

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ФМПК
_____ Суржиков А.П.
«__» _____ 2017 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ТОЛЩИНОМЕРА МТ2003

Методические указания

по подготовке и выполнению лабораторной работы по курсам
«Физические методы контроля» для студентов направления 27.04.02 -
«Управление качеством» и «Магнитный, электрический, вихретоковый контроль»
для студентов направления 12.03.01 - «Приборостроение»

Томск 2017

УДК 620.179.14

Исследование магнитного толщиномера МТ2003. Методические указания по подготовке и выполнению лабораторной работы по курсам «Физические методы контроля» для студентов направления 27.04.02 - «Управление качеством» и «Магнитный, электрический, вихретоковый контроль» для студентов направления 12.03.01 - «Приборостроение».

Составители: доцент кафедры ФМПК Толмачев И.И.
 доцент кафедры ФМПК Калиниченко А.Н.

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании
кафедры ФМПК «___» _____ 20__ г. протокол № __.

Зав. кафедрой ФМПК

д.ф.-м.н. _____ А.П. Суржиков

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение физической сущности магнитной толщинометрии и области применения магнитных толщиномеров.
2. Изучение устройства и принципа действия магнитного толщиномера МТ2003.
3. Получение навыков практической работы с толщиномером МТ2003.
4. Оценка метрологических характеристик толщиномера МТ2003.

1. ОСНОВЫ МАГНИТНОЙ ТОЛЩИНОМЕТРИИ

Защитные свойства покрытия в значительной степени зависят от его толщины. Для неразрушающего контроля толщины диэлектрических (анодноокисных, лакокрасочных, мастичных, пластиковых и др.) и электропроводящих неферромагнитных (цинковых, хромовых, медных, оловянных и др.) покрытий на ферромагнитном основании широко применяются толщиномеры магнитного принципа действия.

Принцип действия магнитных толщиномеров основан на регистрации изменений величины и топографии внешнего магнитного поля, вызываемых контролируемым изделием.

Представим себе источник магнитного поля в виде постоянного магнита, расположенный вблизи контролируемого листа (рис. 1).

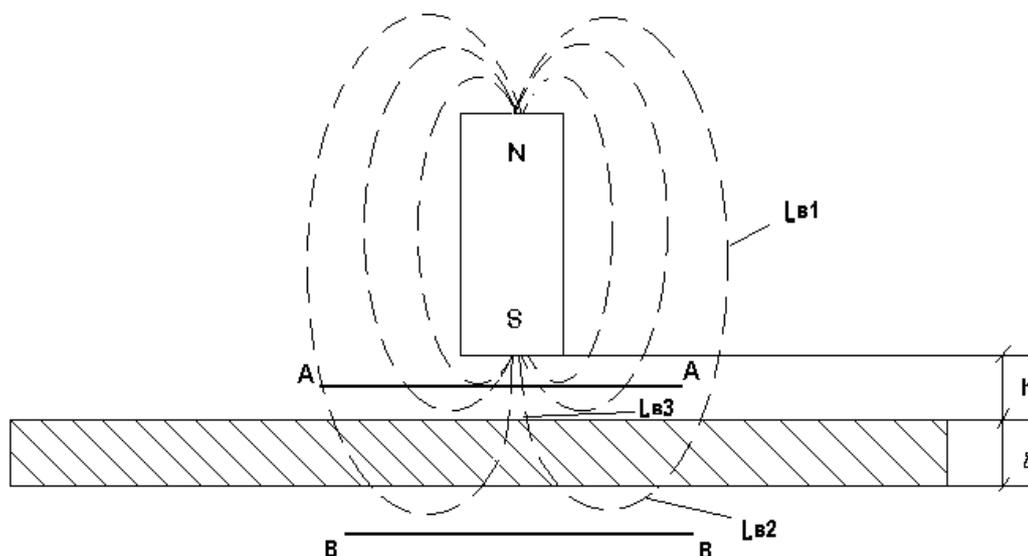


Рис. 1 Взаимодействие поля постоянного магнита с ферромагнитным листом

Для силовой линии намагничивающего поля справедливо уравнение для намагничивающей силы источника поля:

$$F_M = H_B \cdot l_B + H_M \cdot l_M, \quad (1)$$

где l_B - длина магнитной силовой линии в воздухе;
 l_M - длина магнитной силовой линии в металле;
 H_B, H_M - напряженность магнитного поля в воздухе и металле соответственно.

Магнитная индукция B (плотность магнитного потока), возникающая между исследуемым объектом и датчиком прибора, зависит от величины напряжённости источника намагничивания H и магнитной проницаемости среды по следующей зависимости:

$$B = \mu_0 * \mu * H, \quad (2)$$

где B - магнитная индукция, Тл;

μ_0 - магнитная проницаемость в вакууме ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м), Гн/м;

μ - относительная магнитная проницаемость материала (среды), Гн/м;

H - напряжённость магнитного поля, А/м.

В зависимости от значения μ все материалы подразделяются на три группы: диамагнетики ($\mu < 1$), парамагнетики ($\mu > 1$) и ферромагнетики ($\mu \gg 1$). Примеры значений относительной магнитной проницаемости различных материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Материал	Значение μ , А/м	Группа
Сталь армко	7000	Ферромагнетик
Сплав пермаллой	75000	Ферромагнетик
Никель	1120	Ферромагнетик
Чугун	630	Ферромагнетик
Кобальт	174	Ферромагнетик
Сталь электротехническая	14400	Ферромагнетик
Олово	1,000001	Парамагнетик
Серебро	0,999981	Диамагнетик

Искажение магнитного поля, происходящее вблизи диамагнитных и парамагнитных тел, незначительно и зафиксировать его можно только с помощью высокочувствительных приборов в специально созданных условиях. Однако, вблизи ферромагнитных тел магнитное поле искажается весьма существенно, поскольку собственная магнитная проницаемость ферромагнетиков в сотни и тысячи раз превышает μ воздуха (μ_0 и μ воздуха отличаются незначительно). В связи с этим, применение магнитных методов эффективно только при исследовании ферромагнитных тел. На практике магнитные методы рекомендуются при контроле материалов с показателем $\mu > 40$.

Из условия непрерывности линий магнитной индукции следует, что индукция поля на границе раздела воздух – металл:

$$\begin{cases} B_{\text{возд}} = \mu_0 \cdot H_B \\ B_{\text{металла}} = \mu_0 \cdot \mu_M \cdot H_M \\ B_{\text{возд}} = B_{\text{металла}} = B \end{cases} \quad (3)$$

Отсюда следует, что

$$F_M = \frac{B}{\mu_0} \cdot \left(l_B + \frac{l_M}{\mu_M} \right). \quad (4)$$

Поскольку обычно $l_M \leq l_B$, а относительная магнитная проницаемость $\mu_M \gg 1$, то

$$F_M \approx \frac{B \cdot l_B}{\mu_0}, \quad (5)$$

откуда

$$B = \frac{F_M \cdot \mu_0}{l_B} = \frac{F_M \cdot \mu_0}{l_{B1} + l_{B2} + l_{B3}}. \quad (6)$$

Из (6) следует, что индукция в точках воздушного пространства, расположенных над ферромагнитным листом со стороны источника поля, например, на площадке, ограниченной контуром диаметра АА, зависит от толщины листа δ и зазора h . При уменьшении h индукция B возрастает, так как уменьшаются l_{B1} и l_{B3} . При увеличении δ и $h = \text{const}$ индукция B также будет возрастать, так как уменьшается l_{B2} .

Индукция поля в контуре ВВ с увеличением толщины листа падает, так как увеличивается экранирующее действие листа.

Проведенные рассуждения показывают лишь качественную сторону процесса контроля толщины. Количественное решение задачи связано с решением трехмерной задачи магнитостатики.

Магнитные толщиномеры применяют в основном для измерения толщины проводящих и непроводящих покрытий на ферромагнитной основе:

- защитные антикоррозионные покрытия на стали – цинковые, хромовые покрытия с толщиной 10-50 микрон;
- защитные лакокрасочные покрытия с толщиной 0,1-0,5 мм;
- защитные пленочные покрытия (нефтепроводы, газопроводы, коммунальное хозяйство) с толщиной 0,2-5 мм.

Известные технические решения магнитных толщиномеров отличаются лишь способами регистрации напряженности и индукции поля в точках пространства, окружающих источник. Наиболее известными методами являются пондеромоторный, магнитостатический и индукционный. Последний способ является наиболее современным и, на сегодняшний день, наиболее распространенным.

Пондеромоторные магнитные толщиномеры.

Действие пондеромоторных толщиномеров основано на измерении силы отрыва постоянных магнитов или электромагнитов от контролируемого изделия (рис. 2).

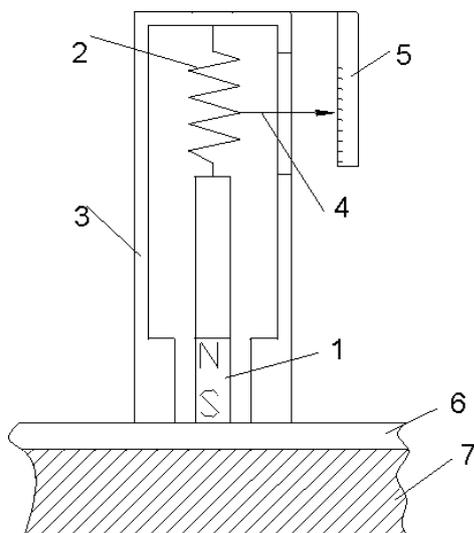


Рис. 2 Условная схема пондеромоторного толщиномера:

1 - постоянный магнит; 2 - пружина динамометра; 3 - корпус; 4 - указатель;
5 - шкала; 6 - покрытие; 7 - ферромагнитная основа.

Сила отрыва постоянного магнита (1) пропорциональна квадрату индукции в зазоре между ферромагнитным изделием и магнитом (в нашем случае зазор – это толщина немагнитного покрытия (6), а индукция зависит от величины зазора. При сжатии пружины (2) в момент отрыва магнита (1) от поверхности детали стрелка (4) фиксирует показание на шкале (5). Это показание условно и переводится в значение толщины в микрометрах при помощи графика, прилагаемого к паспорту прибора. Наиболее известными приборами этой группы являются толщиномеры Акулова Н.С. марки МТА-1, МТА-2 и МТА-3, предназначенные для измерения толщины покрытий в диапазонах 1 – 1500 и 1 – 50 мкм с погрешностью менее 5%.

На результаты измерения толщины покрытий в значительной степени влияют магнитные свойства материала подложки. Поэтому магнитные толщиномеры (всех трех групп) калибруются с помощью рабочих образцов, изготовленных, из той же стали, что и контролируемая деталь с покрытием заданной толщины.

Состояние поверхности (шероховатость) оказывает влияние на погрешность магнитного толщиномера. Поэтому значения приводимых погрешностей относятся к обработке, определяемой шероховатостью поверхности не более $R_z=20$ мкм, что соответствует 5-му классу чистоты поверхности. Если это особо не оговорено, погрешности приводятся в отношении к соответствующим пределам измерения.

Основной недостаток пондеромоторных толщиномеров – цикличность результата измерения, связанная с необходимостью тщательного измерения силы до момента отрыва магнита. Это обстоятельство затрудняет автоматизирование процесса контроля.

Магнитоэстатические толщиномеры.

В магнитоэстатических толщиномерах (рис. 3) для регистрации изменений магнитного поля, вызванных вариацией контролируемой толщины, используется индикатор магнитного поля (4) (рамка с током, магнитная стрелка, феррозондовый преобразователь или преобразователь Холла). Указанные преобразователи реагируют на изменение напряженности магнитного поля в цепи электромагнита (1) при изменении расстояния между ним и ферромагнитным изделием (2) из-за наличия немагнитного покрытия (3).

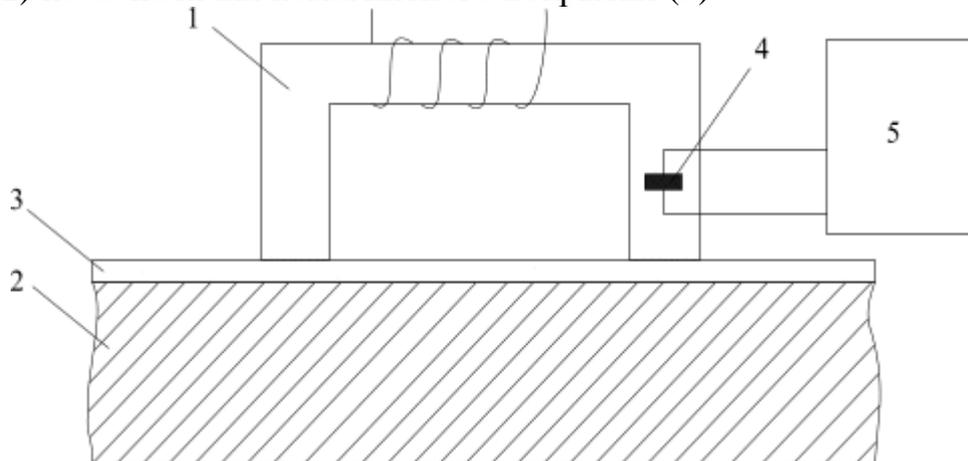


Рис. 3 Магнитоэстатический толщиномер:

- 1 - магнитопровод; 2 - магнитное основание; 3 - немагнитное покрытие;
4 - индикатор магнитного поля; 5 - измерительная схема.

Индукционные толщиномеры.

Для контроля толщины немагнитных покрытий на ферромагнитной основе широкое распространение получили индукционные толщиномеры.

Их действие основано на определении изменения магнитного сопротивления магнитной цепи, состоящей из ферромагнитной основы (деталь), преобразователя прибора и немагнитного зазора между ними, который является объектом измерения. Преобразователь индукционного толщиномера представляет собой систему из трех катушек, размещенных на общем ферромагнитном сердечнике (рис. 4). Для уменьшения влияния края изделия на точность измерения стремятся локализовать магнитное поле преобразователя в месте его взаимодействия с контролируемым изделием. С этой целью удлиняют сердечник, заостряют и округляют его конец.

Достоинства магнитных толщиномеров:

1. Возможность локального контроля толщины.
2. Портативность приборов (вес в среднем 0,1-0,3 кг), возможность запоминания и обработки результатов измерений.

Недостатки магнитных толщиномеров:

1. Контроль производится контактным способом, что предъявляет дополнительные требования к форме и чистоте поверхности изделия.
2. Влияние магнитных свойств материала на показание прибора.

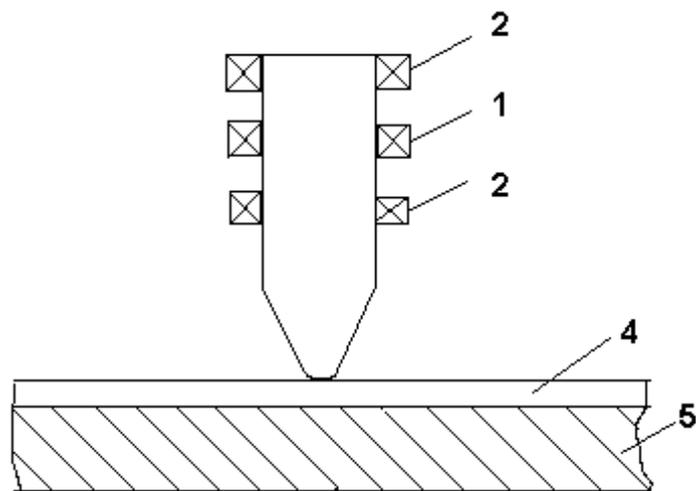


Рис. 4 Индукционный преобразователь толщиномера:
 1 – возбуждающая катушка; 2 – измерительные катушки; 3 – ферромагнитный сердечник; 4 – покрытие; 5 – ферромагнитная основа.

2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО МАГНИТНОГО ТОЛЩИНОМЕРА МТ2003

Магнитный толщиномер МТ2003 предназначен для измерения толщин немагнитных токопроводящих и диэлектрических покрытий, нанесенных на ферромагнитное основание. Толщиномер может быть использован в цеховых и лабораторных условиях при наличии следующих факторов:

1. температура окружающей среды должна быть от 0°С до +50°С;
2. относительная влажность воздуха до 80% при 25°С;
3. атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.

Технические характеристики:

1. Диапазон измерений толщиномера МТ2003 от 5 до 2000 мкм.
2. Предел допускаемой абсолютной основной погрешности ($\delta_{осн}$) в микрометрах не превышает величины:

$$\delta_{осн} = \pm(0,03x+1) \text{ мкм,}$$

где x – измеряемое значение, мкм.

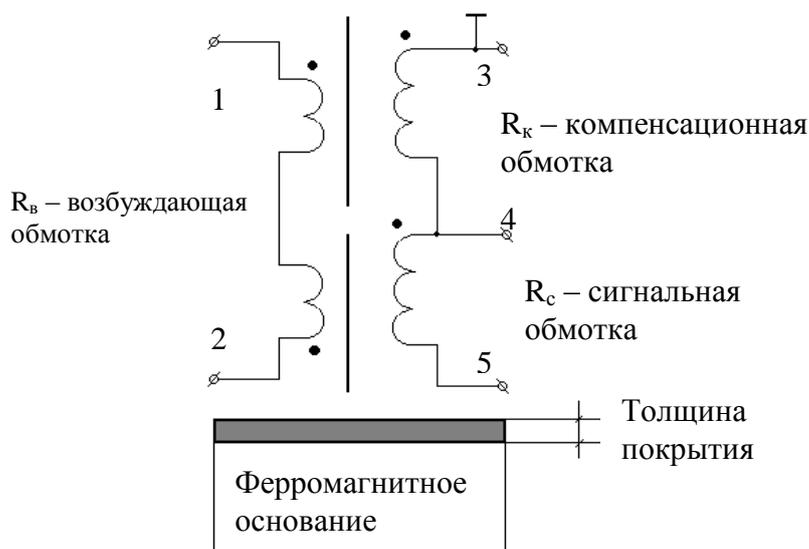
3. Указанное значение погрешности обеспечивается при выполнении следующих условий:
 - расстояние от края преобразователя до края основания не менее 8,0 мм;
 - толщина основания не менее 0,8 мм;
 - радиус кривизны поверхности основания объекта контроля не менее 20 мм.
4. Предел допускаемой дополнительной погрешности при изменении температуры окружающего воздуха от нормальной на каждые 10°С в пределах рабочего интервала температур не превышает половины предела допускаемой основной погрешности.
5. Питание толщиномера МТ2003 осуществляется от четырех батарей типа А316 (АА). Возможно также использование батареи «Корунд» при замене батарейных клемм.

6. Ток, потребляемый от батареи, не более 20 мА.
7. Время установления рабочего режима при изменении температуры окружающего воздуха не более 15 мин.
8. Продолжительность работы толщиномера при питании его от батареи типа А316 не менее 24 ч, при этом непрерывная работа не более 4 часов.
Примечание. В течение времени работы толщиномера МТ2003 допускается производить подстройку путем калибровки через каждый час.
9. Толщиномер МТ2003 снабжен функцией автоматического отключения питания после двухминутного перерыва в работе.
10. Процесс измерения в толщинемере МТ2003 активизируется только при поднесении МИП к ферромагнитному изделию. Окончание измерения инициируется сдвоенным звуковым сигналом.

3. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ТОЛЩИНОМЕРА МТ2003

Принцип работы толщиномера МТ2003.

3.1.1 Принцип работы толщиномера заключается в регистрации изменения индукционного сопротивления, вносимого в магнитно-индукционный преобразователь (МИП) дифференциального типа при приближении его к поверхности металлического основания ОК. МИП выполнен по схеме дифференциального трансформатора. На рис. 5 приведена схема МИП.



Цвета проводников				
1	2	3	4	5
Красн.	Черн.	Экран	Белый	Зелен.

Обмотки	Сопротивление Обмоток (Ом)
Возбуждающая обмотка	36
Сигнальная и компенсационная обмотки	30, 30

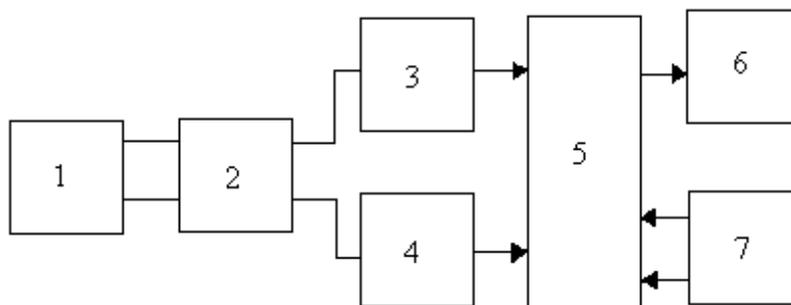
Рис. 5 Схема магнито-индукционного преобразователя.

Измеряемая величина толщины покрытия определяется расстоянием между МИП, установленном на покрытие, и поверхностью металлического ферромагнитного основания. Регистрация изменений параметров МИП осуществляется путем его включения в качестве нагрузки низкочастотного генератора и измерения амплитуды напряжения на сигнальной обмотке.

3.1.2 Помимо расстояния между МИП и поверхностью ферромагнитного изделия выходной сигнал на ВТП воздействует также, не подлежащие измерению, другие свойства и параметры ОК, в первую очередь магнитная проницаемость μ и удельная электрическая проводимость σ ферромагнитного изделия. Практически это проявляется в том, что при одинаковой толщине покрытия, но различных μ и (или) σ основания показания прибора будут отличаться, хотя должны быть одинаковы. Для отстройки влияния удельной электрической проводимости частота тока возбуждения МИП выбрана низкой и равной 275 Гц. Для минимизации влияния магнитной проницаемости рекомендуется применять процедуру калибровки, а в качестве образца основания использовать основание изделия, на котором предстоит проводить измерения толщин покрытий.

3.1.3 Напряжение на сигнальной обмотке МИП является нелинейной функцией от измеряемой толщины, поэтому в толщиномере осуществляется операция линеаризации, обеспечивающая прямопропорциональную зависимость показаний прибора от толщины покрытия.

Функциональная блок – схема толщиномера.



- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1. Генератор тока. | |
| 2. Преобразователь. | 5. Цифровой блок. |
| 3. Опорный канал. | 6. Индикатор. |
| 4. Сигнальный канал. | 7. Устройство питания. |

Рис. 6 Функциональная блок-схема толщиномера МТ2003

Толщиномер (рис. 6) включает в себя генератор (1), у которого в качестве нагрузки используется возбуждающая катушка магнитоиндукционного преобразователя (2). Напряжение с сигнальной обмотки МИП поступает на сигнальный канал (4), где оно фильтруется и детектируется. Выходные напряжения с сигнального и опорного каналов поступают на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) цифрового блока (5) в качестве измеряемого и опорного напряжений соответственно. Цифровой блок (5) проводит операции линеаризации и калибровки толщиномера. Блок питания (7) обеспечивает необходимые

напряжения для питания электронных узлов толщиномера и обесточивает схему при двухминутном отсутствии измерений или внешних управляющих сигналов.

3.3 На передней панели толщиномера (сверху вниз, слева направо) расположены следующие органы регулировки и управления (рис. 7):

- **жидкокристаллический двухстрочный индикатор** для цифровой индикации результатов измерений и отображения режимов работы прибора;
- **кнопка ВКЛ – ВЫКЛ** для выключения толщиномера;
- **кнопка ВВЕСТИ**;
- **кнопки ВЫБОР РЕЖИМА** – кнопки со стрелками, которыми осуществляют переключение режимов и необходимые установки внутри режимов.

На задней панели толщиномера расположена крышка батарейного отсека. На верхнем торце толщиномера расположен разъем для подключения магнитоиндукционного преобразователя.



Рис. 7 Передняя панель толщиномера МТ2003

4. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЛЩИНОМЕРА.

4.1. В качестве метрологического обеспечения в комплект толщиномера входят **мера толщины и образец основания.**

4.2. **Мера толщины** – предназначена для калибровки и проверки работоспособности прибора. Мера толщины представляет собой диэлектрическую пластину толщиной от 50 до 1500 мкм с отклонением $\pm 1\%$. Мера толщины должна содержаться в полиэтиленовом пакете и периодически протираться спиртом от грязи, которая может привести к искажению результатов калибровки прибора.

4.3. **Образец основания** предназначен для калибровки при подготовке толщиномера к работе и при проверке его работоспособности. При калибровке на образец основания накладывают меру толщины. Образец основания представляет собой ферромагнитный (сталь 20) диск диаметром 50мм толщиной 4мм.

5. ПОРЯДОК РАБОТЫ С ТОЛЩИНОМЕРОМ

5.1 Подготовка толщиномера к работе.

5.1.1 Включить толщиномер, нажав кнопку ВКЛ-ВЫКЛ.

5.1.2 Прогреть прибор в течение 1 минуты.

5.1.3 Подготовить образец основания и меру толщины для калибровки толщиномера.

Для достижения максимальной точности измерений образец основания по марке материала, по шероховатости и кривизне должен соответствовать контролируемому изделию. Желательно использовать непосредственно участок контролируемого изделия без покрытия. Мера толщины должна быть близка к среднему значению диапазона измерений.

5.1.4 Кнопками со стрелками ВЫБОР РЕЖИМА установить режим калибровки толщиномера, при этом должна появиться надпись «КАЛИБРОВКА» на верхней строке индикатора, и нажать кнопку ВВЕСТИ – должна появиться надпись СКОМПЕНСИРУЙТЕ ДАТЧИК.

5.1.5 По этой команде поместить датчик на расстоянии не менее 10 см от металлических предметов и нажать кнопку ВВЕСТИ, после звукового сигнала должна появиться надпись УСТАНОВИТЕ ДАТЧИК НА ОБЪЕКТ.

5.1.6 Установить меру толщины на основание и установить преобразователь на меру толщины. На индикаторе должно появиться показание, равное значению меры толщины с точностью равной погрешности измерения ($\delta_{\text{осн}} = \pm(0,03 \cdot x + 1)$ мкм, где x – измеряемое значение, мкм). Повторить процедуру 3 раза.

5.1.7 При отличии показаний от значения меры толщины кнопками ВЫБОР РЕЖИМА установить значение меры толщины на индикаторе с требуемой точностью. Если же показания соответствуют значению меры толщины, данный пункт пропустить.

5.1.8 После установки требуемого значения, не снимая преобразователь с меры толщины, нажать кнопку ВВЕСТИ - появляется надпись «ИЗМЕРЕНИЕ». Затем нажать повторно кнопку ВВЕСТИ, должна появиться надпись ГОТОВ..., что означает – прибор готов к измерению.

5.2 Работа с толщиномером в основном режиме.

5.2.1 После проведения калибровки (п.п. 5.1.3 – 5.1.8) толщиномер готов к измерениям в основном режиме.

5.2.2 При каждом измерении прибор подает двоякий звуковой сигнал. При проведении серии измерений в правой части индикатора будет отображаться максимальное (вверху) и минимальное (внизу) значение в серии. Если измерение проводилось в разных точках объекта контроля, это позволяет оценить разброс значения толщины покрытия на детали.

5.3 Работа с толщиномером с использованием дополнительных функций.

5.3.1 Дополнительные функции реализуются при активации режимов (опций):

- ГРУППА;
- ПИТАНИЕ.

5.3.2 Опция ГРУППА. Данная опция используется для управления памятью прибора и для статистической обработки результатов измерения. Память прибора разделена на 8 независимых блоков, в которые можно записать соответственно 8 групп измеренных значений.

Образование групп измеряемых значений целесообразно использовать при контроле различных объектов и сохранении результатов измерений по каждому объекту для дальнейшей обработки и документирования. Каждая группа может содержать до 100 измеренных значений.

5.3.3 Для запоминания измеряемых значений в группе необходимо совершить следующую последовательность действий:

- выбрать номер группы для записи;
- сделать выбранную группу активной;
- провести измерения.

5.3.4 Выбор группы происходит следующим образом:

- кнопками ВЫБОР РЕЖИМА выбрать опцию ГРУППА;
- нажать кнопку ВВЕСТИ;
- кнопками ВЫБОР РЕЖИМА и затем ВВЕСТИ выбрать номер группы;
- появляется надпись: ГРУППА НОМЕР: N, где N=1...8.

5.3.5 Для того, чтобы сделать выбранную группу активной, необходимо после выбора номера группы одновременно нажать две кнопки ВЫБОР РЕЖИМА, на дисплее появится надпись СОЗДАНА ГРУППА НОМЕР:N. После этого нажать кнопку ВВЕСТИ, на дисплее появится надпись ГРУППА.

! Если до нажатия кнопки ВВЕСТИ нажать кнопку ВЫБОР РЕЖИМА, то произойдет смена номера выбранной группы, а предыдущая выбранная группа перестанет быть активной.

5.3.6 Для проведения измерений кнопками ВЫБОР РЕЖИМА установить опцию ИЗМЕРЕНИЕ, при этом на дисплее появится сообщение о номере активной группы, например, АКТИВНА ГР, 3. После этого нажать кнопку ВВЕСТИ, появится надпись ГОТОВ! Произвести последовательно до 100 измерений.

5.3.7 Для вычисления среднего значения в группе:

- Выбрать интересующую группу (пункт 5.3.4);
- Нажать одновременно две кнопки: ВВЕСТИ и левую кнопку ВЫБОР РЕЖИМА (вниз);
- На дисплее появится индикация, например, $\bar{x}(12) = 124\text{мкм}$, что означает, что среднее значение по результатам 12 измерений составляет 124 микрометра.

5.3.8 Вычисление среднего отклонения в группе. Данная функция вычисляет среднее арифметическое отклонение от среднего значения в выбранной группе. Для вычисления необходимо:

- Выбрать интересующую группу (пункт 5.3.4);
- Нажать одновременно две кнопки: ВВЕСТИ и правую кнопку ВЫБОР РЕЖИМА (вверх);

- На дисплее появится индикация, например, $\overline{\sigma_x(12)} = 7,3\text{мкм}$, что означает, что среднее арифметическое отклонение от среднего значения по результатам 12 измерений составляет 7,3 микрометра.

5.3.9 Информация сохраняется в группе до тех пор, пока в эту группу либо не дозаписать новых значений, либо не произвести всех действий по пунктам 5.3.2 -5.3.5.

5.3.10 Опция ПИТАНИЕ. Позволяет контролировать разряд батареи прибора. В меню необходимо выбрать опцию ПИТАНИЕ и нажать ВВЕСТИ. На несколько секунд появится надпись РАЗРЯД XX%. Значению 0% соответствует напряжение 6 В, значению 100% соответствует напряжение 5 В.

6. ПРОГРАММА РАБОТЫ

6.1 Работа в основном режиме.

6.1.1 Выполнить пункт 5.1.

6.1.2 Произвести измерение толщины пяти образцов из диэлектрического материала. На каждой пластине провести по 10 измерений. Для каждой пластины рассчитать среднее значение толщины и среднего отклонения толщины пластины от среднего значения. Записать результат измерения. Данные свести в таблицу 1.

6.1.3 Изучить влияние краевого эффекта на показание прибора. Данные свести в таблицу 2. Графически оценить величину допустимого расстояния до края объекта контроля, при котором возникающая дополнительная погрешность не превышает основной погрешности прибора. Сравнить действительное значение расстояния до края с указанным в паспорте прибора.

6.2 Работа с использованием дополнительных функций.

6.2.1 Создать рабочую группу, активизировать ее и провести 10 измерений толщины на одном из предыдущих образцов.

6.2.2 Используя дополнительные функции толщиномера получить среднее значение толщины и среднее отклонение толщины пластины от среднего значения. Записать результат измерения. Данные свести в таблицу 1.

Таблица 1

Показания		Номер образца				
		№1	№2	№3	№4	№5
h_i	1					
	2					
	...					
	10					
\bar{X}						
$\sigma\bar{X}$						

где: h_i – номер наблюдения;

\bar{X} – среднее значение толщины пластины;

$\sigma\bar{X}$ – среднее отклонение толщины пластины от среднего значения.

Таблица 2

Расстояние от края															
Показания															

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

7.1 Цель работы

7.2 Устройство и принцип работы толщиномера МТ2003.

7.3 Таблица измерений по пункту 6.1.2

7.4 График и результаты оценки влияния краевого эффекта по пункту 6.1.3.

7.5 Результаты измерения по пункту 6.2.2

7.6 Заключение об области применения и метрологических характеристиках толщиномера МТ2003.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие индикаторы магнитных полей используются в магнитостатических толщиномерах?
2. Почему в индукционных магнитных толщиномерах выбирают низкую рабочую частоту?
3. Какая конструкция индукционного преобразователя используется в толщиномере МТ2003?
 - а) параметрический;
 - б) дифференциальный;
 - в) абсолютный.
4. Какие конструктивные меры применяют в магнитных толщиномерах для уменьшения влияния края на результат измерения?
5. Почему в паспортных данных на толщиномер МТ2003 введено ограничение на толщину ферромагнитного основания?
6. Можно ли прибором МТ2003 измерять толщину покрытия 3 мкм?
7. Толщину каких материалов можно измерить методом магнитной толщинометрии?
8. В чём состоит принцип действия магнитного индукционного толщиномера.
9. Назовите факторы, вносящие погрешность в измерение толщины покрытий магнитным толщиномером.