

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

## О.Ф. Машошин, С.Г. Хрустиков

# ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

### Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ

для студентов III курса направления 23.03.01 всех форм обучения

> Москва 2017

#### ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

#### «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра двигателей летательных аппаратов О.Ф. Машошин, С.Г. Хрустиков

### ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

### Учебно-методическое пособие

по выполнению лабораторных работ

для студентов III курса направления 23.03.01 всех форм обучения ББК 056-082 М 38

Рецензент д-р техн. наук, проф. Ю.М. Чинючин

Машошин О.Ф., Хрустиков С.Г.

М 38 Техническая диагностика: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2017. – 44 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Техническая диагностика» по Учебному плану для студентов III курса направления 23.03.01 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 22.12.2016 г. и методического совета 02.02.2017 г.

	Подписано в печать 10.03.2017 г.	
Печать офсетная	Формат 60×84/16	1,51 учизд.л.
2,55 усл.печ.л.	Заказ №1725/153	Тираж 80 экз.

Московский государственный технический университет ГА 125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20 ООО «ИПП «ИНСОФТ» 107140, г. Москва, 3-й Красносельский переулок д.21, стр. 1

© Московский государственный технический университет ГА, 2017

#### Лабораторная работа №1

#### Оценка состояния ГТД по результатам анализа работавших авиамасел

# 1.1. Краткие сведения о методах диагностики ГТД по результатам анализа авиамасел

Разрушение деталей узлов трения ГТД в ряде случаев начинается с выкрашивания или истирания поверхностного слоя материала сопрягаемых деталей (подшипники, шлицевые соединения и т.п.) под воздействием динамических нагрузок в сочетании с силами трения. Образующиеся при этом продукты изнашивания (износ) уносятся циркулирующим в двигателе маслом.

Масло является носителем информации об интенсивности протекающих процессов трения. Количество продуктов изнашивания, поступающих в масло, зависит от скорости изнашивания, которая, в свою очередь, обусловлена уровнем нагрузок и условиями трения сопрягаемой пары.

Для диагностики двигателя на основании анализа продуктов изнашивания деталей, омываемых маслом, используются инструментальные и органолептические методы (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Классификация методов определения концентрации продуктов изнашивания в маслах

В число инструментальных методов входят магнитный, спектральные, феррографический, колориметрический методы.

Магнитный метод контроля основан на измерении силы взаимодействия ферромагнитных частиц в масле с искусственно созданным внешним магнитным полем. Поскольку количество ферромагнитных частиц в масле двигателя обычно больше, чем других продуктов изнашивания, то определенная концентрация этих частиц в масле может служить интегральной оценкой степени износа сопрягаемых деталей.

Спектральные методы являются одними из наиболее распространенных в ГА методов определения концентрации износа в масле. В их основе лежат результаты атомного и молекулярного анализов спектров испускания и поглощения - критерии химического состава и концентрации частиц. Анализ частиц по спектрам испускания проводится эмиссионным и флуоресцентным методами.

*Метод эмиссионно-спектрального* анализа при сжигании пробы масла в межэлектродном промежутке позволяет точно определить концентрации примесей по наличию характерных линий и их яркости в спектре.

В рентгеноспектральном методе пробу масла облучают потоком электронов, и по величине возникающего при этом рентгеновского излучения судят о содержании металла в пробе. В другом варианте (широко используемом в ГА) пробу масла облучают рентгеновскими лучами и определяют интенсивность вторичного излучения от частиц в масле (*рентгенофлуоресцентный меmod*).

Сцинтилляционный метод основан на сжигании пробы масла (в виде мелкодисперсной золи) в СВЧ-плазменной горелке с температурой ~ 5200 К. Капли масла в воздушной плазме выгорают, а последовательно поступающие в плазму металлические частицы испаряются и атомный пар возбуждается, т.е. происходит вспышка (сцинтилляция) частицы. Излучение атомного пара преобразуется в спектр, который анализируется на предмет выявления химического элемента и его количества.

Феррографический метод анализа масла заключается в осаждении частиц износа из масла под действием ранжированного магнитного поля на поверхность стеклянной пластины с последующим их анализом на микроскопе. Из частиц с одинаковыми магнитными свойствами в соответствии с размером осаждаются на пластину сначала более крупные, затем более мелкие частицы.

Колориметрический метод. В основу метода положен т.н. закон Ламберта-Бара и принцип измерения коэффициента пропускания света через исследуемую среду (пробу масла). На фотоприемник поочередно направляются световые потоки: полный ( $F_{\alpha\lambda}$ ) и прошедший ( $F_{\lambda}$ ) через масляную среду, затем определяется отношение этих потоков. По значениям оптико-световых характеристик исследуемых проб масла и судят о состоянии узлов трения, омываемых маслом.

**При органолептических методах** степень износа выявляется визуально с использованием каких-либо устройств и приспособлений (магнитные пробки, фильтры). Как известно, на двигателях применяются также и автоматические сигнализаторы стружки различного типа (электронные, электромеханические и др.). Сигнализаторы фиксируют наличие износа и не позволяют отслеживать развитие процесса, вызвавшего появление стружки в масле.

#### 1.2. Цель и содержание лабораторной работы

Целью работы является ознакомление с существующими методами и средствами анализа работавших авиамасел на содержание в них продуктов изнашивания, а также формирование практических навыков работы на оборудовании, принятию решений (постановке диагнозов) о техническом состоянии и дальнейшей эксплуатации авиадвигателей.

Содержание работы включает в себя:

изучение физической сущности методов диагностики ГТД по анализу работавших масел;

изучение диагностического оборудования МФС-7, БАРС-3, ПОЖ-М, АДК «Призма», «Спектроскан» и принципов их работы;

подготовка оборудования к работе, проверка его работоспособности;

проведение под руководством преподавателя контроля и анализа эксплуатационных проб авиамасел;

формирование диагностических решений по результатам анализа авиамасел.

#### 1.3. Общие сведения о магнитном анализе масел

Метод позволяет оценить степень износа деталей ГТД по величине массовой концентрации железа (Fe) в масле.

Сущность метода заключается в измерении усилия отрыва постоянного магнита, прикрепленного к концу стрелки прибора, от масляного пятна (1) (пробы) с частицами Fe, образованного фильтрацией масла через мембранный фильтр (рис. 1.2).

Анализ масла осуществляется по следующей технологии. С помощью просасывающего устройства масло пропускают через мембранный фильтр. В отпечатке (1) отлагаются примеси частиц Fe, в результате чего магнитная восприимчивость пробы возрастает.

Масляный отпечаток с помощью прижимной планки закрепляется на предметном столике прибора ПОЖ-М. Оператор, закручивая пружину (3) крутильных весов, создает нарастающую силу, отрывающую магнит (2) от отпечатка. При этом стрелка (4) прибора перемещается по шкале (5), которая отградуирована в г/т. В момент отрыва магнита (2) от отпечатка (1) загорается сигнальная лампа, свидетельствующая о необходимости фиксации показания стрелки на шкале.

К преимуществам магнитного метода можно отнести оперативность проверки, транспортабельность оборудования. Недостатки – невозможность регистрации концентрации немагнитных материалов, невысокая достоверность показаний прибора.

#### Технология проведения анализа:

Производят отбор масла в емкость 250 мл.

Производят прокачку масла через фильтровальную бумагу.

Помещают отпечаток на предметный столик ПОЖ-М.

Перемещая стрелку прибора при помощи специальной ручки, фиксируют момент загорания лампочки.

Фиксируют показания прибора.

При повышенных концентрациях Fe масло направляется на дополнительные спектральные или другие виды анализов.



**Рис. 1.2**. Принципиальная схема определения примесей Fe в масле: 1 – анализируемая проба (отпечаток); 2 – постоянный магнит; 3 – крутильные весы; 4 – стрелка; 5 – шкала прибора; 6 – сигнальная лампа

# **1.4.** Общие сведения по эмиссионно-спектральному анализу **1.4.1.** Назначение, устройство, принцип работы МФС-7

Многоканальный фотоэлектрический спектрограф (квантометр) МФС-7 с автоматическим управлением и обработкой выходных данных предназначен для возбуждения эмиссионных спектров и регистрации аналитических сигналов спектральных линий различных элементов в работавших маслах.

В основу работы МФС-7 положен метод эмиссионно-спектрального анализа, использующий явление свечения газа исследуемого вещества в результате нагревания его до температуры выше  $1000^{\circ}$ С. В этих условиях газ-плазма излучает электромагнитные колебания в оптическом диапазоне спектра. В т.н. линейчатых спектрах атомов каждому элементу соответствует линия своей длины волны, отличающаяся цветом. Исследуя этот спектр, можно определить химический состав образующего его газа, а, следовательно, и состав анализируемой пробы.

Исследование спектра в установке производится путем выделения полихроматором аналитических спектральных линий, регистрации и автоматической обработки сигналов этих линий с помощью фотоэлектронных приемников излучения, а также регистрирующего и вычислительного устройств. Интенсивность аналитических спектральных линий (мощность излучения единицы объема плазмы) связана с концентрацией соответствующих элементов в пробе. Эта концентрация определяется опосредованно через т.н. градуировочный график установки [1].



Рис. 1.3. Многоканальный фотоэлектрический спектрограф МФС-7

В установке МФС-7 проба подается в зону разряда (межэлектродный промежуток) вращающимся электродом, погруженным в ванночку с исследуемым маслом. Схема квантометра МФС-7 представлена на рис. 1.4.



Рис. 1.4. Схема установки МФС-7: 1– полихроматор; 2 – излучение разряда; 3 – растровый конденсор; 4 – входная щель; 5 – вогнутая дифракционная решетка; 6 – выходные щели; 7 – фотокатод; 8 – штатив; 9 – конденсор; 10 – цифровой вольтметр

Излучение разряда (2) направляется через растровый конденсор (3) на входную щель (4) полихроматора (1) и далее на вогнутую дифракционную решетку (5). Дифракционная решетка разлагает излучение в спектр. Выходные щели (6) выделяют из спектра необходимые аналитические линии.

Выделенный поток излучения направляется на фотокатод фотоэлектрического умножителя (ФЭУ) (7). В результате электронной эмиссии в анодной

цепи протекает ток, заряжающий конденсаторы (9). Напряжения, до которых заряжаются конденсаторы, пропорциональны усредненным значениям интенсивности аналитических сигналов, т.е. концентрации элемента в пробе.

Перевод аналитических сигналов в значения концентрации осуществляется с помощью упомянутого ранее градуировочного графика.

# 1.4.2. Определение содержания продуктов изнашивания в маслах методом «вращающегося дискового электрода» на МФС-7

Сначала необходимо провести подготовку проб масла к анализу, для чего необходимо перемешать пробы в течение 0,5 ч на роторной мешалке.

После перемешивания проба отстаивается в течение 4-х минут для удаления пузырьков воздуха. Во избежание осаждения частиц пробу масла в процессе анализа рекомендуется встряхивать вручную каждые 10 минут в течение 30 с.

Далее с помощью шаблона устанавливают в штативе межэлектродный промежуток, равный 1,5 мм.

На генераторе ИВС-28 устанавливают ток дуги в пределах 4,5-5,0 А.

С помощью реостата устанавливают величину тока подмагничивания в пределах до 0,2А (0,14-0,16А).

Устанавливают на реле времени установки величины обжига 20 с и экспозиции 30 с.

Величину щели в полихроматоре устанавливают равной 0,035 мм.

Устанавливают скорость потока охлаждающего воздуха такой, чтобы поступающий воздух не сдувал пламя дуги, а масло не горело. Для этого на торце барашка вытяжного штуцера устанавливают 6-7 делений шкалы.

Подобрать положение переключателей питания ФЭУ в соответствии с рекомендациями в инструкции эксплуатации.

Устанавливают переключатели измерения и накопления в положение 2.

Включают установку в сеть.

Прогревают электронно-регулирующее устройство в течение двух часов для МФС-7 (выполняется заблаговременно).

Электроды закрепляют в штативе, при помощи встроенного шаблона проверить электродный промежуток.

Включают вентиляцию штатива.

Пятикратным сжиганием чистых угольных электродов приводят фотоумножитель и полихроматор в рабочее состояние (прогрев штатива).

Закрепляют в штативе новую пару чистых электродов и устанавливают межэлектродный промежуток.

На подставку в штативе устанавливают ванночку с маслом.

Вращением винта подставки поднимают ванночку до соприкосновения дискового электрода с поверхностью масла и добавляют еще 0,5 оборота винта.

Производят сжигание масла при времени обжига 20 с и экспозиции 30 с. Результаты распечатки записывают в таблицу.

По градуировочному графику (выдается преподавателем) среднеарифметические величины результатов измерений в милливольтах переводятся в концентрации соответствующих элементов в г/т (грамм на тонну) и фиксируются в табличной форме.

Формируется вывод о дальнейшей эксплуатации двигателя.

#### 1.5. Краткие сведения по рентгенофлуоресцентному анализу масел.

Этот вид анализа получил широкое распространение в ГА. Метод отличается оперативностью и невысокой погрешностью (в пределах до 8 %). В настоящее время используется целая гамма сертифицированного оборудования для проведения рентгенофлуоресцентного анализа масел: «Призма», «Спектроскан», БРА-17, БАРС-3. Перечисленная аппаратура положительно зарекомендовала себя на практике и включена в бюллетени. Для каждого типа двигателя применяется свой тип оборудования.

#### 1.5.1.Устройство и принцип работы БАРС-3

В основу работы БАРС-3 положен принцип возбуждения и регистрации интенсивности характеристического флуоресцентного излучения химических элементов, входящих в состав пробы масла. Эта интенсивность находится в пропорциональной зависимости от концентрации элемента. Флуоресцентное излучение возбуждается рентгеновскими лучами. Кванты вторичного излучения преобразуются в импульсы напряжения, скорость поступления которых измеряется и выводится на индикаторное табло.



Рис. 1.5. Внешний вид анализатора БАРС-3

Характеристическое излучение – это квантовое излучение с линейчатым спектром, возникающее при изменении энергетического состояния атома. Длина волны характеристического излучения зависит от атомного номера химического элемента и уменьшается по мере его возрастания. Явление флюоресценции связано с переходом атомов, молекул или ионов из возбужденных состояний в нормальное состояние.

Структурная схема прибора БАРС-3 представлена на рис. 1.6.

Конструктивно анализатор БАРС-3 состоит из двух основных частей: спектрометрической головки и пульта управления, соединенных кабелем.

В спектрометрической головке расположены блок питания рентгеновской трубки и детекторов, рентгеновская трубка БХ-3 (1), регулирующие транзисторы (3) и согласующая плата (2).

К рентгеновской трубке присоединяются сменные блоки, каждая из которых содержит 4 измерительных канала, состоящих из рентгеновского фильтра (14) и излучателя (13), пропорционального счетчика (12) и предусилителя импульсов (11).



Рис. 1.6. Структурная схема БАРС-3:

 рентгеновская трубка; 2 – согласующая плата; 3 – регулирующие транзисторы; 4 – устройство усилителей стабилизации; 5 – устройство преобразователей; 7 – индикаторное табло; 8 – устройство пересчетное; 9 – устройство управления; 10 – устройство усилителей-формирователей; 11 – предусилитель импульсов; 12 – пропорциональный счетчик;13 – излучатель; 14 – фильтр; 15 – образец

Пульт управления конструктивно состоит из нескольких блоков. В одном из блоков размещен сетевой блок питания (6), а в другом – коммутационная плата пульта управления со следующими устройствами:

устройство пересчетное (8);

устройство усилителей-формирователей (10);

устройство управления (9);

устройство усилителей стабилизации (4);

устройство преобразователей (5).

Рентгеновским излучением возбуждается вторичное характеристическое излучение атомов химических элементов, имеющихся в пробе масла (15). Кванты этого излучения преобразуются пропорциональным счетчиком (12) в импульсы напряжения, которые усиливаются и подаются в устройство усили-

телей-преобразователей (10) и далее через устройство управления (5) на пересчетное устройство (8), с помощью которого происходит измерение количества импульсов, поступивших в течение заданного времени. Информация об этом выводится на индикаторное табло (7).

На передней панели пульта управления расположены:

цифровое индикаторное табло

переключатели «каналы»

кнопки «Пуск», «Сброс», «Индикация», «Экспозиция»;

светодиоды индикации напряжения питания «Высокое напряжение», «Питание вкл. – блокировано».

#### Подготовка анализатора к работе

Включают прибор в сеть, тумблер «Сеть-Аккум» устанавливают в положение «Сеть», прогревают анализатор в течение 30 минут.

Переключателем «Каналы» включают 1-й канал (Fe).

Проверяют шумы спектрометрических головок, для чего:

устанавливают кнопкой «Эксп.» время экспозиции 16 с;

включают 1 канал;

кратковременно нажимают кнопку «Пуск», при этом светодиод должен загореться (если светодиод не начнет светиться, то кнопкой «Сброс» включают «Высокое» и повторяют запуск);

измеряют и записывают величину импульсов на 1 канале;

производят измерение и записывают величину импульсов в остальных каналах. Пауза между измерениями должна быть около 5 с. Шум спектрометрических головок не должен превышать 100-200 импульсов.

Проверяют стабильность набора импульсов, для чего:

протирают экран держателя и задвигают его в приставку до ограничителя;

устанавливают кнопкой «Эксп.» время экспозиции 64 с;

включают 1 канал;

нажимают кнопку «Пуск»; при этом должен загореться светодиод «Высокое»;

измеряют и записывают величину импульсов (проделать эту процедуру 4 раза с паузами в 5 с);

аналогично измеряют и записывают величину импульсов на 2, 3, 4 кана лах (расхождение в показаниях набора счета импульсов не должно пре вышать 2% от среднего значения).

#### 1.5.2. Анализ пробы масла

Пробы устанавливаются на мешалке роторного типа, перемешиваются в течение 1 часа, после чего им дают отстояться 4 минуты и приступают к изготовлению образцов-излучателей (т.н. сухая масляная проба).

Масло заливается в стакан устройства для протяжки масла через мембранный фильтр «Владипор». Включается вакуумный насос и осуществляется прокачка масла через фильтр. Полученный отпечаток просушивается 1,5-2 минуты.

Из каждой дозы масла изготавливается 3 сухих масляных пробы.

С каждого образца-излучателя снимается по три замера набора скоростей счета импульсов с последующим их усреднением.

Усредненное значение скоростей счета импульсов наносится на градуировочный график (выдается преподавателем) и считывается соответствующее значение концентрации элемента. Данные заносятся в таблицу.

Формируется заключение о дальнейшей эксплуатации двигателя.

#### 1.6. Автоматизированный диагностический комплекс "ПРИЗМА"

АДК «ПРИЗМА» предназначен для экспрессного определения элементного состава частиц износа, содержащихся в маслах, смазках и рабочих жидкостях. Элементный состав частиц износа несет информацию о техническом состоянии поверхностей трения машин и механизмов. Анализ этой информации позволяет решать задачи допускового контроля, поиска неисправностей, позволяет проводить прогнозирование технического состояния машин и механизмов, осуществлять контроль выработки их ресурса, следить в течение всего жизненного цикла за состоянием контролируемого узла трения и принимать решение о виде технического обслуживания.



Рис. 1.7. АДК Призма

Комплекс может одновременно определять элементы: кальций, титан, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, цинк, молибден, серебро, олово, вольфрам и свинец с точность до 0,1 г.

Для автоматизированного диагностического комплекса (АДК) «ПРИЗ-МА» разработано специальное программное обеспечение, основным назначением которого является организация ввода, обработки и анализа информационных потоков параметрических данных о содержании продуктов изнашивания в различных смазывающих материалах.

На рис. 1.8 схематично приведен алгоритм проведения анализа масляной пробы с помощью анализатора «Призма». Весь процесс можно разбить на несколько этапов:

Этап 1. Отбор масла из маслосистемы ГТД, формирование заявки на проведение анализа.

Этап 2. Разбавление масла отфильтрованным бензином для снижения вязкости.

Этап 3. Перемешивание масла на мешалке (в течение 30 мин), прокачка масла через мембранный фильтр, получение масляной пробы.

Этап 4. Установка масляного отпечатка в анализатор, проведение анализа.



Рис. 1.8. Алгоритм проведения анализа

Этап 5. Получение результатов анализа на экране ПК в виде диаграмм концентрации металлов или трендов изменения концентраций с наработкой. Этап 6. Формирование протокола проведения анализа и вывода о техническом состоянии ГТД.

#### Лабораторная работа №2.

#### Оценка состояния авиаконструкций методом вихретоковой дефектоскопии 2.1. Основные сведения о вихретоковой дефектоскопии

Вихретоковый (ВТ) метод НК является универсальным методом. С его помощью можно решать целый рад задач, например, идентифицировать несплошности, выходящие на поверхность и под слой лакокрасочных покрытий (ЛКП), измерять толщины ЛКП, производить сортировку материала по маркам, выявлять степень разупрочнения материала от воздействия температуры.

ВТ-метод основан на взаимодействии электромагнитного поля (ЭМП), создаваемого катушкой вихретокового преобразователя (ВТП) с ЭМП вихревых токов в электропроводящем материале ОК. Это взаимодействие зависит от характера распределения вихревых токов в поверхностном слое ОК. При отсутствии дефектов взаимовлияние двух ЭМП сравнительно невелико. Наличие дефекта сильно изменяет (усиливает) воздействие ЭМП вихревых токов на катушку ВТП, увеличивая ее полное (комплексное) сопротивление. Регистрируя изменение полного сопротивления катушки (или напряжения на зажимах ВТП) получают информацию о сплошности ОК.

Таким образом, ВТ-метод относится к категории косвенных МНК (идентификация дефекта по косвенным признакам - загорание светодиода, отклонение стрелки микроамперметра и т.п.).

На рис. 2.1. представлена обобщенная функциональная схема ВТ контроля с накладным (прикладываемым к поверхности) ВТП. Плотность вихревых токов максимальна на поверхности ОК в контуре, диаметр которого близок к диаметру обмотки катушки. Такая картина характерна для случая наличия трещины в ОК.

В ВТ-методе важную роль играет глубина проникновения ЭМ - поля ВТП внутрь материала ОК. Эта глубина определяется следующей зависимостью:

$$h = \frac{1}{\sqrt{\pi \varphi \sigma \mu \mu_c}}$$

где  $\varphi$  - частота (Гц);

 $\sigma$  - удельная электропроводность (мСм/м);

 $\mu$  и  $\mu_c$  - абсолютная (Гн/м) и относительная магнитные проницаемости материала.



**Рис. 2.1.** Обобщенная схема ВТ-контроля накладным ВТП.

(H<sub>o</sub>, H<sub>в</sub> -линии напряженности магнитных полей;

 $\delta$  -вихревые токи)

Глубину проникновения ЭМП для некоторых конструкционных материалов можно определить по номограмме, представленной на рис. 2.2.

Под предельной глубиной проникновения ЭМП понимается расстояние от поверхности ОК, на котором напряженность поля уменьшается до 37% по отношению к его величине на поверхности.





1 - титановые сплавы; 2 - алюминиевые сплавы; 3 - углеродистая сталь;

4 - сложнолегированная сталь.

Как уже упоминалось, взаимодействие ЭМП катушки с ОК определяется величиной ее полного сопротивления (часто полное сопротивление называют электрическим импедансом). Электроимпеданс может быть подсчитан по соотношению:

$$Zn = \sqrt{R^2 + \omega L^2}$$

где Zn - импеданс; R - активное сопротивление;  $\omega$  - циклическая частота; L - индуктивное сопротивление катушки ВТП.

В электротехнике импеданс изображают точкой на т.н. комплексной плоскости, ордината которой - индуктивное (реактивное) сопротивление, а абсцисса - активное.



**Рис. 2.3.** Графическая интерпретация импедансов ВТП: а - в воздухе; б - на электропроводящей пластине.

На рис. 2.3 изображены импедансы ВТ-преобразователей в воздухе (а) и на электропроводящей пластине (б).

Очевидно, что при контакте ВТП с различными материалами импеданс будет различным. Кривая, соединяющая импедансы для различных условий контроля называется *годографом* (рис.2.4.). Годограф показывает изменение импеданса ВТП при увеличении электропроводности контролируемой среды, начиная от  $\sigma = 0$ . Точками «А - С» обозначены промежуточные значения электропроводности различных образцов, причем  $\sigma_{n} > \sigma_{r} > \sigma_{b} > \sigma_{a}$ .

Годограф строится для фиксированной частоты питания катушки ВТП. Если частота будет изменена, все точки займут иное положение.

Появление в ОК дефекта всегда приводит к кажущемуся снижению электропроводности его материала.



Рис. 2.4. Годограф импеданса ВТП для различных электропроводностей

Из сказанного понятно, что выбор рабочей частоты при ВТ-контроле обусловлен двумя факторами:

глубиной проникновения ЭМП в материал (чем выше рабочая частота, тем меньше глубина проникновения поля в материал);

чувствительностью к дефектам (чем выше рабочая частота, тем выше чувствительность).

#### Классификация ВТ-преобразователей

Для различных задач контроля выбирают ВТП, который должен удовлетворять следующим условиям:

возможности установки и сканирования поверхности ОК; обеспечение необходимой глубины и чувствительности контроля; максимального подавления мешающих факторов. Все типы ВТП по способу включения в схему дефектоскопа и виду преобразования сигналов подразделяются на *параметрические и трансформаторные*. В параметрических сигналом служит импеданс, в трансформаторных - напряжение на вторичной обмотке катушки ВТП.

По принципу съема информации с ОК преобразователи подразделяются на *абсолютные* (типа «карандаш») и *дифференциальные* (типа «пятачок»).

Выходная величина абсолютного преобразователя определяется интегральным значением параметров ОК. Абсолютный ВТП пригоден для сканирования поверхностей любой кривизны. С его помощью можно обнаруживать дефекты очень малых размеров. Дифференциальный преобразователь представляет собой комбинацию из двух, абсолютных преобразователей, а его выходная величина, определяется разностью величин электроимпедансов этих преобразователей (разностью импедансов над дефектом и в бездефектной зоне).

Практика показывает, что дифференциальные преобразователи более надежны в работе и отличаются стабильностью показаний, т.к. позволяют отстраиваться от помех (вызванных, например, изменением толщины ОК в направлении сканирования, зазора между ОК и ВТП и т.п.).



**Рис. 2.5.** Изменение амплитуды (величины) сигнала дифференциального ВТП в зависимости от угла разворота относительно дефекта

В то же время дифференциальные ВТП не могут быть использованы, когда дефект имеет форму пятна или на поверхности с большой кривизной. Они чувствительны также к ориентировке относительно трещины, т.е. углу а между прямой, соединяющей оси элементарных преобразователей и ориентации дефекта (рис. 2.5). При  $\alpha = 0^*$  выходной сигнал ВТП будет равен 0. Это обстоятельство необходимо учитывать при проведении контроля.

Вихретоковый контроль осуществляется с помощью специальных дефектоскопов, работающих на принципе регистрации степени разбалансировки, т.н. моста Уитсона (встроенной в дефектоскоп замкнутой электросхемы с одинаковыми сопротивлениями) сигналом, поступающим с ВТП[1].

ВТ-дефектоскопы по способу сканирования поверхности ОК подразделяются на *статические и динамические*. В статических дефектоскопах используется стационарный ВТП, а в динамических - ВТП с вращающимся наконечником, который позволяет сканировать внутренние поверхности отверстий, скрытых полостей и т.п.

#### 2.2. Цель и содержание лабораторной работы

#### Цель работы

Ознакомление с принципом действия и устройством ВТ-дефектоскопов, применяемых в ГА.

Формирование навыков проведения НК с помощью ВТ-дефектоскопов «Константа ВД1» и ТВД.

Выявление факторов, влияющих на чувствительность ВТ-контроля и эффективность его применения в эксплуатации.

#### Содержание работы

Изучение физической сущности ВТ-контроля.

• Изучение принципов работы и устройства дефектоскопов, перечисленных в п. «Цель работы»

• Подготовка дефектоскопов к работе, проверка их работоспособности и осуществление настройки перед контролем.

• Проведение контроля на дефектных деталях АТ. Заполнение и анализ карт контроля.

# 2.3. Назначение, устройство и настройка аппаратуры вихретокового контроля. 2.3.1. Вихретоковый дефектоскоп ТВД

Общий вид статического ВТ-дефектоскопа ТВД представлен на рис. 2.6. Этот высокочастотный автогенераторный прибор с отрицательной обратной связью предназначен для выявления поверхностных дефектов в элементах АТ из ферромагнитных, немагнитных и материалов на титановой основе. С его помощью могут быть обнаружены также дефекты под слоем ЛКП, если толщина самого ЛКП не превышает 0,2 мм.

Контроль деталей различных конфигураций обеспечивается двумя видами абсолютных ВТП - «карандаш» и «Г-образный», входящими в комплект прибора.

Индикация дефектов обеспечивается световой, звуковой и стрелочной сигнализацией.

Питание осуществляется от штатного, автономного источника постоянного тока, напряжением 10 В.

#### Работа с прибором ТВД

1. Достаньте из футляра дефектоскоп, ВТП, головные телефоны и батарею питания.

2. Установите батарею в ложемент, сняв заднюю стенку дефектоскопа.

3. К разъему «датчик» на передней панели подсоедините ВТП, а к разъему «ТЛФ» подключите головные телефоны.

4. Включите прибор нажатием тумблера «Вкл». Проверьте напряжение источника питания, для чего нажмите кнопку «V» на передней панели дефектоскопа и считайте показания микроамперметра. Показания, равные 100 млА соответствуют 10 В напряжения. Если показания менее 8,0 В, батарею следует заменить. После проверки питания кнопку «V» отпустите.

5. После прогрева прибора в течение 10 мин. нажмите одну из трех кнопок режима контроля в зависимости от материала настроечного образца:

«Н» - для немагнитных материалов;

«М» - для ферромагнитных материалов;

«Т» - для титановых и жаропрочных сплавов.

Выключение кнопки производится кратковременным нажатием соседней кнопки.

6. Установите ручки «Настройка грубо» и «Настройка плавно» в средние, а ручку «Смещение» - в крайнее левое положения.

7. Установите ВТП на поверхность образца вне зоны расположения дефекта (старайтесь сохранять перпендикулярное положение ВТП).

8. Поворачивая ручку «Настройка грубо», добейтесь срабатывания всех видов сигнализации о дефекте: отклонения стрелки микроамперметра вправо, загорания светодиода «Дефект», включение переменно-тонального сигнала низкой частоты.



**Рис. 2.6.** Передняя панель дефектоскопа ТВД: 1 - ручки настройки; 2 - микроамперметр; 3 - световой индикатор; 4 -включение питания; 5 - подключение головных телефонов; 6 - подключение ВТП; 7- переключение режимов работы; 8 -головные телефоны; 9 –ВТП типа «карандаш»; 10 - проверка напряжения питания.

9. Поворачивая ручку «Настройка плавно», добейтесь выключения всех видов сигнализации.

10. Ручкой «Смещение» установите стрелку микроамперметра на 2 - 3 деления шкалы. При этом световой индикатор «Дефект» не горит, а в головных телефонах прослушивается негромкий сигнал высокой частоты, свидетельствующий о контакте ВТП с поверхностью образца. Для проверки контакта приподнимите кратковременно ВТП, убедитесь, что стрелка возвращается к нулю и звук в головных телефонах резко ослабляется.

11. Переставьте ВТП на поверхность ОК. Сканируйте поверхность ОК в направлении, поперечном предполагаемому расположению дефекта. Зафиксируйте дефект, занесите его параметры в карту контроля.

12. После окончания работы с дефектоскопом отключите питание тумблером «Вкл.», ВТП и головные телефоны уложите в футляр.

#### 2.3.2. ВТ - дефектоскоп «Константа ВД1»

#### Общая характеристика дефектоскопа

Вихретоковый дефектоскоп «Константа ВД1» предназначен для выявления поверхностных дефектов типа трещин, расслоений, коррозионных поражений в различных объектах из ферромагнитных и неферромагнитных сталей, цветных металлов и их сплавов. Прибор позволяет осуществлять измерение глубины поверхностных трещин в цифровом виде

Дефектоскоп эксплуатируется в лабораторных и полевых условиях при температуре окружающего воздуха от +5°C до +40°C и относительной влажности воздуха до 98% при температуре +35°C.

В основу работы дефектоскопа положен вихретоковый фазовый метод получения первичной информации. Результаты контроля отображаются на матричном жидкокристаллическом индикаторе.

Расположение клавиатуры и индикатора на лицевой панели блока обработки информации прибора, а также разъемов подключения преобразователей и головных телефонов приведены на рис. 3.7.





Рис. 2.7. Общий вид дефектоскопа

На преобразователях ПФ-ОН-4, ПФ-ОН-14, ПФ-ОН-38 в хвостовой части установлен светодиод световой пороговой сигнализации дефекта. На преобразователях ПФ-Г1-4, ПФ-Г2-4 в передней части ручки установлены светодиоды пороговой сигнализации дефекта и кнопка, дублирующая кнопку «0» на блоке обработки информации.

Настройки и контроль осуществляют с помощью клавиатуры, расположенной на лицевой панели (рис. 2.8)



Рис.2.8. Клавиатура прибора

На рис. 2.8 цифрами обозначены:

1 – Кнопка «0». Служит для присвоения текущему значению величины сигнала значения «0», т.е. для согласования фактических параметров выбранного преобразователя и объекта контроля (электропроводности и особенностей геометрии).

2 – Кнопка «ПОРОГ». Служит для установки порога срабатывания пороговой сигнализации дефекта на уровень, соответствующий текущему значению величины сигнала, принятого с преобразователя, относительно установленного значения нуля.

3 – Кнопка «ФВЧ». Служит для включения/выключения фильтра высокой частоты (для переключения между динамическим и статическим режимом).

4 – Кнопки «▲ запись» и «▼перезап.». Многофункциональные кнопки.

5 – Кнопки «+» и «–» в секторе «ШКАЛА». Служат для изменения масштаба отображения шкалы аналоговой интерпретации значения величины сигнала, принятого с преобразователя.

6 – Кнопка «РЕЖИМ». Служит для последовательной смены режимов работы прибора.

7 – Кнопка «ВКЛ/ВЫКЛ». Служит для включения/выключения прибора.

#### Работа с прибором «Константа ВД1»

1. Предварительные настройки дефектоскопа

1.1. Корректировка чувствительности прибора. Настройка чувствительности прибора требуется для более точного измерения глубины поверхностных трещин.

Для включения режима настройки чувствительности прибора следует нажимать на кнопку «РЕЖИМ», пока не появится сообщение «Чувствительность»

- Установить преобразователь рабочим торцом на контрольный образец дефекта перпендикулярно к поверхности контрольного образца в зону, свободную от дефекта. Нажать клавишу «0». При этом прибор присвоит текущему значению величины сигнала значение «0».

- Установить преобразователь рабочим торцом на контрольный образец дефекта перпендикулярно к поверхности контрольного образца на прорезь, соответствующую верхней границе диапазона измерения глубины. Перемещая преобразователь перпендикулярно прорези добиться максимальных показаний прибора. На индикаторе отобразится значение, соответствующее глубине прорези.

- Нажатием на кнопки «▲ запись» или «▼ перезап.» установить значение показаний на индикаторе, соответствующее истинному значению глубины прорези. При длительном нажатии кнопки «▲ запись» или «▼ перезап.» изменение величины сигнала производится сперва по единицам, затем по десяткам, затем по сотням единиц.

- В режиме настройки чувствительности прибора есть возможность вернуться к заводской установке чувствительности прибора. Для этого следует одновременно нажать и удерживать в течении 3 секунд кнопки «▲запись» и «▼перезап.».

- Для выхода в рабочий режим следует нажимать на кнопку «РЕЖИМ» до появления соответствующей индикации прибора.

1.2. Корректировка значения уровня срабатывания пороговой сигнализации дефекта.

Значение уровня срабатывания пороговой сигнализации устанавливается исходя из требований действующих нормативных документов на проведение контроля (методик контроля, технологических карт контроля и пр.). Так же значение уровня срабатывания пороговой сигнализации устанавливается исходя из требований по достоверности контроля. Порог выставляется выше уровня влияния мешающих факторов (разброса электропроводности и магнитной проницаемости материала объекта контроля, величины диэлектрического покрытия/зазора между рабочей поверхностью преобразователя и поверхностью объекта контроля, наклона преобразователя относительно поверхности объекта контроля), для устранения ложных срабатываний, но ниже уровня величины дефекта, которая считается достаточным для выбраковки объекта контроля.

- Включить статический режим работы прибора нажатием клавиши «ФВЧ». На индикаторе не должна высвечиваться надпись «ФВЧ». Это означает, что фильтр высоких частот отключен и прибор находится в статическом режиме контроля.

- Установить преобразователь рабочим торцом на контрольный образец дефекта перпендикулярно к поверхности контрольного образца в зону, свободную от дефекта. Нажать клавишу «0». При этом прибор присвоит текущему значению величины сигнала значение «0».

- Установить преобразователь рабочим торцом на контрольный образец дефекта перпендикулярно к поверхности контрольного образца на прорезь,

глубина которой соответствует уровню выбраковки. Перемещая преобразователь перпендикулярно прорези добиться максимальных показаний прибора. Нажать клавишу «ПОРОГ». При этом прибор установит порог срабатывания пороговой сигнализации на уровень, соответствующий текущему значению величины сигнала.

- Отнести преобразователь от поверхности контрольного образца. Нажатием на кнопки «▲запись» или «▼перезап.» настроить точно значение порога срабатывания пороговой сигнализации. Установить, если требуется, запас или отпуск по порогу срабатывания сигнализации.

- Значение порога срабатывания пороговой сигнализации рекомендуется устанавливать на уровне 2/3 уровня выбраковки.

1.3. Корректировка масштаба отображения шкалы на индикаторе прибора. Установить преобразователь рабочим торцом на контрольный образец дефекта перпендикулярно к поверхности контрольного образца на прорезь, глубина которой соответствует уровню выбраковки. Нажатием на кнопки «+» или «-» в секторе «ШКАЛА» установить удобный масштаб отображения шкалы на индикаторе прибора.

1.4. Задание времени удержания пороговой сигнализации Время удержания пороговой сигнализации это время, которое проходит до момента выключения пороговой сигнализации с момента снятия причины еè срабатывания. Время удержания необходимо для предотвращения пропуска срабатывания пороговой сигнализации на дефектах малых размеров, при быстром сканировании преобразователем объекта контроля, при воздействии на оператора мешающих факторов (сильный шум, отсутствие возможности непрерывно следить за индикацией прибора).

- Для задания времени задержки выключения пороговой сигнализации следует нажимать на кнопку «РЕЖИМ», пока не появится соответствующее сообщение.

- Нажатием на кнопки «▲ запись» или «▼ перезап.» установить удобное для работы время задержки выключения пороговой сигнализации. Время задержки выбирается исходя из скорости перемещения преобразователя по поверхности объекта контроля и типа подключенного преобразователя. Время задержки можно менять от 0,3 с до 5,0 с. Рекомендуется начинать подбор наиболее удобного времени задержки со значения 0,3 с.

- При установке времени задержки 0 с. задержка срабатывания пороговой сигнализации отключается.

- При попытке установить время задержки более 5,0 с прибор предлагает использовать режим защелки звуковой сигнализации. При срабатывании пороговой сигнализации ее можно будет отключить только нажатием кнопки «▼перезап.».

- Для выхода в рабочий режим следует нажимать на кнопку «РЕЖИМ» до появления соответствующей индикации прибора.

2. Проведение контроля в статическом режиме

2.1. Включить статический режим работы прибора нажатием клавиши «ФВЧ». На индикаторе не должна высвечиваться надпись «ФВЧ». Это означа-

ет, что фильтр высоких частот отключен и прибор находится в статическом режиме контроля.

2.2. Установить преобразователь рабочим торцом на контролируемый объект перпендикулярно к поверхности в зону, предположительно свободную от дефекта. Нажать клавишу «0». При этом прибор присвоит текущему значению величины сигнала значение «0».

2.3. Произвести контроль интересующей зоны объекта контроля. Во время контроля скорость перемещения преобразователя не должна превышать 10 см/с (определяется визуально). На бездефектных участках прибор издает щелчки с максимальной частотой следования несколько десятков герц (при включенной многотональной звуковой сигнализации). При прохождении преобразователя над дефектным участком увеличивается величина сигнала, принятого с преобразователя. При этом на индикаторе отображается цифровая величина сигнала и на шкале отображается аналоговая интерпретация величины сигнала, а тон звукового сигнала резко увеличивается. При превышении величины сигнала значения величины порога прибор издает прерывистый сигнал (при включенной многотональной звуковой сигнализации), а на преобразователе загорается красный светодиодный индикатор.

2.4. При изменении условий контроля (изменилась электропроводность или магнитная проницаемость при контроле ферромагнитных сталей) возникает изменение (смещение) уровня сигнала. В этом случае следует, удерживая преобразователь на объекте контроля, нажать кнопку «0».

2.5. Внимание: если преобразователь установлен под некоторым углом к поверхности или непосредственно вблизи края контролируемого объекта, то сканирование следует проводить, выдерживая тот же угол наклона или равноудаленное расстояние от края

#### 2.4. Оформление результатов лабораторной работы

Результаты лабораторной работы оформляются в отдельной тетради, где отмечаются цель, содержание работы. Приводится краткий конспект физической основы метода, отмечаются особенности настройки оборудования и основные этапы технологии контроля.

Результаты контроля оформляются путем заполнения карт контроля образцов. Карты контроля и образцы выдаются студентам (слушателям) перед началом занятия

#### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 Оценка состояния авиаконструкций акустическими методами неразрушающего контроля

#### 3.1. Основные сведения об акустической дефектоскопии

#### Физическая основа

Акустическая дефектоскопия применяется для выявления скрытых (внутренних) и поверхностных дефектов в элементах авиационных конструкций, изготовленных из металлических и неметаллических материалов. Методы ультразвуковой дефектоскопии относятся к категории *косвенных* и основаны на способности направленного проникновения механических колебаний внутрь упругой (обладающей малым акустическим сопротивлением) среды.

К акустическим относят ультразвуковой (УЗ) и импедансный методы неразрушающего контроля (НК).

Сначала рассмотрим общие принципы УЗ-дефектоскопии.

В основе УЗ-метода лежит физическое явление отражения импульсов механических колебаний ультразвуковой частоты (УЗК) от дефектов и граней объекта контроля (ОК). При этом глубина залегания дефекта, связанная со скоростью распространения УЗК в материале и временем прохождения до дефекта, определяется соотношением:

$$H = C T / 2$$
,

где H, C, T - соответственно расстояние до дефекта (в м), скорость УЗК (в м/с), время прохождения УЗК до дефекта и обратно (в с).

В зависимости от расположения дефектов и контролепригодности объекта контроля (ОК) различают три основных способа УЗ-контроля - эхо-способ, теневой способ и зеркально-теневой способ.

Эхо-способ (рис. 3.1 а) регистрирует эхосигналы от имеющихся дефектов. Теневой способ (рис. 3.1 б) фиксирует уменьшение (ослабление) амплитуды прошедшей волны при наличии дефекта. Зеркально-теневой способ регистрирует уменьшение (ослабление) сигнала, отраженного от противоположной поверхности ОК (рис. 3.1 в).



Рис. 3.1. Способы ультразвукового прозвучивания: а – эхо; б - теневой; в - зеркально-теневой

УЗ-контроль реализуется с помощью приборов, называемых ультразвуковыми эхоимпульсными дефектоскопами (далее-дефектоскоп). Общая схема контроля такова.

Генератор электроимпульсов, являющийся составной частью дефектоскопа, выдает электросигналы ультразвуковой частоты (1,5 -15,0 мГц), которые по кабелю передаются на *пьезопластину ультразвукового преобразователя* (УЗП), располагаемого на поверхности ОК (рис. 3.1). Пьезопластина УЗП за счет пьезоэффекта трансформирует электросигналы в механические колебания той же частоты. Эти колебания проходят через слой контактной смазки в контролируемый материал и отражаются (ослабляются) от дефектов, а также от противоположной поверхности ОК.

В процессе УЗ-контроля регистрируют (автоматически или визуально) параметры посылаемых и отраженных УЗК, на основе которых судят о качестве ОК.

Следует отметить, что УЗ-контроль в ГА применяют не только для обнаружения внутренних и поверхностных дефектов, но и для определения толщины ряда авиационных конструкций (например, определение остаточной толщины обшивки планера после выведения коррозии). Для этих целей используют УЗ-толщиномеры, в которых реализован эхо-способ прозвучивания.

Если поверхности ОК параллельны, а скорость прохождения УЗК в контролируемом материале заранее известна, то УЗ-толщиномер способен определить толщину ОК с точностью до 0,01 мм.

Особое место среди акустических методов НК занимает *импедансный метод*, предназначенный для выявления всевозможных нарушений сплошности в слоистых ОК (непроклей, отслаивание обшивки планера от сот - т.н. «хлопуны» и т.п.). Метод основан на *регистрации различия параметров механических импедансов бездефектного и дефектного участков ОК* в точке ввода ударных колебаний с помощью специальных виброударника, смонтированного в самом УЗП.

Механический импеданс Zn - это отношение возмущающей силы F к вызываемой ею колебательной скорости V частиц среды в точке приложения ударной силы: Zn = F / V. При возбуждении изгибных колебаний в бездефектной конструкции, последняя колеблется как единое целое и Zn будет минимальным. При нарушении сплошности величина импеданса будет существенно иной, что отразится на амплитудных и частотных характеристиках возбуждаемой обшивки. Эти изменения фиксируются дефектоскопом.

На практике импедансный метод часто используют для регистрации непроклеев между обшивкой и сотовым наполнителем (т.н. «хлопуны». По способу регистрации «хлопунов» импедансный метод подразделяют на *амплитудный и фазовый*. При амплитудном регистрируется изменение уровня сигнала на измерительном пьезоэлементе датчика-преобразователя. При фазовом методе «хлопун» фиксируется по изменению фазы силы реакции ОК на датчик – преобразователь (реакция общивки на удар).

#### Устройство ультразвуковых преобразователей

УЗП являются устройствами, *обеспечивающими преобразование электрических сигналов в механические колебания*, а также обратное преобразование механических колебаний в электрические. Принципиальные отличия разных типов УЗП показаны на рис. 3.2.

Пьезопластина (I) в контактном, прямом, совмещенном УЗП (рис. 3.2a) прижата с одной стороны к демпферу (2), с другой - к протектору (3). Пьезопластину, демпфер и протектор, склеенные воедино называют резонатором. Резонатор размещен в корпусе УЗП (6). С помощью выводов (7) пьезопластину соединяют с элекгронным блоком дефектоскопа. Контактная жидкость (4) обеспечивает передачу УЗ-колебаний от преобразователя к объекту контроля и наоборот. Прямые УЗП способны возбуждать только продольные (нормальные к поверхности пятна контакта УЗП) волны.

В наклонных, совмещенных УЗП (рис. 3.26) сдвиговые или поперечные УЗколебания вводятся под углом к поверхности ОК. Применение наклонных УЗП обеспечивает возможность контроля объектов, имеющих ограниченную доступность, а также повышает чувствительность к дефектам, различно ориентированным относительно поверхности. Для ввода УЗК под углом к поверхности используют призму (8). Если рабочая поверхность призмы наклонена к поверхности ОК больше, чем на 40\*( т.н. критический угол), то УЗП возбуждают в ОК только поверхностные волны, которые также используются в практике УЗ-контроля.

В раздельно-совмещенных преобразователях (рис.3.2в) резонатор состоит из двух призм (8) с приклеенными к ним пьезопластинами (1), которые разделены изолирующим акустическим экраном (9). Если в совмещенном УЗП пьезопластина выполняет попеременно роль излучателя и приемника, то в раздельно-совмещенном УЗП каждая из половин пьезопластины играет самостоятельную роль( генератор или приемник).



Рис. 3.2. Конструкции УЗ-преобразователей:

- а прямой, совмещенный:
- б наклонный, совмещенный;
- в раздельно-совмещенный
- 1 пьезопластина;
- 2 демпфер; 3 протектор;
- 4 контактная жидкость;

5 -контролируемая поверхность; 6 - корпус резонатора; 7 - выводы соединения с электронным блоком; 8 - призма; 9 - акустический экран.

#### 3.2. Цель и содержание работы

#### Цель работы

• Ознакомление с принципами действия и устройством оборудования для акустического контроля, используемого в организациях по ТОиР ГА.

• Формирование навыков проведения операций неразрушающего контроля конструкций АТ с помощью УЗ-дефектоскопа УДЗ-103 «Пеленг», и импедансного дефектоскопа ДАМИ-С.

• Выявление и анализ факторов, влияющих на достоверность и чувствительность акустического контроля, а также эффективность его применения в эксплуатации.

#### Содержание работы

• Изучение физической сущности акустических методов НК.

• Изучение принципов действия и устройства дефектоскопов ДАМИ-С, УД3-103 «Пеленг» и преобразователей,

• Подготовка дефектоскопов к работе, проверка их работоспособности и осуществление настройки перед контролем.

• Проведение акустического контроля дефектных деталей АТ.

• Заполнение карт контроля. Анализ результатов.

# 3.3. Назначение, устройство и настройка оборудования акустического контроля объектов АТ

#### 3.3.1. Импедансный дефектоскоп ДАМИ-С

#### Принцип работы и технические характеристики

ДАМИ-С реализует следующие методы контроля:

- импедансный - акустический контроль многослойных клееных и паяных конструкций, а также конструкций с сотовым заполнителем, на наличие дефектов типа расслоения и непроклея;

- вихретоковый - для обнаружения поверхностных трещин и несплошностей в деталях из немагнитных и ферромагнитных металлов и сплавов;

- ударный - для обнаружения дефектов типа расслоений и непроклеев в сложных композитных материалах.

Во всех методах контроля ДАМИ-С09 позволяет строить двумерные проекции дефектов в плоскости контроля и сохранить их в архив прибора. Сохраненные изображения могут быть перенесены в компьютер для формирования отчета по контролю.

Дефектоскоп является портативным прибором с электропитанием от сети переменного тока (220В) или встроенного аккумулятора (7.4В).

Диапазон рабочих температур от  $-20^{\circ}$  до  $+50^{\circ}$ C.

Подвергаться контролю могут изделия, как с плоскими, так и с криволинейными поверхностями. Минимальный радиус кривизны -10 мм.

Чувствительность дефектоскопа в импедансном режиме контроля – дефект площадью от (12 x 12 мм) на мере дефектов. Программа «Импедансный дефектоскоп» предназначена для:

-импедансного контроля композитных материалов и сотовых структур на наличие расслоений и непроклеев, аномалий плотности и т.п. (частотный диапазон 200Гц-50кГц).

-работы с совмещенным датчиком ПАДИ-8-02 и раздельно-совмещенным датчиком PC-1-02 – создания настроек на объекте контроля с возможностью сохранения в архив для последующего использования;

-получения двумерных изображений дефектов (С-скан) с возможностью сохранения в архив и последующей перезаписи в ПК для хранения и представления в виде отчетов.

Органы управления и индикаторы ДАМИ-С09 расположены на передней панели (рис.3.1)

- TFT экран;
- светодиод красного цвета индикатор срабатывания сигнализации.
- панель клавиатуры с клавишами:
  - Отмена 🗴 ;
  - Ввод ++;
  - Влево ◀;
  - Вверх ▲;
  - Вправо 🕨
  - Вниз 🕶 ;
  - Питание • (включение/выключение прибора);

 Группа функциональных клавиш (F1, F2, F3, F4, F5) назначение которых определяется рабочей программой;



Рис. 3.1. Органы управления дефектоскопом ДАМИ-С

#### Работа с дефектоскопом ДАМИ-С

Основные функции программы доступны через главное меню.



Рис. 3.2. Главное меню программы

Пункты главного меню:

- «Ручная» - режим настройки и контроля амплитудно-фазовым методом используя комплексную плоскость;

- «Фазовая» - режим настройки и контроля фазовым методом;

- «Многослойная» - контроль производится одновременно несколькими настройками (ручными или фазовыми);

- «С-скан» - построение двумерных изображений дефектов; - «Преобразователи»

- архив неинтеллектуальных преобразователей;

- «Архив» - архив полученных настроек и результатов контроля; - «Про-грамма»

- информация «О программе», выход из программы в меню начальной заставки, а также вывод информации об интеллектуальном преобразователе (если подключен).

#### Проведение контроля в режиме «Ручная настройка».

В ручной настройке сигнал, принятый с преобразователя анализируется амплитуднофазовым методом и выводится на комплексную плоскость в виде маркера. В нижней части комплексной плоскости выводится ряд вспомогательных параметров:

• текущая частота и усиление;

• название настройки, название и номер преобразователя (отображается, если настройка была сохранена);

• расстояние от маркера до начала координат в пикселях (параметр «Амплитуда», пикселей) и угол наклона маркера относительно горизонтальной оси в градусах (параметр «Фаза»).



Рис.3.3. Комплексная плоскость.

#### Порядок работы:

- Перейти в режим ручной настройки - в главном меню выбрать пункт «Ручная».

- Установить рабочую частоту преобразователя. Для этого поместить преобразователь на бездефектный участок и вызвать режим спектроанализатора нажатием кнопки «Спектр». Если рабочая частота заранее известна, то она может быть выставлена вручную.

- Установить преобразователь на заведомо бездефектный участок. Выбрать масштаб таким образом, чтобы при перемещении по бездефектному участку маркер не выходил за границы воображаемого прямоугольника с длиной стороны в 4 деления сетки комплексной плоскости. При необходимости, отцентровать маркер нажатием пункта меню «Центр». Удерживая преобразователь на бездефектном участке активировать пункт меню «Снять зону».

- Перемещать преобразователь (несколько возвратно поступательных движений) по бездефектному участку, при этом траектория перемещения маркера фиксируется на экране (синим цветом) формируя зону фрикционных шумов (ЗФШ). Очертить ЗФШ нажатием пункта меню «Очертить зону»



Рис.3.4. Получение зоны фрикционных шумов.

- Загрубить (расширить) ЗФШ таким образом, чтобы при перемещении преобразователя по бездефектному участку не происходило ложных срабатываний АСД (чтоб маркер не выходил за пределы зоны). Используя кнопку направления выбрать направление изменения зоны.

Активировать пункт меню «Изменить» - увеличить/уменьшить зону в выбранном направлении (кнопка - уменьшить зону, - увеличить).

После загрубления зоны настройка готова к работе.

Перемещая преобразователь на дефектный участок убедитесь, что маркер выходит за пределы ЗФШ и происходит срабатывание световой\звуковой сигнализации дефекта.

#### Проведение контроля в режиме «Фазовая настройка»

В фазовой настройке информационным параметром является фаза принятого с преобразователя сигнала. На круговой диаграмме фаза есть угол наклона вектора (белая радиальная линия) относительно оси Х



Рис. 3.5. Круговая диаграмма фазовой настройки

#### Порядок работы:

- Перейти в режим фазовой настройки - в главном меню выбрать пункт «Фазовая».

- Установить рабочую частоту преобразователя. Для этого поместить преобразователь на бездефектный участок и вызвать режим спектроанализатора нажатием кнопки «Спектр»

- Установить преобразователь на бездефектный участок, активировать пункт меню «Снять». Снять ЗФШ – совершить преобразователем несколько возвратно поступательных движений по бездефектной поверхности образца. В фазовой настройке ЗФШ отображается в виде сектора (синим цветом).



Рис. 3.6. Снятие зоны фрикционных шумов.

- Завершить снятие ЗФШ, активировав пункт меню «Завершить». При этом на экране отобразятся кнопки с начальным/конечным углом ЗФШ.

- «Загрубить» (увеличить) ЗФШ используя кнопки «Начало», «Конец» - т.е начальный и конечный углы сектора ЗФШ во избежание ложных срабатываний сигнализации.

Для повторного использования полученных настроек они могут быть сохранены в архиве настроек. Для этого необходимо активировать пункт «Сохранить».



Рис. 3.7. «Загрубление» зоны.

Получите у преподавателя фрагмент сотовой панели и проведите контроль в режиме ручной настройки и фазовой настройки.

#### 3.3.2. Ультразвуковой дефектоскоп УДЗ-103 «Пеленг»

#### Общая характеристика

Ультразвуковой универсальный дефектоскоп УД3-103 «Пеленг» предназначен для контроля сплошности элементов авиационных металлоконструкций, а также измерения толщин.

Дефектоскоп является переносным прибором, масса которого со встроенным аккумулятором 2.15 кг. Рабочая температура использования от -10°C до  $+50^{0}$ C

#### Функциональные возможности дефектоскопа:

• автоматическое измерение и оперативная индикация характеристик выявленного дефекта (координаты, амплитуда отраженного сигнала, эквивалентная площадь и др.);

• возможность "ручного" измерения характеристик дефекта (в том числе для вызванных из памяти протоколов с кадром А- и В- развертки);

автоматическая сигнализация дефекта (АСД);

• звуковая (встроенная и/или на головные телефоны) и световая сигнализация;

• режим оптимизации длительности развертки;

• встроенная справочная таблица скоростей УЗК для основных материалов;

• автоматическая корректировка частоты следования зондирующих импульсов;

• возможность создания и записи в память до 100 настроек;

• автоматическое запоминание номеров последних используемых настроек и блоков настроек;

наличие режима "ПАУЗА";

• возможность автоматического выравнивания чувствительности в зоне контроля (за счет ВРЧ или криволинейного порога);

- встроенный расчет АРД;
- индикация фактического значения чувствительности;

• наличие автоматической регулировки чувствительности (АРУ), позволяющей учитывать изменения затухания УЗК и качество акустического контакта по опорному сигналу;

• различные режимы А-развертки (в том числе "СТОП-КАДР", "ЛУПА", "ОГИБАЮЩАЯ");

• В-развертка;

• W-развертка (визуализация хода распространения лучей с указанием места расположения дефекта);

• "затягивание" индикации отраженного сигнала на экране, а так же удлинение срабатывания АСД;

• документирование результатов контроля.



Рис. 3.8. Передняя панель электронного блока дефектоскопа

060-	Назначение кнопки в режимах			
зна- чение	"ОСНОВНОЙ"	"F"	"T"	
1	2	3	4	
F	[F] Переход в режим кнопок "F" – ввод чи- словых параметров в пунктах меню непо- средственно с помощью цифровых кно- пок	F Отмена режи- ма кнопок "F" (переход в ре- жим кнопок "ОСНОВНОЙ")	-	
T	Т Переход в режим кнопок "Т" – быстрое включение/отключение режимов, выве- денных на кнопки с текстовым обозначе- нием. При выполнении требуемой функции режим "Т" автоматически отключается	_	Т Отмена режи- ма кнопок "Т" (переход в режим кнопок "ОСНОВ- НОЙ")	
	<ul> <li>О и Р</li> <li>Соответственно уменьшение и увеличение усиления дефектоскопа.</li> <li>Изменение усиления осуществляется "по кругу" (для кнопки ) после значения "80" появляется значение "00" и, наоборот, для кнопки ).</li> <li>Исключение: если настройка сохранена с блокировкой чувствительности, то при ее вызове уменьшение усиления ниже сохраненного значения невозможно.</li> <li>В режиме "ОГИБАЮЩАЯ" вместе с изменением усиления осуществляется перезапуск режима "ОГИБАЮЩАЯ".</li> <li>Кнопки действуют:</li> <li>при индикации А-развертки кроме случаев, когда установлены режимы: "СТОП-КАДР" и "АРУ";</li> <li>при установленном состоянии "СБРОС" В-развертки.</li> <li>Кнопки не действуют при вызове протокола с кадром А- или В-развертки</li> </ul>	⊡ и 2 Соответствен- но ввод цифры "1" и "2"	-	
3	ПО Поставление и поставление с экрана Вызов/перемещение/удаление с экрана меню "НАСТРОЙКА" и соответствующих подменю	<u>(3)</u> Ввод цифры "3"	-	
я 4 5	I. 5. I и I	(4 ји (5) Соответствен- но ввод цифры "4" и "5"	_	

### Назначение кнопок передней панели дефектоскопа

1	2	3	1
		1.9.1	4
	илон Вызов/перемещение/удаление с экоа-	BROT HINDRY """	
	на меню "ИЗМЕРЕНИЕ"	вод цифры о	
æ	€€ n €€	Z 1 8	
$\nabla$	1) При индикации А-развертки: пере-	Соответствен-	
И	мещение строба ручной метки соот-	но ввод цифры	
	ветственно влево и вправо по развер-	"7" и "8"	
8	тке;		
	2) При индикации В-развертки: пере-		
	мещение ручной метки (линии) соот-		
	ветственно вверх и вниз.		
	Перемещение метки осуществляется		
	по кругу, перехооя от ооного края эк-		
		1 9 1	
	Вызов/перемещение/удаление с экра-	Ввод цифры "9"	_
	на меню "ПОИСК" и соответствующих	Dood dupper o	
	подменю		
	€	[-]n[0]	+45 M RPY
+ <u>4</u> 5	1) При индикации А-развертки: пере-	Соответствен-	Соответственно
	ход соответственно к предыдущему и	но ввод симво-	включение/от-
	следующему этапу контроля (вызов	ла "" и цифры	ключение допол-
APY	предыдущей и очередной настройки из	"0"	нительного уси-
	блока этапов или меню для записи		ления (поисковой
	строки в отчет об ультразвуковом кон-		чувствительно-
	троле или протокола А-развертки).		сти) и режима
	переключение этапов контроля осуще-		автоматической
	после этапа с наибольшим номером вы-		регулировки
	зывает <u>ся п</u> ервый этап и наоборот для		усиления (АРУ)
	кнопки (+1);		
	2) При индикации В-развертки: выпол-		
	нение соответственно операции		
	СБРОС (очистка развертки) и		
	Скота (запуск развертки)	11	lonuel
ЗВУК	I.Ж.I Вызов/удаление с экрана меню "ИН-		BYDIOUGUNO/OT
$\mathbf{\mathbf{\nabla}}$	ЛИКАТОРЫ"	"•"	
		-	Ма звуковой сиг-
			нализации
YRT	YRT	-	ОГИБ
OFUE.	Переключение измеряемых и индици-		Включение/от-
	руемых величин, а также единиц изме-		ключение режи-
	рения в верхней измерительной стро-		ма "ОГИБАЮ-
	ке, соответствующих подменю меню		ЩАЯ"
	"НАСТРОЙКА" и меню "ИЗМЕРЕНИЕ"		

Продолжение таблицы

1	2	3	4
CTON	Переход в режим "ПАУЗА" (эко- Переход в режим работы де- фектоскопа) Для обратного перехода дефек- тоскопа из режима "ПАУЗА" в предшествующий режим работы используется любая кнопка	-	[стоп] Включение/от- ключение режи- ма "СТОП-КАДР"
(W-PA3B)	Перемещение вверх по пунктам текущего меню	(1) Отмена режима кно- пок "F" (переход в режим кнопок "OC- HOBHOЙ") с одно- временным перемещением вверх на один пункт меню	₩₩38 Включение/от- ключение режи- ма "W-PA3BEPT- КА"
	[√] Перемещение вниз по пунктам текущего меню	Отмена режима кно- пок "F" (переход в ре- жим кнопок "ОСНОВ- НОЙ") с одновремен- ным перемещением вниз на один пункт меню	[лэля] Включение/от- ключение режи- ма "ЛУПА". Вид лупы уста- навливается в пункте "ЛУПА" меню "ПОИСК"
	♪	▲ Отмена режима кно- пок "F" (переход в режим кнопок "OC- HOBHOЙ") с одновре- менной заменой вве- денного значения на ранее индицируемое	 Отмена режима "Т" (переход в режим кнопок "ОСНОВНОЙ")
	<ul> <li>Переход из текущего меню в подменю (меню нижнего уровня);</li> <li>Выполнение некоторых операций типа "ВВОД"</li> </ul>	↓ Отмена режима "F" (переход в режим кнопок "ОСНОВНОЙ")	-

Питание дефектоскопа осуществляется как от сети переменного тока 220 В, или встроенной аккумуляторной батареи, так и внешней батареи 12 В.



Рис. 3.9. Элементы коммутации дефектоскопа (верхняя панель)

#### Осуществление настроек и их сохранение

Вводимые (установленные) параметры настройки дефектоскопа отображаются на экране дефектоскопа в виде меню. В общем случае меню состоит из трех частей: строки-подсказки, заголовка меню, пунктов меню.

Перемещение по пунктам меню, переключение режимов, ввод плавно регулируемых значений параметров осуществляется с помощью кнопок передней панели дефектоскопа (см. табл. 3.1).

При включении дефектоскопа индицируется меню «РЕЖИМ РАБОТЫ». Для начала работы необходимо ввести шифр оператора, который позволяет защитить настройки от несанкционированных корректировок другими операторами, определять оператора, проводившего контроль.

Для создания необходимых настроек войдите в пункт «СОЗДАНИЕ НА-СТРОЕК». При этом на экране индицируется подменю «НАСТРОЙКА».

F ↓↑↔↓	
ODEPATOPA 0000	
ВЫЗОВ БЛОКА	
<u>ISTANOB</u> 01	
L BUSUB	
CO349HMF	
НАСТРОЙКИ 001	
BO3BPAT B TE	ГЛУБИНОМЕР
COSAGNAE EDDA	PA3B,30HA BC1
COSANNE DIO	30HL BCZ; APY
	BPY
	<u>N ПЭП 0000000</u>
	ОБЪЕКТ КОНТР
	3ATT.HACTP.001

Рис. 3.10. Вид меню «Режим работы» и подменю «НАСТРОЙКА»

ОБЩИЕ ПАР-РЫ	ОБЩИЕ ПАР-РЫСЗ ЧАСТОТА 2-SMFU ВКЛ.ПЗП СОВМЕШ АМПЛ.ЗОНА.ВЫС ПЕРИОДЫ ЗОНА.2 ОТСЕЧКА 05% ФАКТИЧ.ЧАСТОТА СИНХР. 0300FU ЗАДАННАЯ ЗООГU	
ГЛУБИНОМЕР —	ПУБИНОМЕР ВС1-НАЧ. 13М ВС1-КОН. 29М НАСТР.ПО СО - УГОЛ ВВОДА 509 ВР.ПЭП. ОБ.ОМК У ИСТ. 0.0ММ В ИСТ. 0.0ММ СТРЕЛА ОММ СТРЕЛА ОММ МАТЕР.УГЛЕР.СТ СКОР-ТЬ 3260М/С ТОЛЧ. 0.0ММ	
PA38,30HA BC1-	PA3:30HA BC153 PA3BEPTKA 100% MI.PA3B 101MM BC1:MEIOA 3X0 BC1:HA9. 13MM BC1:KOH. 73MM BC1:CMEW 13MM BC1:CMEW 13MM BC1:CMEW 13MM BC1:CMEW 13MM	
ЗОНЫ ВС2, АРУ —	30HW BC2;AP93 AD.PA38 101MM BC1:KOH- 79MM BC2:MEIOA HEI BC2:HAY- 80MM BC2:KOH- 157MM BC2:DOPOF 50% DOPOF 2/1 00A5 AP9:HAY- 0MM AP9:KOH- 0MM	
ЧЭВСТВИТ-ТЬ	ЧЭВСТВИТ-ТЬ <del>30</del> ВС1:НАЧ. 13ИМ ВС1:КОН. 79ИМ НАСТР.ПО СО - РЕЖИМ ВРЧ ОТКЛ АРА ПАРАМЕТРЫ АРА	ПАРАМ-РЫ АРАС ОПОРНЫЙ СИГНАЛ ОТВ. 06.001 2018.6.001 384. Sers 5.000
	TPE5.498 45 ⊅8KT.498.~0145 ПьЕ303Л. КР9Г 28 ПьЕ303Л0011011 28 ПьЕ303Л08111	Y MAX 79M 3AT9X 1.00HN/N
BP4	ВРЧ () ВС1:КОН. 79М ВС1:КОН. 79М ИНДИКАЦИЯ ВРЧ- РЕЖИМ ВРЧ ОТКЛ ВРЧ:НАЧ. 13ММ ВРЧ:КОН. 79М ВРЧ:КОН. 79М ВРЧ:АМПЛ00 ДБ ВРЧ:ФОРМА 00 ДО ВРЧ -00 ДБ ПОСЛЕ ВРЧ-00 ДБ ЗАТЧХ 1.00НП/М	
ОБЪЕКТ КОНТР• ОСНОВН•МЕТАЛЛ ОЛОКИР• ОТКЛ ЗАП•НАСТР•ОО1		

Рис. 3.11. Установка параметров настройки

B-PA3BEPTKA	8-2438621K4 M 826M9 CK4H-30	
	8-00200 50% COCTORH, CEPOC	CORNEL
	3AN. NPOT. 8001	ПРОТОКОЛА В Ж
		053EKT N000000
		METP 000
комер, толчины	F 🕹 🗳 🖓 🖓	L SHILLIEOT COL
И ЗАЛ-В ОТЧ-03	ЗАП.ОТЧЕТА <b>ОВ</b> ИЗМЕР.ТОЛЩ. М	
	OGDEKT N 1 PACCI·X 0200	
	PACCT.Y U300 4400 4600	
34 <b>0.0</b> 00 <b>1</b>	Запись	
	OFBERT NOOOOO	
	METP 000 MUQUMETP 000	
	ЧАСЫ <u>00.0</u> ЧССЫ ДЛИНАОООММ	
	<u>901.850014000M</u> AEΦEKT KOA HEI	
	<u>1575KT N000000</u> 380-0001-001	
3AR-OTYETA 01	3AD.0TYETA01WY	
звук сигнал -		
<u>доп. усил. +ооды</u> ВКЛ. доп. УСИЛ. —		
<u>пупа руч.мет</u> вкл.дупы –		
<u>стоп-каде                                    </u>		
МУ-РАЗВЕРТКА - ВКЛ∙АРУ -		
MI-P94-MEIKN19	i de la companya de la	

Рис. 3.12. Установка параметров подменю «ПОИСК»

### Идентификация дефектов с помощью дефектоскопа УД3-103 «Пеленг»

Получите от преподавателя образец с дефектом, осуществите соответствующие настройки и идентифицируйте дефект. Нарисуйте эскиз детали с выявленным на ней дефектом в контрольной карте, отразите также сигналы, сопровождающие дефект.

#### Рекомендуемая литература

 Пивоваров В.А., Машошин О.Ф., Хрустиков С.Г. Диагностика и неразрушающий контроль ЛАиАД: Учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2011.
 Пивоваров В.А., Хрустиков С.Г., Коротков В.А. Диагностика повреждаемости авиационных конструкций: Учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2008. – 73 с.
 Пивоваров В.А., Машошин О.Ф. Дефектоскопия гражданской авиационной техники: Учебное пособие. – М.: Транспорт, 1997. – 128 с.

#### Приложение 1

Значения скоростей распространения УЗК в некоторых материалах

Марка материала	Скорость распро- странения УЗК, (м\с)	Температурный коэффициент
Сталь 3	5930	0,5 - 0,7
Сталь 10	5920	0,5 - 0,7
Сталь УЮ	5925	0,5 - 0,7
Сталь 40	5925	0,5 - 0,7
Сталь У8	5900	0,5 - 0,7
Сталь 50	5920	0,5 - 0,7
Сталь 45 Л-1	5925	0,5 - 0,7
Сталь ШХ-15	5965	0,5 - 0,7
Сталь 30 ХМА	5950	0,5 - 0,7
Сталь 08Х17Н14МЗ	5720	0,5 - 0,7
Сталь ЗОХГСНА	5915	0,5 - 0,7
Сталь Х18Н9Т	5720	0,5 - 0,7
Сплав Х77ТЮР	6080	0,5 - 0,7
Д -16АТ	6365	1,0 - 1,2
B-95	6280	1,0 - 1,2
АМЦ	6405	1,0 - 1,2
АМГ 6	6380	1,0 - 1,2
BT-1	6080	1,0 - 1,2
BT6C	6150	0,6 - 0,7
OT4	6180	0,6 - 0,7
BT14	6105	0,6 - 0,7
BT9	6180	0,6 - 0,7
Бр КМЦ 3-1	4820	0,5 - 0,6
M2	4750	0,5 - 0,6
ЛС63	4180	0,5 - 0,6

#### Приложение 2

#### Карта результатов контроля методом \_\_\_\_\_

Применяемый метод	Применяемое оборудование (тип прибора)	Эскиз образца	Срабатывание сигнализации на образцах	Показания стрелочных и др. индикаторов

Контроль провел: Результаты контроля подтверждаю: (подпись) (подпись)

### Содержание

	Стр.
Лабораторная работа №1	3
Лабораторная работа №2	14
Лабораторная работа №3	25