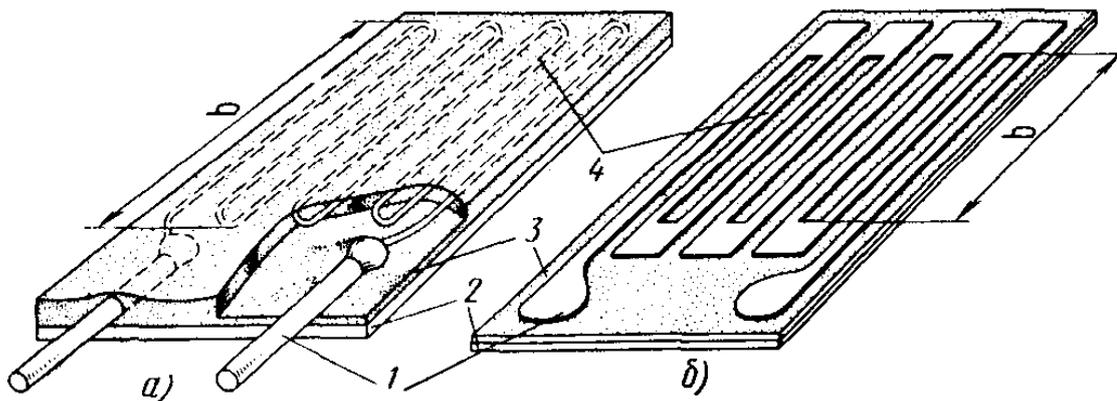


Рис. 1.2. Тензорезисторы:

а – с проволочным чувствительным элементом; б – с фольговым чувствительным элементом

Они также имеют незначительную массу, широкий частотный диапазон, включающий статические деформации и низкий порог реагирования, высокую надежность и сравнительно низкую стоимость.

Тензорезисторам свойственны и некоторые недостатки:

- невозможность индивидуальной градуировки;
- возможность только однократного использования (исключая тензорезисторные преобразователи механических величин);
- относительно невысокая чувствительность и относительно низкий абсолютный уровень выходных сигналов.

Однако эти недостатки не помешали широкому использованию тензорезисторов как самого массового и универсального средства экспериментальных исследований в машиностроении.

Измерительные преобразователи. Измерительными преобразователями называют средства измерения, служащие для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки или хранения, но не поддающиеся непосредственному восприятию наблюдателем.

По месту, занимаемому в измерительной цепи, преобразователи подразделяются на:

- первичные, к которым подводится измеряемая величина;
- промежуточные, занимающие в измерительной цепи место после первичных;
- передающие, на выходе которых образуются величины, удобные для регистрации и передачи на расстояние.

Первичными преобразователями при тензометрировании являются тензорезисторы, преобразующие измеряемую деформацию в изменения сопротивления. При измерении механических величин с применением тензорезисторов первичными преобразователями являются чувствительные элементы (обычно упругие), преобразующие измеряемую механическую величину в деформацию упругого элемента, которая, в свою очередь, воспринимается наклеенными на них тензорезисторами. На рис. 1.3 показаны

схемы чувствительных элементов преобразователей механических величин. На рис. 1.3,а показана П-образная скоба с наклеенным на нее тензорезистором; перемещения опорных концов скобы вызывают изгиб и, соответственно, деформацию верхней части скобы. Скоба в данном случае выполняет роль преобразователя перемещений с коэффициентом преобразования много меньшим единицы. Это позволяет привести величину измеряемых перемещений (обычно несколько миллиметров) в соответствие с допустимой деформацией тензорезистора (0,02 мм при базе 20 мм).

На рис. 1.3, б дана схема тензорезисторного силоизмерителя, который выполнен в виде стержня определенного сечения. Деформации стержня пропорциональны силе  $P$ , приложенной к его проушинам.

Для измерения давлений жидкостей и газов может быть использован, например, полый стакан (рис. 1.3, в), на поверхности которого наклеены тензорезисторы. Давление, действующее во внутренней полости стакана, вызывает деформацию его стенок, а тензорезисторы преобразуют деформацию стенок в изменения сопротивления.

Измерение ускорений осуществляют с помощью упругого чувствительного элемента в виде консоли с грузом на конце (рис. 1.3, г). Сила, пропорциональная массе груза и измеряемому ускорению, вызывает изгиб и соответствующую деформацию поверхности консоли.

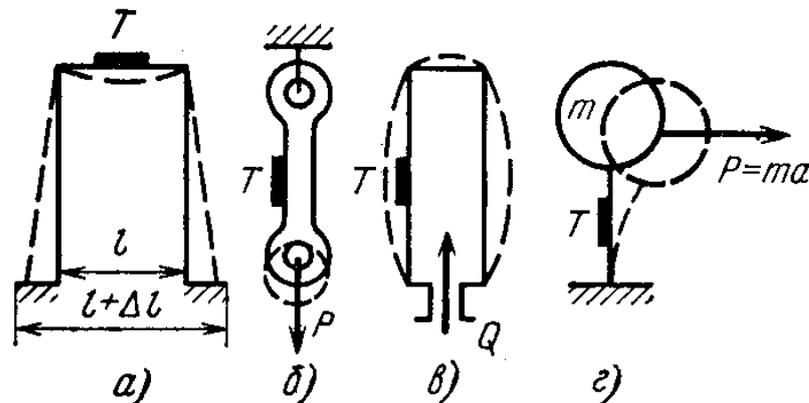


Рис. 1.3. Схемы чувствительных упругих элементов тензорезисторных преобразователей для измерения механических величин: а – перемещений; б – сил; в – давлений; г – ускорений

К числу промежуточных преобразователей относятся в первую очередь электрические схемы: потенциметрические и мостовые, в которые включаются тензорезисторы. В них изменения сопротивления тензорезисторов преобразуются в изменения электрического сигнала на выходе промежуточного преобразователя. Потенциметрическая схема состоит из источника питания и последовательно соединенных резистора и тензорезистора. Промежуточные преобразователи по потенциметрическим схемам выполняются обычно для измерения динамических деформаций. Поэтому для исключения постоянной составляющей устанавливают конденсатор.

Более широкое применение в электротензометрии имеют промежуточные преобразователи, выполненные по мостовым схемам.

К числу передающих тензометрических преобразователей относятся специальные типы преобразователей для радиотелеметрии, например, радиочастотные передатчики и приемники с частотной или другими видами модуляции, а также кодирующие преобразователи, необходимые при преобразовании измерительной информации с целью ввода ее в компьютер.

Измерительные приборы. К измерительным приборам относятся средства измерений, предназначенные для получения измерительной информации о величине, подлежащей измерению, в форме, удобной для восприятия наблюдателем. В электротензометрии применяют приборы, как прямого действия, так и приборы сравнения. При использовании первых измеряемая величина деформации подвергается ряду последовательных преобразований в одном направлении, без возвращения к исходной величине или величинам, полученным на выходе промежуточных преобразователей. Схема тензометрического прибора прямого действия показана на рис. 1.4, а.

Здесь тензорезистор  $R$  является одним плечом мостовой схемы, питание которой осуществляется от источника тока  $B_1$ . Напряжение, возникающее на измерительной диагонали мостовой схемы вследствие деформации тензорезистора, усиливается усилителем  $У$ . К выходу усилителя подключен показывающий ПП или регистрирующий РП прибор, с помощью которого осуществляется отсчет или регистрация величин сигналов, пропорциональных деформациям тензорезистора. Значительно большими точностными возможностями обладают приборы сравнения, в которых (обычно с помощью преобразователя по мостовой схеме) осуществляется сравнение сопротивления тензорезистора с известными сопротивлениями точных резисторов или сравнение (с помощью преобразователя по компенсационной схеме) напряжения на измерительной диагонали моста с напряжением от калиброванного источника тока.

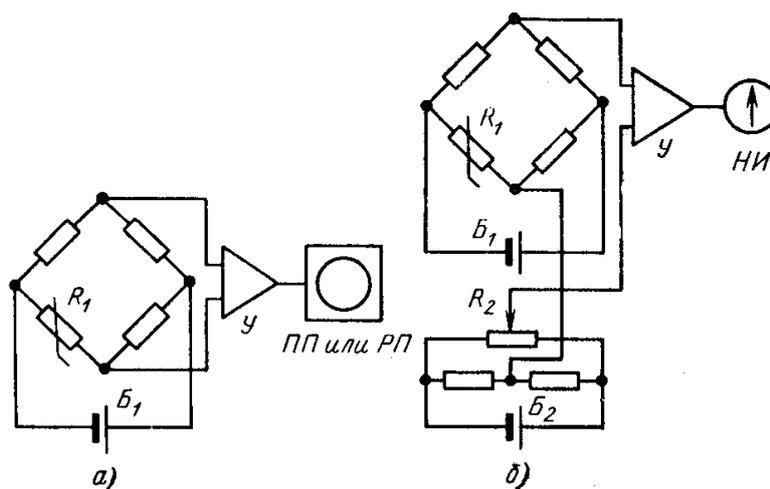


Рис. 1.4. Схемы тензометрических приборов: а – прямого действия; б – сравнения

На рис. 1.4, б показана схема тензометрического прибора сравнения, в котором напряжение на измерительной диагонали мостовой схемы сравнивается с напряжением на выходе переменного резистора  $R_2$ , подключенного ко второму источнику тока  $B_2$ . Разностное напряжение

усиливается, а отсчет производится по шкале, установленной на переменном резисторе, в тот момент, когда нуль-индикатор НИ, включенный на выходе усилителя, покажет нуль. В этой схеме в отличие от схемы прибора прямого действия изменение чувствительности усилителя в относительно больших пределах практически не сказывается на погрешности измерений.

Тензометрические приборы могут быть также разделены по способам снятия отсчета и регистрации: на приборы с визуальным отсчетом и приборы регистрирующие. Первые по типу индикации можно разделить на приборы с отсчетом по шкале (шкальные) и с цифровым отсчетом (цифровые). Регистрирующие приборы, в свою очередь, делят на приборы с открытой формой записи информации (самописцы, осциллографы) и приборы со скрытой формой записи информации (магнитный носитель).

По общему назначению тензометрические приборы делят на лабораторные, приборы для работы в производственных условиях, приборы общего назначения и, наконец, тензометрические приборы производственного контроля и управления.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Каковы основные цели тензометрирования?
2. Как устроены тензометры сопротивления?
3. Чем объясняется широкое распространение тензорезисторов?
4. Что такое измерительные преобразователи?
5. Какие приборы применяют в электротензометрии?

### **Литература**

1. Тензометрия в машиностроении: справочное пособ. / под ред. Р.А. Макарова. – Москва: Машиностроение, 1975. – 288 с.
2. Туричин, А.М. Электрические измерения неэлектрических величин / А.М. Туричин. – Ленинград: Энергия, 1966. – 692 с.
3. Раевский, Н.П. Датчики механических параметров машин / Н.П. Раевский. – Москва: Изд. АН СССР, 1960. – 188 с.

## Лабораторная работа № 2

### ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ТЕЧЕИСКАНИИ

**Цель работы:** ознакомиться с теоретическими основами и практическими подходами применения акустических ультразвуковых течеискателей для поиска протечек.

Контролю на герметичность подвергают изделия, у которых на протяжении заданного времени должно сохраняться заданное давление рабочего или контрольного вещества либо утечка рабочего вещества не должна превышать допустимого значения. Эти величины задают в технических условиях (ТУ) на изготовление изделий. К изделиям, испытываемым на герметичность, относятся корпуса судов, летательных аппаратов, ядерных реакторов, изделия холодильной и вакуумной техники, агрегаты и соединяющие их элементы гидравлических и газовых систем, трубопроводы и многие другие.

Нарушения герметичности изделий обусловлены неплотностями материала, из которого изготовлены их элементы и узлы, а также неплотностями в соединениях этих элементов и узлов друг с другом. Требуемую герметичность соединений обеспечивают путем совершенствования их конструкций и технологических процессов сборки, сварки и др. Для сосудов, находящихся под избыточным давлением, требования к герметичности определяются их объемом и допустимым изменением давления в них в течение времени. Иногда исходят из условий допустимого повышения концентрации вытекающего из объема в окружающее пространство газа.

#### Задание по лабораторной работе

1. Подключить к устройству датчик (преобразователь) через входной разъем.
2. Подключить головные телефоны, при этом автоматически включается питание прибора.
3. Надеть головные телефоны. Диск регулятора громкости телефонов вывести в максимальное положение.
4. Расположить устройство на расстоянии 0,1-1,0 м и направить на испытываемый конструкцию (трубопровод), находящийся под давлением воздуха не менее 0,01 МПа.
5. Перемещать устройство вдоль испытываемой конструкции, выдерживая расстояние 0,1-1,0 м.
6. При появлении характерного шума (шипения, свиста) в наушниках, изменяя направление оси датчика (преобразователя), добиться максимальных громкости и показаний индикатора. В случае чрезмерной громкости сигнала уменьшить его уровнем вращением диска регулятора.
7. Повторить п. 6 режиме локального поиска.

8. Точка пересечения оси датчика (преобразователя) с наружной поверхностью конструкции укажет место утечки воздуха из системы.

9. Отметить мелом место утечки и продолжить поиск других подобных мест аналогичным образом.

10. По окончании работы отсоединить головные телефоны и датчик (преобразователь) от устройства.

### Методические указания

Течеискатель ультразвуковой ТАУ-3 предназначен для поиска и обнаружения мест расположения сквозных дефектов корпусных конструкций, испытываемых при избыточном давлении воздуха от 0,02 (0,2 кг/см<sup>2</sup>) до 0,03 мПа (0,3 кг/см<sup>2</sup>), судовых трубопроводов, испытываемых при избыточном давлении воздуха от 0,05 (0,5 кг/см<sup>2</sup>) до 2,1 мПа (21кг/см<sup>2</sup>). Для этих же целей прибор может использоваться с автономным генератором ультразвуковых колебаний.

Конструктивно течеискатель состоит из корпуса прибора, соединяемого с акустическим преобразователем (микрофоном) и головными телефонами посредством стандартных разъемов.

Акустический преобразователь представляет собой совокупность ультразвукового микрофона МУП-1 и предварительного усилителя.

В корпусе прибора расположены основной усилитель, амплитудный детектор, фильтры, выпрямители, встроенный генератор звуковых частот и стрелочный индикатор уровня сигнала (рис. 2.1). Электропитание прибора осуществляется от аккумулятора или батареи типа находящихся в специальном отсеке прибора, зарядка аккумулятора производится через пятиштырьковый разъем соединения с головными телефонами. На корпусе течеискателя имеется светодиод, загорание которого сигнализирует о снижении напряжения до 7В.



Рис. 2.1. Блок-схема ультразвукового течеискателя ТАУ-3:

ТАУ – течеискатель ультразвуковой; МУП – микрофон ультразвуковой пьезоэлектрический; УПЧ – предварительный и основной усилители; АД – амплитудный детектор; ФНЧ – фильтр нижних частот; УНЧ – усилитель низкой частоты; ИУ – индикатор уровня и головные телефоны

Включение течеискателя осуществляется при соединении разъема головных телефонов.

В комплект прибора входит зарядное устройство, на корпусе которого расположен светодиод, его загорание сигнализирует о полностью заряженном аккумуляторе.

В приборе имеется регулятор уровня сигнала и переключатель режима работы течеискателя.

Течеискатель ТАУ-3 может работать в двух режимах:

1) режим общего поиска дефектов (обнаружение районов расположения дефектов);

2) режим локального поиска для более точного определения и фиксации мест расположения дефектов.

Принцип работы прибора в первом режиме заключается в преобразовании ультразвуковых колебаний воздуха в электрический сигнал с последующим его усилением и подачей на индикатор уровня и головные телефоны.

При появлении характерного изменения звукового тона в наушниках и подрагивании стрелки индикатора, изменяя угловые направления оси преобразователя следует добиться максимального уровня звукового сигнала в наушниках и максимального отклонения стрелки индикатора.

Направление оси акустического преобразователя указывает на район расположения сквозных дефектов на корпусной конструкции или трубопроводе.

При втором режиме работы течеискателя предусмотрено автоматическое включение генератора звуковых частот, который запускается при наличии определенного уровня ультразвуковых колебаний воздуха, возникающий при истечении последнего из сквозных дефектов испытываемой конструкции. Определение мест расположения дефектов происходит при линейно-угловом сканировании преобразователем в районе конструкции, где был выявлен дефект при общем поиске (первый режим работы прибора).

Координаты расположения дефекта находятся по максимальной величине изменяющейся частоты звукового генератора, соответствующей тому случаю, когда ось микрофона является продолжением оси сквозного дефекта. При этом на стрелочном индикаторе также фиксируется максимальное отклонение. Погрешность поиска не превышает величину диаметра микрофона.

Расстояние от сквозного дефекта до акустического преобразователя при режиме общего поиска больше, чем при режиме локального поиска. С уменьшением уровня ультразвукового сигнала это отличие уменьшается.

Диаграммы направленности акустического преобразователя течеискателя ТАУ-3 показана на рис. 2.2 и 2.3.

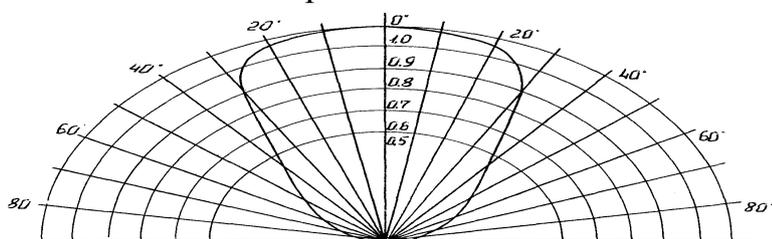


Рис. 2.2. Диаграмма направленности в режиме общего поиска

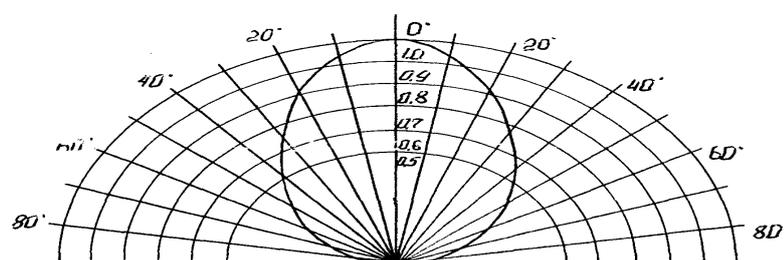


Рис. 2.3. Диаграмма направленности в режиме локального поиска

## Справочный учебный материал

Герметичность является необходимым условием работоспособности различных изделий, поэтому надежность их контроля должна быть высокой. Однако даже после тщательного проведения испытаний герметичность объектов может быть нарушена вследствие нескольких причин:

1) превращение несквозных дефектов в сквозные под действием остаточных напряжений в конструкции в результате различных физико-химических воздействий;

2) исчезновение и появление течей в результате деформации оболочек, особенно тонкостенных, под действием механических или термических нагрузок, в связи с чем испытания оболочек изделий ответственного назначения следует проводить в условиях, максимально приближенных к рабочим;

3) случайное перекрытие полостей неплотностей в результате попадания в них пыли или технологических жидкостей, а также атмосферной влаги.

Воздействие атмосферной влаги может приводить к уменьшению канала течи в 10...1000 раз и даже к его полному перекрытию. При этом течь может находиться в закупоренном состоянии длительное время (от нескольких недель до нескольких месяцев) независимо от размера ее канала. Вскрытию закупоренных влагой течей способствует высокотемпературный прогрев изделий в нейтральной атмосфере или в вакууме, а также вымачивание в ацетоне перед прогревом.

При испытаниях изделий на герметичность должны быть обеспечены возможности надежной герметизации заглушек и труб подачи и отвода пробных веществ, подготовки внутренней и наружной поверхностей, изделия к полному удалению посторонних веществ из полостей неплотностей, а также доступа ко всем контролируемым участкам для исправления мест, в которых возможно наличие течей.

Манометрический метод контроля герметичности изделий основан на регистрации изменения испытательного давления контрольного или пробного вещества в результате наличия течей. Этим методом испытывают замкнутые системы – резервуары, гидравлические и газовые системы, их элементы и др. В зависимости от требований к изделиям в качестве контрольных веществ применяют жидкости (воду) и газы (воздух, азот, аргон, гелий или аммиак), в качестве пробных – эфир, бензин, ацетон, углекислый газ и др. Индикацию течей осуществляют по показаниям стрелочных приборов.

Метод применяют при контроле изделий и систем, работающих под давлением. Схема контроля показана на рис. 2.4. Контрольное вещество (газ или жидкость) поступает из сети через редукционный клапан 1, вентиль заполнения 3 и предохранительный клапан 4 в контролируемое изделие 5. Сначала производят опрессовку изделия давлением, превышающим рабочее и устанавливаемым ТУ. Значение давления измеряют манометром 2. После опрессовки давление контрольного вещества снижают до испытательного и выдерживают в течение установленного ТУ времени. Обычно значение

испытательного давления составляет 1...1,2 рабочего. Время выдержки под давлением может достигать нескольких десятков часов.

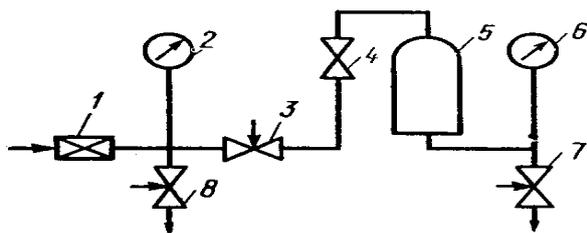


Рис. 2.4. Схема контроля герметичности методом падения давления

Например, оборудование, используемое в химическом или нефтяном машиностроении, считают герметичным, если падение давления за 1 ч не превышает 0,1% при токсичных и 0,2 – при пожаро- и взрывоопасных веществах для новых аппаратов и 0,5 – при периодических испытаниях уже работающих аппаратов. Для межцеховых газопроводов диаметром до 250 мм допускается снижение давления от 0,1 до 0,2% в час. Падение давления измеряют контрольным манометром 6 высокого класса точности. Сброс давления из системы осуществляют с помощью вентиля 7 и 8.

При проведении манометрических испытаний следует учитывать, что падение давления в изделии существенно зависит от температур контрольного вещества и окружающей среды, атмосферного давления и др. Изменение этих факторов в процессе испытания может внести существенные погрешности в результаты измерений, особенно при больших выдержках.

Акустический метод. Этот метод течеискания основан на индикации акустических волн, возбуждаемых при вытекании контрольного газа через неплотности в контролируемом объекте. Во время испытаний объект заполняют газом (воздухом) и создают некоторое избыточное давление. При истечении газа через неплотность его молекулы взаимодействуют со стенками канала течи и генерируют ультразвуковые колебания с частотой около 40 кГц. Датчик приемного устройства акустического течеискателя, перемещаемый по поверхности контролируемого изделия, улавливает эти колебания и преобразует их в электрический сигнал, который после усиления поступает на стрелочный или звуковой индикатор течеискателя. Приемным устройством является пьезоэлектрический микрофон, размещаемый в корпусе течеискателя, или выносной щуп, в котором смонтированы микрофон и усилитель. Все акустические течеискатели являются переносными и питаются от батареи аккумуляторов.

Чувствительность испытаний акустическими течеискателями зависит от давления воздуха в объекте контроля. С повышением давления увеличивается расстояние, на котором течеискатель позволяет обнаруживать течи (рис. 2.5). С возрастанием потока воздуха через течь при постоянном давлении максимальное расстояние, на котором можно обнаруживать течи, также увеличивается. Чувствительность контроля может быть повышена, если неплотности смачивают жидкостью, например водой. При этом появляются

пузырьки воздуха, при разрушении которых образуются мощные акустические импульсы, легко улавливаемые приборами.

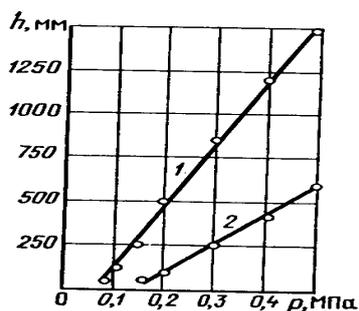


Рис. 2.5. Графики зависимости расстояния  $h$  между акустическим течеискателем и течью от давления воздуха в объекте при круглой течи диаметром 0,3 мм (1) и прямоугольной течи размером 0,1x0,5 мм (2)

Акустический метод применяют для испытаний объектов, к которым не предъявляют жестких требований по герметичности. Этим методом контролируют герметичность химического оборудования, паровых конденсаторов и теплообменников, телефонных кабелей и др. Особенно эффективен акустический контроль при испытаниях подземных трубопроводов. В ряде случаев акустические течеискатели используют для выявления грубых течей перед контролем изделий более чувствительными методами. Контроль не требует применения специальных индикаторных газов и высокой квалификации исполнителей.

Недостатком метода является низкая чувствительность и реагирование на производственные шумы.

### Вопросы для самопроверки

1. Какие изделия подвергаются контролю на герметичность?
2. Причины, по которым контроль герметичности может не показать реального состояния конструкции.
3. Что такое манометрический метод контроля герметичности?
4. Что такое акустический метод контроля герметичности?
5. Какова методика поиска дефектов акустическими течеискателями.

### Литература

1. Маслов, Б.Г. Дефектоскопия проникающими жидкостями / Б.Г. Маслов. – Москва: Высшая школа, 1991. – 255 с.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник / под ред. В.В. Ключева: в 2 кн. – Москва: Машиностроение, 1976. – Кн. 2. – 326 с.
3. Ультразвуковой течеискатель ТАУ-3. Техническое описание, инструкция по эксплуатации и паспорт. – Калининград, 1990. – 12 с.

## Лабораторная работа № 3

### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕТОГО ТЕЛА БЕСКОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ

**Цель работы:** Изучение возможности измерения температуры нагретых тел по их излучению.

#### Задание по лабораторной работе

1. Установить на одной оптической оси исследуемый объект и оптический пирометр.
2. Подать питающее напряжение к исследуемому объекту и на измерительный прибор.
3. Меняя температуру нагрева объекта, которым для лабораторных исследований служит лампа накаливания (путем изменения силы тока в её цепи), проводят два-три измерения для отработки навыков работы с пирометром.
4. Провести измерения температуры стального образца размещенного в муфельной печи сопротивления.
5. Результаты всех замеров зафиксировать в отчете.

#### Методические указания

Яркие температуры измеряются приборами, получившими название оптических пирометров.

Наиболее совершенным из оптических пирометров является так называемый монохроматический оптический пирометр с исчезающей нитью. В комплект этого прибора входят телескоп, показывающий прибор и источник питания (рис. 3.1).

Изображение источника излучения, температуру которого хотят измерить, с помощью объектива 1 помещается в плоскости нити пирометрической лампочки 2. Наблюдатель, смотря в окуляр 3 через красный светофильтр 4, видит нить лампочки, проектирующейся на фоне изображения источника излучения. Меняя положение движка реостата 5, можно установить такую силу тока в пирометрической лампочке, при которой нить лампочки «исчезает» на фоне изображения. Это происходит в тот момент, когда в пределах контрастной чувствительности человеческого глаза яркость нити лампочки будет равна яркости изображения источника излучения. Соответствующая этому равенству яркостей сила тока отсчитывается по включенному в цепь амперметру, шкала которого обычно градуируется непосредственно в градусах яркостной температуры.

В некоторых конструкциях оптических пирометров показывающий прибор включается не последовательно с лампочкой, а параллельно ей и реагирует на изменение напряжения на выводах лампочки. Такой способ включения показывающего прибора не меняет принципа действия пирометра.

Каждый оптический пирометр имеет специальное устройство для монохроматизации пучка лучей, попадающих в глаз наблюдателя. Использование аппаратуры, дающей возможность выделить очень узкие участки спектра, сильно усложнило бы прибор и ограничило область его применения только лабораторными измерениями. Поэтому для монохроматизации света применяются стеклянные светофильтры.

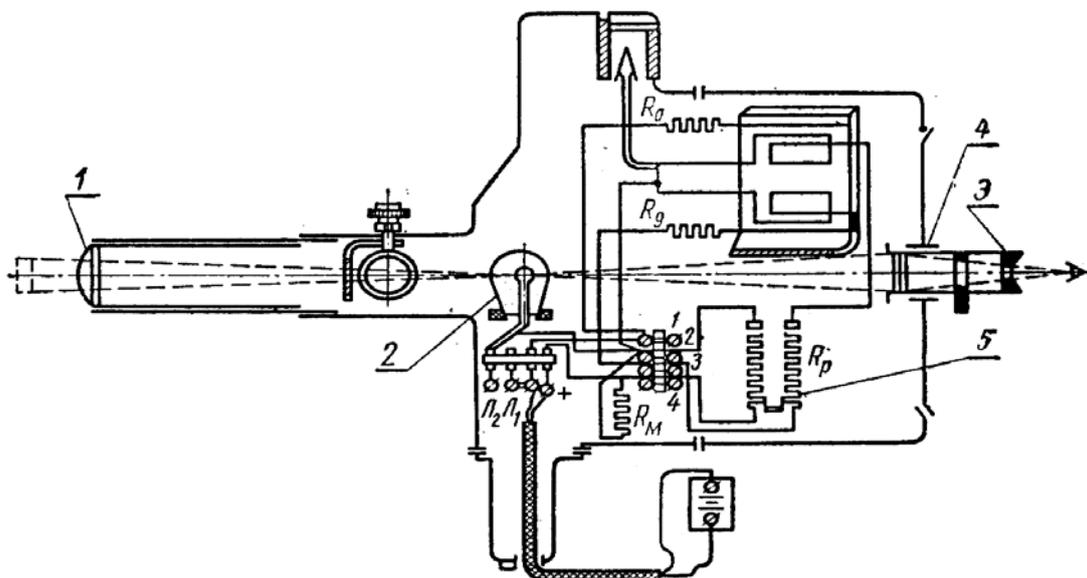


Рис. 3.1. Устройство монохроматического оптического пирометра

Технология изготовления таких светофильтров исключает возможность получения стекол с узкой спектральной полосой пропускания. Поэтому приходится выбирать такие стекла, которые имеют резкую границу пропускания вблизи края видимого спектра.

Свойствами, необходимыми для изготовления светофильтров, обладает красное стекло, кривая пропускания которого вместе с кривой спектральной чувствительности человеческого глаза представлена на рис. 3.2. Вертикальная штриховка обозначает спектральную область чувствительности человеческого глаза, а наклонная – область поглощения лучистой энергии в красном стекле.

Использование в оптических пирометрах красной области спектра дает возможность понизить значение температуры, с которой можно применять оптический пирометр. Кроме того, в этой области спектра глаз мало чувствителен к различию цветов, что очень существенно для надежного уравнивания яркостей. Пропускаемая стеклом область спектра составляет около 0,10-0,11 мк и изменение температуры излучателя должно вызывать смещение эффективной длины волны. Это смещение невелико и может быть вычислено.

Красный фильтр устанавливается в окулярной части телескопа. Его можно вывести из поля зрения для облегчения наводки и фокусировки телескопа при малой яркости излучателя, но при проведении уравнивания яркостей он должен быть обязательно введен в поле зрения.

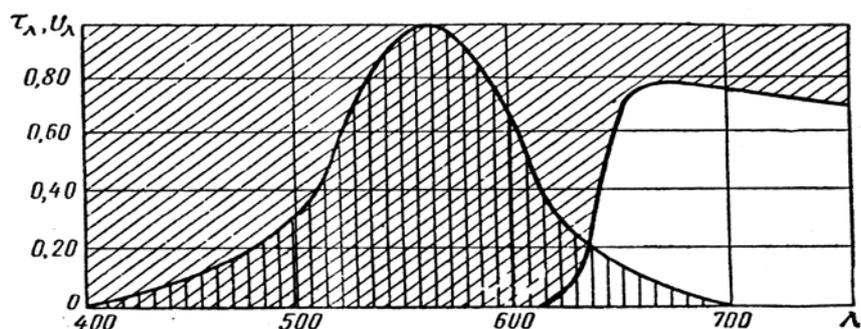


Рис. 3.2. Кривая пропускания светофильтра вместе с кривой спектральной чувствительности человеческого глаза

Постоянство показаний оптического пирометра определяется главным образом постоянством показаний электроизмерительного прибора и сохранностью характеристик пирометрической лампочки. Опыт показал, что у пирометрической лампочки с вольфрамовой нитью в течение очень долгого времени сохраняется зависимость яркости нити от силы протекающего через нее тока, если не нагревать нить выше  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  (яркостной температуры). Такой низкий предел измерения не удовлетворяет современным требованиям. Поэтому измерение более высоких температур осуществляется путем уравнивания яркости нити пирометрической лампочки и ослабленного поглощающим стеклом, введенным между лампочкой и объективом телескопа изображения источника. Некоторые приборы снабжены двумя поглощающими стеклами: одно для температуры до  $2000$ , второе – до  $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Оптическая плотность поглощающего стекла (например, в приборах с верхним пределом измерений  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) должна быть такой, чтобы при яркостной температуре излучателя  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$  яркостная температура изображения не превышала  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При введении поглощающего стекла, предназначенного для измерения температуры до  $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , изображение излучателя с температурой в  $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$  должно также иметь яркостную температуру не более  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Тогда при измерении любой яркостной температуры излучателя в интервале  $1400\text{--}3000\text{ }^{\circ}\text{C}$  нить пирометрической лампочки не будет накаливаться до яркостных температур выше  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В соответствии с этим электроизмерительный прибор имеет две градусные шкалы, первая из которых от  $800$  до  $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$  или до  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответствует измерению температур с телескопом, у которого выведено поглощающее стекло, а вторая – измерению с введенным в поле зрения поглощающим стеклом.

Если спектральная характеристика поглощающего стекла выбрана правильно, то пирометрическое ослабление стекла  $A$  остается величиной постоянной независимо от того, в каком температурном интервале оно определено. Наиболее совершенным поглощающим стеклом является стекло марки ПС-2, специально разработанное для этой цели.

## Справочный учебный материал

Все методы измерения температуры подразделяются на методы контактного измерения температуры и методы бесконтактного измерения температуры.

Приборы для измерения температуры можно классифицировать следующим образом:

1. Термометры расширения – термометры, действие которых основано на свойстве физических тел изменять свой объем или линейные размеры от нагревания; они подразделяются на три группы: жидкостные, стержневые, или дилатометрические, и биметаллические.

2. Манометрические термометры – термометры, действие которых основано на зависимости давления веществ при постоянном объеме от температуры. Они подразделяются на жидкостные, газовые и конденсационные (паровые).

3. Термометры сопротивления – термометры, действие которых основано на свойстве металлических проводников или полупроводников (термисторов) изменять свое электрическое сопротивление в зависимости от изменения температуры.

4. Термоэлектрические термометры – термометры, действие которых основано на возникновении термоэлектродвижущей силы в электрической цепи при нагреве места спая двух разнородных проводников.

5. Пирометры излучения подразделяются на радиационные, оптические и фотоэлектрические. Они практически измеряют энергию излучения, испускаемую нагретыми телами, без непосредственного контакта термодатчика с объектом измерения.

При измерении средних и высоких температур использование контактных методов оказывается зачастую невозможным. Поэтому в таких случаях широкое применение находят пирометры излучения.

Пирометры излучения предназначены для измерения температуры раскаленных тел в пределах от 100 до 4000 °С. Теоретически они не имеют верхнего температурного предела. Этими приборами температуру измеряют на расстоянии, т. е. не вводят в контролируемую среду. Раскаленные тела излучают волны различной длины. При сравнительно низких температурах до 500 °С излучаются в основном инфракрасные лучи. С увеличением температуры цвет нагретого тела изменяется от темно-красного до белого и тело содержит волны всех воспринимаемых глазом частот.

Способность поглощения и излучения энергии у различных тел, находящихся при одной и той же температуре, неодинакова. Для сравнения способности излучения тел введено понятие «абсолютно черное тело». Считается, что оно поглощает всю падающую на него лучистую энергию, т. е. способность поглощения равна единице. Способность излучения абсолютно черного тела также принята равной единице. Способность излучения реальных тел меньше единицы, а следовательно, и их способность излучения относительно абсолютно черного тела меньше единицы.

Существует несколько методов измерения температуры тел по их излучению, при которых применяют различные типы пирометров:

Оптические пирометры – приборы, действие которых основано на измерении видимой части излучения тел путем сравнения яркости свечения этого тела и яркости свечения нити специальной лампы (фотоэлектрической лампы). В качестве чувствительного элемента, определяющего совпадение интенсивностей излучения, служит глаз человека.

Предварительной градуировкой устанавливают зависимость температуры нити лампы от тока, питающего фотометрическую лампу. Прибор, измеряющий ток накала лампы, градуируется в градусах температуры. Процесс измерения сводится к уравнению яркостей нагретого тела, на которое наводится объектив пирометра, и нити накаливания изменением тока с помощью специального реостата. Оптические пирометры изготавливают в виде переносных приборов.

Фотоэлектрические пирометры – приборы, действие которых основано на измерении видимой части излучения, но не методом сравнения, а прямым путем с помощью применения фотоэлемента. Фотоэлемент преобразует световую энергию, направленную на него от нагретого тела, с помощью телескопа в фототок, который усиливается специальным усилителем и подается на вторичный измерительный прибор, отградуированный в градусах температуры.

В свою очередь, оптические пирометры делятся на радиационные – воспринимающие полную энергию излучения, яркостные – воспринимающие энергию излучения в какой-либо узкой области спектра, и цветовые – основанные на измерении отношения интенсивностей излучения.

Радиационные пирометры используются для измерения температур от 20 до 2500 °С. Это приборы, действие которых основано на измерении полной энергии излучения нагретого тела. Основными элементами комплекта радиационного пирометра являются телескоп, термоприемник и вторичный измерительный прибор. Лучи от нагретого тела с помощью линзы телескопа собираются на термоприемнике, смонтированном в телескопе. В качестве термоприемника применяется батарея из термопар; фокусируясь на термоприемнике, тепловой поток нагревает его. Степень нагрева термоприемника зависит от мощности теплового излучения и, следовательно, от температуры.

Температура, измеренная радиационным пирометром всегда меньше истинной температуры тела, поскольку полная энергия излучения абсолютно черного тела (поверхность такого тела абсолютно не отражает потока радиации) всегда больше энергии излучения реальных тел. Радиационные пирометры нуждаются в градуировке конкретно для тех тел, температуру которых они измеряют.

Яркостные пирометры основаны на сравнении в узком участке спектра яркости исследуемого объекта с яркостью образцового излучателя. Сравнивая яркости двух объектов по спектральным плотностям излучения, можно измерить интересующую нас температуру. Яркостные пирометры также

обладают погрешностью от неполноты излучения – измеряемая ими температура отличается от истинной.

Существенным достоинством яркостных пирометров является независимость их показаний от расстояния до излучающей поверхности и ее размеров (например, измерение температуры звезд).

В качестве образцового источника яркости используются лампы с плоской вольфрамовой нитью. После старения при температуре 2000 °С в течение 100 ч излучение лампы становится стабильным, если ее температура не превосходит 1500 °С. Изменение яркости лампы осуществляется либо регулировкой тока, либо введением нейтрального светофильтра переменной плотности (оптического клина). В первом случае шкала прибора получается резко нелинейной, так как яркость нити пропорциональна пятой степени тока накала. Во втором случае угол поворота клина линейно связан с регулируемой яркостью.

Устройство датчика яркостного пирометра показано на рис. 3.3. Датчик представляет собой телескоп с объективом 2 и окуляром 6. Для ограничения полосы частот перед окуляром размещен красный светофильтр 5. Экспериментатор наблюдает исследуемый объект (тело) 1 через окуляр, ослабляя его яркость оптическим клином 4, и сравнивает интенсивности излучения измеряемого тела и образцового источника.

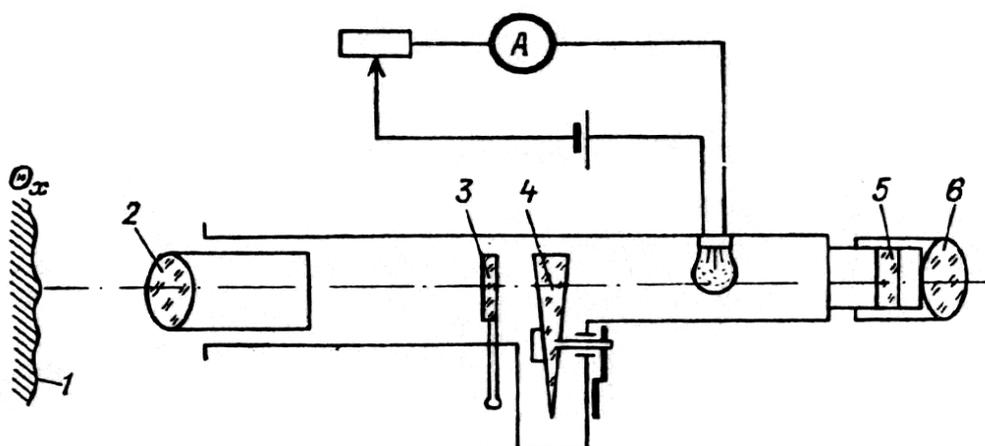


Рис. 3.3. Устройство датчика яркостного пирометра

Измеряемая температура определяется по шкале оптического клина в момент уравнивания яркостей. Прибор имеет два предела измерения: при более высоких температурах последовательно с оптическим клином вводится нейтральный светофильтр 3, позволяющий расширить пределы измерения яркости вдвое.

Сравнение яркостей производится по наблюдению нити образцового излучателя на фоне исследуемого тела. Если яркость тела больше яркости образцового излучателя, то нить накаливания видна в виде черной нити на ярком фоне. В противном случае заметно свечение нити на более бледном фоне исследуемого тела. При равенстве яркостей нить невидна, поэтому такие пирометры часто называются пирометрами с исчезающей нитью. Яркостные

пирометры обеспечивают высокую точность измерения температуры, так как яркость тела растет гораздо быстрее, чем его температура. Поэтому при измерении яркости с погрешностью в 1 % обеспечивается погрешность измерения температуры не более 0,1%.

Цветовые пирометры основаны на измерении отношения интенсивностей излучения на двух длинах волн, выбираемых обычно в красной и синей областях спектра. Температура, измеряемая цветовыми пирометрами, если коэффициенты неполноты излучения для обеих выбранных длин волн совпадает между собой, равна истинной температуре тела. Это одно из решающих преимуществ цветковых пирометров. Кроме того, показание цветковых пирометров принципиально не зависит от расстояния до объекта измерения, а также и от поглощения радиации в среде, заполняющей это расстояние, если коэффициенты поглощения одинаковы для обеих длин волн.

Недостатком цветковых пирометров является их относительная сложность. Зависимость спектральной плотности излучения от измеряемой температуры описывается довольно сложным выражением, вытекающим из квантовой теории. Поэтому непременной составной частью любого цветкового пирометра является вычислительное устройство.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Как классифицируются приборы для измерения температуры?
2. Поясните принцип действия оптического пирометра.
3. Поясните принцип действия радиационного пирометра.
4. Поясните принцип действия фотоэлектрического пирометра.
5. Поясните назначение красного светофильтра, используемого в конструкции изучаемого пирометра.
6. Поясните, для чего в изучаемой конструкции используется поглощающее стекло.

### **Литература**

1. Михайлов, Л.М. Приборы для измерения температуры / Л.М. Михайлов, Б.И. Левит. – Москва: Пищ. пром-сть, 1979. – 380 с.
2. Королева, Н.В. Современные пирометры полного излучения / Н.В. Королева. – Москва: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1980. – 265 с.
3. Поверка приборов для температурных и тепловых измерений: сборник инструкций, метод. указаний и государственных стандартов / изд. офиц. – Москва: Изд. стандартов, 1965. – 156 с.

## Лабораторная работа № 4

### ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОЛЩИНОМЕТРИИ

**Цель работы:** ознакомиться с физическими основами и технологией проведения замеров толщин стальных изделий с использованием ультразвукового толщиномера.

#### Задание по лабораторной работе

1. Проведите предварительную подготовку поверхности контролируемого изделия в местах установки преобразователя, для чего очистите с помощью металлической щетки, контактирующую с преобразователем поверхность изделия от отслаивающейся окалины, защитных покрытий и других грубых микронеровностей поверхности.

2. Нанесите слой контактной смазки на поверхность контролируемого изделия в местах установки преобразователя.

3. Установите преобразователь на поверхность изделия, хорошо притерев и прижав контактные поверхности, добейтесь засветки точки на индикаторе справа после значащих цифр и устойчивых минимально возможных показаний цифрового индикатора, считайте показания.

Примечание: а. При появлении засветки знака **⏏** на цифровом индикаторе преобразователь можно резко оторвать от поверхности изделия. На цифровом индикаторе толщиномера будет высвечиваться хранящееся в электронной памяти измеренное значение толщины. Смена информации произойдет только при повторном обеспечении акустического контакта преобразователя с изделием. Если контакт преобразователя и изделия не был обеспечен в течение 1,5-4,5 мин, то толщиномер автоматически выключается. Повторное его включение производится нажатием кнопки **⏏** в течение 2-3 сек.

б. При снятии преобразователя с поверхности изделия необходимо следить за тем, чтобы на контактной поверхности преобразователя не оставался толстый слой контактной смазки, который при снятом с изделия преобразователе может приводить к появлению ложных эхо-сигналов.

4. Производите проверку юстировки толщиномера не реже, чем через 8 ч работы, а также при замене преобразователей.

5. Засветка точек после двух старших разрядов цифрового индикатора при нажатой кнопке **⏏** указывает на разряд батареи, при этом, если кнопка отжата, толщиномер автоматически выключается. В этом случае батарею необходимо заменить.

6. По окончании работы с толщиномером необходимо протереть ветошью преобразователи и образцы, входящие в комплект.

## Методические указания

1. Подсоедините к разъемам  $\Leftarrow$  и  $\Rightarrow$  с помощью соединительных кабелей преобразователь на требуемый диапазон толщин. При подключении преобразователей разъем  $\Leftarrow$  толщиномера должен подключаться к ответвлению с отличительной белой биркой соединительного кабеля. Ручку регулятора  $\blacktriangleright\blacktriangleleft$  поверните до упора по часовой стрелке, а ось  $\triangleright$  резистора – до упора против часовой стрелки.

2. Проверьте наличие батареи (источника), для чего нажмите кнопку  $\oplus$  на панели управления в течение 2-3 сек и убедитесь, что при нажатой кнопке высвечиваются цифры на цифровом индикаторе и при этом подсвечивается только одна точка справа от младшего разряда индикатора. Если цифры не засвечиваются, установите в толщиномер новую батарею.

3. Проведите проверку общей работоспособности толщиномера и стыковку реверберационно – шумовой характеристики преобразователя с чувствительностью приемника толщиномера, для чего:

- нажмите на кнопку  $\oplus$  и при нажатой кнопке установите регулировкой ручки  $\blacksquare$  показания цифрового индикатора – 6080;

- отпустите кнопку  $\oplus$ , нанесите на поверхность юстировочной плитки с маркировкой 10, входящей в комплект толщиномера, слой контактной смазки, которая будет использоваться при контроле;

- установите преобразователь на входящую в комплект толщиномера юстировочную плитку с маркировкой 10. Прижатием поверхностей преобразователя и юстировочной плитки добейтесь засветки индикатора  $\blacksquare$  (точки, справа от младшего разряда цифрового индикатора);

- определите, вращая по часовой стрелке с помощью отвертки ось резистора  $\triangleright$ , зону, в пределах которой показание цифрового индикатора устойчиво не зависит от положения ручки  $\blacktriangleright$ , а высвечиваемое значение толщины находится в диапазоне 12-16 мм. Установите ось резистора  $\triangleright$  в пределах указанной выше зоны или максимально возможном усилении (усиление возрастает при повороте оси резистора  $\triangleright$  по часовой стрелке);

- установите преобразователь на вмонтированную в корпус толщиномера юстировочную плитку с маркировкой 3,0 и, вращая ручку  $\blacktriangleright\blacktriangleleft$ , добейтесь показания цифрового индикатора 3,0 мм;

- установите преобразователь на плитку толщиной 10 мм и убедитесь, что показания цифрового индикатора находятся в пределах 9,9-10,1 мм.

4. Проведите юстировку отсчетного устройства толщиномера на материал контролируемых изделий, при неизвестной марке материала контролируемых изделий или неизвестном значении скорости распространения УЗК в материале и измерении толщин в диапазоне 0,6-30 мм:

- установите преобразователь на аттестованный по толщине участок контрольного (стандартного) образца, контролируемой продукции и установите с помощью регулировки  $\blacksquare$  показания цифрового индикатора, соответствующие толщине образца;

- нажмите кнопку  $\oplus$  и, удерживая ее в нажатом состоянии, запишите полученное на цифровом индикаторе значение скорости распространения УЗК

в м/с. В дальнейшем полученное значение скорости распространения УЗК используйте для юстировки и проверки правильности юстировки на скорость УЗК отсчетного устройства толщиномера при контроле однотипной продукции с преобразователями данного типа;

- отпустите кнопку  и проведите 2-3 контрольных замера на образцах продукции, установив преобразователь на участках с известной толщиной, убедитесь в соответствии показаний толщиномера значение толщины образцов. После обеспечения качественного акустического контакта преобразователя с поверхностью изделия, что фиксируется по засветке индикатора , необходимо оторвать поверхность преобразователя от изделия. На индикаторе будет высвечиваться измеренное значение толщины образца;

- установите преобразователь на вмонтированную в корпус толщиномера юстировочную плитку и запишите показания цифрового индикатора. В дальнейшем записанное показание используется для юстировки и проверки толщиномера ручкой  при контроле однотипной продукции с преобразователями данного типа.

### **Справочный учебный материал**

Ультразвуковая дефектоскопия основана на свойстве ультразвуковых колебаний (волн) распространяться в однородном твердом теле и на его плоских и кривых поверхностях в виде лучей прямолинейно и отражаться от границ тела или нарушений сплошности (трещин, раковин, расслоений, коррозии и т. п.).

Ультразвуковые колебания (УЗК) представляют собой упругие колебания с частотой выше предела слышимости и обладают некоторыми специфическими свойствами: при определенных частотах увеличивается направленность и уменьшается угол раскрытия пучка УЗК, что позволяет рассматривать его как «ультразвуковой луч». Законы распространения УЗК (преломление и отражение) аналогичны законам геометрической оптики. Благодаря этим свойствам, а также способности проникать на большую глубину, УЗК можно применять для выявления дефектов в металлах. При помощи УЗК выявляют раковины, трещины, расслоения и рыхлости, залегающие на глубине, в толще металла, не обнаруживаемые магнитными и люминесцентными методами и не всегда обнаруживаемые рентгеновскими лучами.

Сущность работы ультразвукового импульсного дефектоскопа заключается в следующем. Ультразвуковые колебания получают с помощью вибратора от специального импульсного генератора, вырабатывающего кратковременные импульсы переменного напряжения высокой частоты. Вибратор, преобразуя высокочастотные импульсы переменного напряжения в упругие колебания той же частоты, периодически посылает ультразвуковые лучи в толщу металла. Дойдя до противоположной грани изделия (до «дна»), ультразвуковой луч отражается и попадает на специальный искатель, который преобразует отражение УЗК в переменное напряжение, поступающее на вход усилителя и далее на индикатор.

Импульсный эхо-метод (рис. 4.1) заключается в следующем. В контролируемое изделие посылают короткие импульсы высокочастотных колебаний и регистрируют интенсивность и время прихода эхо-сигналов, отраженных от дефектов или границ изделия. Импульсный эхо-метод является в настоящее время наиболее распространенным методом ультразвуковой дефектоскопии, применяемым для контроля различных изделий, в том числе крупногабаритных и сложной формы.

Ультразвуковые волны хорошо отражаются от тончайших воздушных зазоров, поэтому для передачи ультразвука от преобразователя к изделию промежуток ними заполняют слоем жидкости.

Часто пользуются контактным способом. Преобразователь прижимают к поверхности изделия, предварительно смазанной жидкостью (например, маслом), до соприкосновения. В некоторых случаях слой жидкости заменяют или дополняют эластичным материалом.

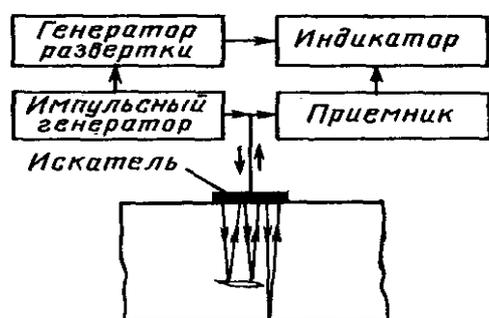


Рис. 4.1. Схема контроля эхо-методом

Конструкции искателей. Узел акустического прибора для неразрушающего контроля, содержащий преобразователь (преобразователи) электромагнитных колебаний в упругие и обратно, называют искателем. Ниже описана конструкция типового раздельно-совмещенного пьезоэлектрического искателя (рис. 4.2). Пьезопластина (пьезоэлемент) 1, приклеена или прижата к демпферу 2. Между пьезопластиной и средой 5, в которую производится излучение УЗК, может располагаться несколько тонких промежуточных слоев — один или несколько протекторов 3 и прослойка контактной смазки 4. Искатель размещен в корпусе 6. Выводы 7 соединяют пьезопластину с электронным блоком прибора. Для ввода ультразвуковых волн под углом к поверхности или возбуждения сдвиговых, поверхностных, нормальных волн путем трансформации из падающей продольной волны в конструкцию введена призма 8.

Искатели можно включать по совмещенной (пьезоэлемент соединяется одновременно с генератором и усилителем) и раздельной схеме (пьезоэлемент подключается либо к генератору, либо к приемнику). В раздельно-совмещенном искателе пьезопластины включены по раздельной схеме, но объединены в одном корпусе. Для предупреждения прямой передачи акустических сигналов от излучающей пластины к приемной в искателе имеется акустический экран 9.

Импульсные толщиномеры. Импульсными толщиномерами, как правило, измеряют время между зондирующим и одним из отраженных импульсов (или

между двумя эхо-импульсами). При этом измеряемая толщина  $d = ct/2$ , где  $t$  – время распространения ультразвукового импульса в изделии от поверхности ввода УЗК до донной поверхности и обратно.

Действие импульсных толщиномеров может быть основано на измерении частоты повторения многократных отражений или на сквозном прозвучивании.

Эхо-импульсные толщиномеры делят на приборы для контроля изделий с чисто обработанными (выше 3-4-го класса шероховатости) параллельными поверхностями (группа А) и грубо обработанными непараллельными поверхностями (группа Б).

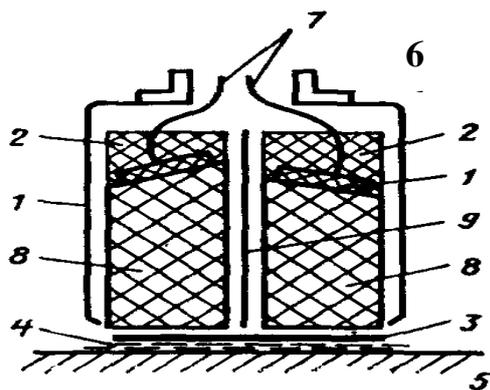


Рис. 4.2. Конструкция разделяюще-совмещенного искателя

Минимальная толщина плоских чисто обработанных изделий, измеряемая приборами группы А, равна 0,2-0,3 мм при абсолютной погрешности измерения не более 10 мкм. С увеличением кривизны нижняя граница измерений быстро возрастает. При измерении толщины стенок труб диаметром 50 мм она составляет 1 мм.

Минимальная толщина, измеряемая приборами группы Б, составляет 1,2-1,5 мм при абсолютной погрешности измерения 0,1-0,2 мм и практически не зависит от радиуса кривизны.

Погрешность измерений с помощью эхо-импульсных толщиномеров вызывают следующие основные причины:

1. Изменение толщины слоя контактной смазки (для контактных приборов), влияющее на интервал времени между зондирующим сигналом и эхо-импульсами. Погрешность исключается при измерении интервала времени между двумя эхо-импульсами.

2. Изменение уровня сигнала. В процессе контроля амплитуда электрических импульсов меняется. Для толщиномеров, не оснащенных ЭЛТ, это может привести к потере одного полупериода при неизменном уровне срабатывания. Погрешность значительно уменьшается при введении в прибор систем автоматической и временной регулировки чувствительности (АРУ и ВРЧ).

3. Изменение длительности переднего фронта эхо-импульса. Погрешность возникает в связи с тем, что затухание ультразвуковых колебаний в акустическом тракте зависит от частоты. В первую очередь затухают высокочастотные составляющие спектра импульса, образующие его передний фронт. Затягивание первой полуволны эхо-импульса происходит в случае,

когда толщина детали меньше протяженности двух ближних зон преобразователя.

4. Погрешность индикаторного устройства (стрелочного, цифрового), определяемая классом точности индикатора или линейностью развертки ЭЛТ (в случае использования отградуированных шкал на экране ЭЛТ).

5. Ошибка настройки и измерения. Ошибка при калибровке прибора вызывает систематическую погрешность при последующих измерениях. Для уменьшения этой ошибки рекомендуется после калибровки по контрольному образцу или другой мере несколько раз повторить измерения и убедиться, что среднеарифметическое значение измеренной толщины близко к истинному.

6. Изменение скорости звука вследствие неоднородности химического состава материала, разброса средней величины кристаллитов (для металлов) и свойств поверхностных слоев (для чугуна в особо неблагоприятных случаях до 5%). Эти изменения входят полностью в погрешность измерений и не могут быть скомпенсированы.

7. Прочие причины, например изменение температуры, приводящее к изменению толщины изделия и скорости звука в нем и в призме искателя (для раздельно-совмещенных искателей).

Искатели эхо-импульсных толщиномеров должны обладать малой мертвой зоной. Применяют раздельно-совмещенные искатели различной конструкции (в приборах группы Б), совмещенные искатели специальных типов, имеющие малую мертвую зону (в приборах групп А и Б).

Для уменьшения погрешностей, обусловленных влиянием температуры на время распространения импульсов УЗК в призмах раздельно-совмещенных искателей, их изготавливают из материалов с малыми температурными коэффициентами скорости звука (например, плавленого кварца). При работе в широком диапазоне температур применяют системы компенсации изменения времени прохождения волн в призме.

В импульсных эхо-толщиномерах имеются узлы (рис. 4.3): синхронизатор 11, генератор зондирующих импульсов 10, генератор развертки 12, искатель 9, приемник 1. Дополнительными узлами являются: измерительный триггер 3, длительность импульса которого равна времени прохождения ультразвуковых волн в изделии; блоки АРУ 2 и ВРЧ 6; системы компенсации нестабильности переднего фронта; блок помехозащиты 5, выполняемый по различным схемам.

Например, вход измерительного блока отключается после завершения каждого измерительного цикла и вновь подключается к источнику входных сигналов перед началом следующего цикла. Кроме того, предусмотрена защита от электрических помех.

При измерении малых толщин длительность выходного импульса измерительного триггера слишком мала. Поэтому для повышения точности измерения используют блок умножения интервала 4 (рис. 4.3), в котором применяют схемы линейно-растущего напряжения.

В блоке индикации 7 (рис. 4.3) применяют стрелочные или цифровые индикаторы, измеряющие длительность импульса измерительного триггера через преобразователь «время – напряжение». В случае индикации стрелочным

прибором можно подавать импульс непосредственно на индикатор, который выполняет роль интегратора.

В автоматических толщиномерах блок обработки информации 8 может выполнять функции сравнения толщины контролируемого изделия с заданными пределами ее изменения, сигнализации выхода толщины из допусков, запоминания информации и ее регистрации. Простейшие схемы вырабатывают строб-импульсы, в пределах которых (или между которыми) должен находиться эхо-импульс. В более точных схемах контролируемая и допустимая толщины сравниваются в цифровой форме. Автоматические толщиномеры могут выдавать информацию печатающему механизму, их можно подключать к ЭВМ, производящей дальнейшую обработку информации.

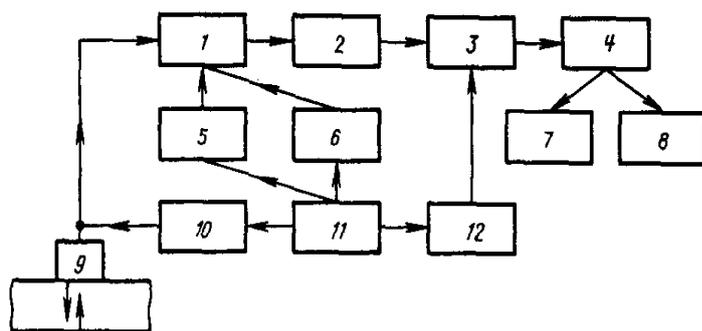


Рис.4.3. Структурная схема эхо-импульсного толщиномера

### Вопросы для самопроверки

1. На каких свойствах основана ультразвуковая толщинометрия?
2. Что такое импульсный эхо-метод?
3. Поясните назначение промежуточной жидкой среды между преобразователем (искателем) и изделием.
4. Поясните конструкцию раздельно-совмещенного искателя.
5. Назовите основные узлы эхо-импульсного толщиномера.

### Литература

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник / под ред. В.В. Ключева: в 2 кн. – Москва: Машиностроение, 1976. – Кн. 2. – 326 с.
2. Розина, М.В. Неразрушающий контроль в судостроении / М.В. Розина, Л.М. Яблоник, В.Д. Васильев. – Ленинград: Судостроение, 1983. – 152 с.
3. Толщиномер ультразвуковой УТ – 93П. Руководство по эксплуатации Щ 02.787.011 РЭ. – Кишинев, 1988. – 53 с.

## Лабораторная работа № 5

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО МЕТОДА ПРИ ТОЛЩИНОМЕТРИИ ПОКРЫТИЙ

**Цель работы:** ознакомиться с принципиальной возможностью использования электромагнитного метода для измерения толщины покрытий на стали.

Электромагнитный (вихревых токов) неразрушающий контроль (НК) основан на регистрации изменения электромагнитного поля возбуждающей катушки под действием электромагнитного поля вихревых токов, наводимых этой катушкой в контролируемом объекте.

#### Задание по лабораторной работе

1. Подсоединить однополюсной зонд и включить «Лептоскоп».

2. Провести процедуру калибровки на материалах без покрытия:

- при включении прибора дисплей показывает CAL 1;
- примерно через три секунды показание дисплея измениться на 0.

В правом верхнем углу окошка дисплея светится указатель « $\mu\text{m}$ »:

- теперь приложите зонд к материалу без покрытия;
- величина CAL 1 считается введенной, как только появляется звуковой сигнал;
- затем на дисплее появляется CAL 2;
- примерно через три секунды «Лептоскоп» предлагает следующий вид калибровочной пленки – 60 мкм для наложения на базовый материал.

В правом верхнем углу окошка дисплея снова светится указатель " $\mu\text{m}$ »:

- положите соответствующую калибровочную пленку на материал без покрытия и приложите зонд. Величина калибровки введена, как только раздается звуковой сигнал.

Теперь прибор работает автоматически в режиме постоянного измерения.

Вывод измеренных значений производится примерно один раз в секунду, когда зонд приложен. При производстве измерения указатель " $\mu\text{m}$ " мигает.

При отведении зонда мигание указателя прекращается, и последнее измеренное значение появится на дисплее.

3. После завершения процедуры калибровки провести измерения толщин покрытий (пленок) на контрольных образцах.

4. Результаты замеров отразить в отчете.

#### Методические указания

Область применения. «Лептоскоп» разработан для определения толщины немагнитных слоев, покрытий, в том числе гальванических покрытий на двухвалентном железе и стали с очень высокой степенью точности.

В зависимости от диапазона применения и поставленной задачи применяются три вида зондов:

а) однополюсный зонд охватывает диапазон от 0 до 1200 мкм. С помощью специального коленчатого манипулятора (длиной 300 мм) возможен доступ в труднодоступные места;

б) микрозонд с очень тонким полюсным наконечником может быть использован для измерения в пазах и имеет диапазон применения от 0 до 250 мкм. Имеется также микрозонд с наконечником коленчатого типа (45 или 90°);

в) для измерения слоев в диапазоне 1-10 мм (например, гальванические покрытия) Карл Дойч предлагает двухполюсный зонд (ZR зонд).

Все три типа зондов могут легко подсоединяться к «Лептоскопу». Однополюсный зонд и микрозонд идентифицируются автоматически. Двухполюсный зонд очень легко управляется с помощью клавиатуры.

«Лептоскоп» может работать в постоянном режиме измерения (автоматический вывод измеренных величин ежесекундно) или в режиме отдельных измерений.

Измеренные величины, полученные в режиме отдельных измерений, могут быть обработаны статистически:

- среднее значение;
- количество измерений;
- минимальное значение;
- максимальное значение;
- стандартное отклонение.

Вывод статистических данных осуществляется через встроенный интерфейс последовательного действия. Для быстрого визуального контроля дисплей показывает минимальное значение предшествующих измерений, поскольку это значение в большинстве случаев представляет наибольшую опасность (например, для коррозии).

Учитывая характеристики измеряемой детали и процедуру измерения, следует иметь в виду несколько существенных факторов.

#### Прямое воздействие на измерение оказывает:

##### 1. Шероховатость поверхности.

В принципе невозможно получить точность большую, чем примерно половина глубины шероховатости.

##### 2. Основной материал.

Отклонения электрических (удельная электропроводность) и магнитных (проницаемость) свойств могут также вызвать отклонения измеряемых величин.

Примеры: отклонение концентрации углерода и состава сплава, различная тепловая обработка, обезуглероживание (науглероживание, механические напряжения, остаточный магнетизм и т. д.).

##### 3. Форма материала.

Калибровать следует на подобном образце, в том же месте, где будет производиться измерение, двухполюсный зонд всегда следует прикладывать в том же направлении.

##### 4. Толщина материала-носителя.

Это воздействие является результатом конечной глубины проникновения переменного магнитного поля, используемого для измерения.

В целом этим воздействием можно пренебречь для материала-носителя толщиной, начиная примерно с 1,5 мм.

#### 5. Мягкость измеряемого покрытия.

Не исключено, что шаровидная форма полюсов зонда оказывает некоторое воздействие на покрытие.

В таком случае следует работать так, чтобы давление зонда в месте контакта было по возможности минимальным.

#### 6. Переходные области.

Если между покрытием и материалом-носителем, имеются переходные области, как в случае горячей гальванизации или упрочнения поверхности аустенитом, могут иметь место неточности измерения. Применимость прибора в этом случае следует определить предварительными экспериментами.

#### Дополнительные инструкции по применению:

##### - Постоянное давление в месте контакта

Оно достигается посредством пружинного устройства, которое также применимо для центровки измерения цилиндрических неровных поверхностей. Двухполюсным зондом можно измерить только среднее значение, которое генерируется толщиной покрытия, находящегося между двумя наконечниками зонда. Напротив, однополюсный зонд позволяет локализовать точку с наименьшей толщиной покрытия.

- При измерении толщины аустенитного покрытия необходимо произвести предварительные замеры. Как правило, изготавливаются соответствующие детали калибровки из такого же материала. Причина этого заключается в том, что почти в каждом случае аустенит содержит некоторое количество остаточного феррита.

### **Справочный учебный материал**

В основе НК методом вихревых токов (МВТ) лежит зависимость интенсивности и распределения вихревых токов в объекте контроля от его геометрических, электромагнитных (и связанных с ними) параметров и от взаимного положения измерительного преобразователя (ИП) и объекта контроля. В качестве ИП используются обычно индуктивные катушки (одна или несколько). Переменный ток, действующий в катушках ИП, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем объекте контроля. Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на катушки ИП, наводя в них э. д. с. или изменяя их полное сопротивление. Таким образом, регистрируя напряжение на зажимах катушек ИП или их сопротивление, получают информацию о свойствах контролируемого объекта или о положении ИП относительно него.

Рассмотрим основные принципы МВТ на примере прибора с накладным ИП. На рис. 5.1 приведена обобщенная функциональная схема такого прибора.

Измерительный преобразователь состоит из возбуждающей обмотки, подключенной к генератору переменного тока, и измерительной обмотки, подключенной к блоку измерения. Магнитное поле ИП возбуждает в плоском объекте контроля концентрические вихревые токи, плотность которых максимальна на поверхности электропроводящего объекта в контуре, диаметр которого близок к диаметру возбуждающей обмотки. Магнитное поле вихревых токов противоположно первичному магнитному полю возбуждающей обмотки, вследствие этого результирующее поле зависит от электромагнитных свойств контролируемого объекта и от расстояния между преобразователем и объектом (от зазора), поскольку распределение плотности вихревых токов зависит от этих факторов. В измерительной обмотке преобразователя наводится э. д. с., определяемая потокоцеплением. Эта э. д. с. служит сигналом, передающим информацию об объекте в блок измерения.

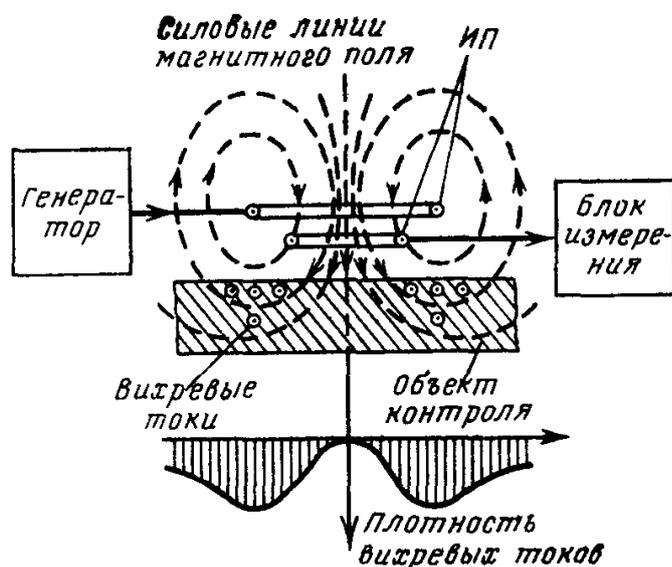


Рис. 5.1. К пояснению принципа действия прибора с накладным преобразователем

Заметим, что э. д. с. (или напряжение) измерительной обмотки несет информацию не только об одном параметре объекта контроля. В рассмотренном нами случае это напряжение зависит от толщины листа  $T$ , его удельной электрической проводимости  $\sigma$ , магнитной проницаемости  $\mu$ , состояния поверхности, наличия и размеров дефектов, зазора и ориентации оси преобразователя и скорости его движения относительно листа. Величины  $\sigma$  и  $\mu$ , в свою очередь, определяются многими факторами, например химическим составом и структурным состоянием материала листа, его температурой, наличием механических напряжений в нем и т. д. Таким образом, информация вихретоковых преобразователей (ВТП) имеет многопараметровый характер. Высокая степень информативности ВТП определяет достоинства и трудности реализации МВТ. С одной стороны, МВТ позволяет осуществлять многопараметровый контроль, с другой – он требует применения специальных приемов для разделения информации об отдельных параметрах объекта. При контроле одного из параметров влияние остальных на сигнал преобразователя является мешающим, и это влияние необходимо подавлять.

Другая особенность МВТ состоит в его бесконтактности. Взаимодействие ИП с объектом происходит обычно на расстояниях небольших, но достаточных для свободного движения ИП относительно объекта (от долей до нескольких миллиметров). МВТ позволяет получать результаты при таких скоростях движения объектов контроля, которые практически недоступны другим методам. Как правило, при электромагнитном контроле ограничения скорости налагаются не самим методом, а ограниченным быстродействием регистраторов информации или сортирующих устройств. Следствием этого является высокая производительность МВТ.

Получение первичной информации в виде электрических сигналов, бесконтактность и высокое быстродействие МВТ определяют широкие возможности автоматизации контроля.

Одна из важных особенностей метод вихревых токов состоит в слабой зависимости результатов контроля от параметров окружающей среды. На сигналы ВТП практически не влияют влажность, давление и загрязненность газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнение поверхности объекта контроля непроводящими веществами. Многие виды ВТП нечувствительны к колебаниям температуры окружающей среды (но не объекта контроля).

Простота конструкции ВТП – одно из важных достоинств МВТ. В большинстве случаев катушки ВТП помещаются в предохранительный корпус и заливаются компаундами. Благодаря этому они весьма устойчивы к механическим и атмосферным воздействиям, могут работать в агрессивных средах в широком интервале температур и давлений.

Особенности МВТ, ограничивающие области его применения, определяются следующими обстоятельствами. Во-первых, МВТ, поскольку он базируется на возбуждении вихревых токов, применяется в основном для контроля качества электропроводящих объектов: металлов, сплавов, графита, полупроводниковых структур. С этой точки зрения он значительно уступает акустическому, радиационному, тепловому, капиллярному, оптическому видам НК. Во-вторых, МВТ свойственна малая глубина зоны контроля, определяемая глубиной проникновения в контролируемую среду электромагнитного поля.

Несмотря на указанные ограничения, МВТ имеет широкие области применения во всех трех направлениях НК: дефектоскопии, толщинометрии и структуроскопии.

В дефектоскопии МВТ применяется для обнаружения дефектов, выходящих на поверхности или залегающих на небольшой глубине под поверхностью в электропроводящих листах, прутках, трубах, проволоке, в мелких деталях, в деталях турбин, в металлоконструкциях, двигателях внутреннего сгорания, железнодорожных рельсах и т. д. Обнаруживаются такие дефекты, как разнообразные трещины, расслоения, закаты, плены, раковины, неметаллические включения и т. д. Минимальные размеры обнаруживаемых дефектов в значительной степени зависят от влияния мешающих контролю факторов: от вариации электрических и магнитных свойств и геометрии объекта, от неровностей его поверхности. При благоприятных условиях контроля и применении подавления влияния мешающих факторов удается

выявить трещины глубиной 0,1-0,2 мм протяженностью 1-2 мм (при использовании накладного преобразователя) или трещины глубиной 2-5% диаметра контролируемой проволоки, прутка и протяженностью около 1 мм.

МВТ позволяет успешно решать многие задачи толщинометрии. Этим методом измеряют диаметр проволоки, прутков и труб, толщину металлических листов и стенок труб при одностороннем доступе, толщину электропроводящих (например, гальванических) и диэлектрических (например, лакокрасочных) покрытий на электропроводящих основаниях, толщину слоев многослойных структур (содержащих электропроводящие слои). Измеряемые толщины колеблются в пределах от единиц микрон до десятков миллиметров. Точность измерения определяется степенью влияния мешающих факторов, но для большинства приборов находится в пределах 5—10%. По точности электромагнитные толщиномеры обычно уступают ультразвуковым, однако их преимущество в простоте, бесконтактности и возможности измерения малых толщин (единицы микрон) делает их вполне конкурентоспособными. Минимальная площадь зоны контроля может быть доведена до 1 мм<sup>2</sup>, что позволяет измерять толщину покрытия на малых деталях и деталях сложной конфигурации (например, на головке крепежного винта).

В структуроскопии МВТ играет важную роль. Дело в том, что структурное состояние металлов и сплавов оказывает значительное влияние на их электромагнитные характеристики. Благодаря этому оказывается возможным контролировать не только вариации химического состава, но и структуру металлов и сплавов, а также наличие механических напряжений в них. Известно широкое применение вихретоковых измерителей удельной электрической проводимости и других приборов для сортировки по маркам (по химическому составу). С помощью электромагнитных приборов контролируют качество термической и химико-термической обработки деталей, состояние поверхностных слоев после механической обработки (шлифование, наклеп), обнаруживают остаточные механические напряжения, выявляют усталостные явления в металлах на ранних стадиях их развития, обнаруживают наличие  $\alpha$ -фазы и т. д. К сожалению, в некоторых случаях связь контролируемого параметра с показаниями электромагнитных приборов оказывается весьма сложной, зависящей от влияния многих мешающих факторов. Поэтому при структуроскопии МВТ требуется тщательная отработка методики контроля.

Измерение толщины покрытий. Защитные покрытия, предназначенные для придания изделию декоративного вида, повышения коррозионной стойкости и защиты металлов и сплавов от тепловых воздействий, с точки зрения их электропроводности могут быть разбиты на две группы: непроводящие (лакокрасочные, эмалевые, керамические, напыленные и другие подобные покрытия) и электропроводящие покрытия, включающие гальванические, электроосажденные, химические покрытия и плакировку. Ко второй группе относятся также многие другие покрытия и защитные слои, полученные путем склеивания, припаивания по периферии, наплавкой, металлизацией, распылением, осаждением металлов из газовой среды, электрохимическим, термодиффузионным способом и т. д. В эту же группу

можно включить слои, полученные химико-термической или механической обработкой.

Технология нанесения каждого из перечисленных типов покрытий специфична. Как правило, электрические и магнитные свойства металлических покрытий неодинаковы по длине и сечению изделия, что резко ограничивает возможности электромагнитного метода контроля. В этих случаях часто применяют другие виды неразрушающих испытаний или многопараметровые методы. Большое разнообразие возможных сочетаний материалов, основания и покрытия (диэлектрик, полупроводник, ферромагнитный или немагнитный материал), широкие диапазоны возможных значений физических параметров материалов и толщин слоев объясняют трудности в создании универсального толщиномера для контроля покрытий. Поэтому приборы и установки для контроля покрытий часто носят узкоспециализированный характер; их можно объединить в следующие группы:

1. Однопараметровые толщиномеры, имеющие большой запас по чувствительности и поэтому пригодные для контроля изделий с широким диапазоном измерений толщины и свойств покрытий и основы. Они применяются для измерения толщин диэлектрических или электропроводящих покрытий на электропроводящем (ферромагнитном или неферромагнитном) основании. Существенной особенностью ряда приборов этой группы является линейность шкалы. Для градуировки их достаточно два-три контрольных образца.

2. Двухпараметровые приборы и установки. Эта группа устройств включает в себя установки для контроля двух любых параметров изделий, а также приборы с подавлением одного из мешающих факторов, имеющие более узкое назначение. Для градуировки этих устройств в общем случае необходимо значительно больше контрольных образцов из-за нелинейного влияния основных контролируемых свойств.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что лежит в основе токовихревого метода неразрушающего контроля?
2. Какие параметры объекта контроля влияют на результаты измерений при токовихревом методе?
3. Какие особенности метода приводят к ограничениям его применения?
4. Для каких целей можно применять метод в дефектоскопии?
5. Обоснуйте применимость метода в структуроскопии.

### **Литература**

1. Неразрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами / В.Г. Герасимов [и др.]. – Москва: Энергия, 1978. – 216 с.
2. Индукционная толщинометрия / А.Л. Дорофеев, А.И. Никитин, А.Л. Рубин. – Москва: Энергия, 1978. – 184 с.
3. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник / под ред. В.В.Клюева: в 2 кн. – Москва: Машиностроение, 1976. – Кн. 2. – 326 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Общие указания .....  | 3  |
| Лабораторная работа № 1 Использование тензорезисторов в<br>неразрушающих методах контроля ..... | 4  |
| Лабораторная работа № 2 Применение акустического метода при<br>течеискании .....                | 11 |
| Лабораторная работа № 3 Измерение температуры нагретого тела<br>бесконтактным методом .....     | 17 |
| Лабораторная работа № 4 Применение ультразвуковой<br>толщинометрии .....                        | 24 |
| Лабораторная работа № 5 Использование вихретокового метода при<br>толщинометрии покрытий .....  | 31 |

Учебное издание

Марк Борисович Лещинский

## **КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ОБЪЕКТОВ РЕНОВАЦИИ**

*Редактор Е. Билко*

Подписано в печать 30.09.2014 г. Формат 60x90 (1/16). Уч.-изд. л. 2,7.  
Печ. л. 2,4. Тираж 30 экз. Заказ № 69.

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
236022, Калининград, Советский проспект, 1