

ПМК-УРАЛ

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «ПМК-Урал»



А.А. Зобнина

2026 г.

ПРОГРАММА

повышения квалификации по вихретоковому методу
неразрушающего контроля

(подготовка к аттестации по СДАНК-02-2020, I и II уровни)

г. Пермь, 2026

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа предназначена для подготовки дефектоскопистов, желающих получить II уровень квалификации по вихретоковому методу НК. Обучение охватывает теорию электромагнетизма, устройство и настройку приборов, технологию контроля, анализ мешающих факторов и практическое выполнение контроля на образцах. Программа разработана в соответствии с СДАНК-02-2020.

2. ЦЕЛЬ

Сформировать компетенции, необходимые для самостоятельного выбора способа вихретокового контроля, настройки оборудования, проведения контроля, интерпретации результатов и составления заключений.

3. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН (77 часов: 35 + 42)

№	Тема	Часы
1	Основы неразрушающего контроля и материаловедение	8
2	Электричество, магнетизм и физические принципы вихретокового метода	6
3	Теоретические основы вихретокового контроля	8
4	Влияние различных факторов на результаты измерений	6
5	Оборудование для вихретокового контроля	8
6	Технология вихретокового контроля	8
7	Метрологическое обеспечение и контрольные образцы	4
8	Нормативная и методическая документация	3
9	Настройка приборов, работа с образцами	8
10	Контроль и регистрация результатов	6
11	Разработка инструкций и комплексная диагностика	8
12	Предэкзаменационная подготовка и тестирование	4
Всего		77

4. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ

Тема 1. Основы неразрушающего контроля и материаловедение (8 ч)

1.1. Введение в неразрушающий контроль

Назначение и области применения НК. Сравнение с разрушающими испытаниями. Классификация методов по ГОСТ Р 56542-2019: акустические, оптические, радиационные, магнитные, вихретоковые, капиллярные, течеискание и др. Место вихретокового метода среди электромагнитных методов. Преимущества и ограничения ВК: высокая скорость, бесконтактность, чувствительность к поверхностным и подповерхностным дефектам; зависимость от магнитных свойств материала и зазора.

1.2. Основы материаловедения для ВК

Электропроводность металлов и сплавов: физическая природа, удельное сопротивление, единицы измерения (мкОм·см, % IACS). Влияние химического состава, термообработки, холодной пластической деформации на электропроводность. Магнитная проницаемость: относительная магнитная проницаемость, зависимость от напряжённости поля, кривая намагничивания. Магнитомягкие и магнитотвёрдые материалы. Типовые значения электропроводности и магнитной проницаемости для сталей, алюминиевых, титановых, никелевых сплавов.

1.3. Дефекты, выявляемые вихретоковым методом

Поверхностные дефекты: трещины различного происхождения (закалочные, шлифовочные, усталостные), волосовины, закаты, плёны, коррозионные язвы. Подповерхностные дефекты: несплошности, выходящие на глубину до нескольких миллиметров (в зависимости от частоты). Связь дефектов с технологическими процессами: литьё, сварка, механообработка, термообработка.

1.4. Система аттестации персонала и безопасность

Обзор СДАНК-02-2020, уровни квалификации I, II, III по ВК. Требования к образованию, стажу, специальной подготовке. Правила допуска к работе. Охрана труда при работе с вихретоковыми дефектоскопами: электробезопасность (напряжение питания, заземление), возможные опасности при контроле химически активных сред.

Тема 2. Электричество, магнетизм и физические принципы ВК (6 ч)

2.1. Основы электротехники и магнетизма

Постоянный ток: напряжение, сила тока, сопротивление, закон Ома. Переменный ток: амплитуда, действующее значение, частота, фаза. Индуктивность и ёмкость в цепях переменного тока, реактивное сопротивление, комплексный импеданс. Векторные диаграммы. Магнитное поле: напряжённость, индукция, магнитный поток. Закон Био-Савара-Лапласа. Магнитное поле катушки с током, соленоида.

2.2. Физический механизм вихревых токов

Электромагнитная индукция, закон Фарадея. Возбуждение вихревых токов в проводящей среде при помещении её в переменное магнитное поле. Плотность вихревых токов, скин-эффект: стандартная глубина проникновения δ , формула $\delta = \sqrt{2\rho/(\omega\mu)}$, её зависимость от частоты f , удельного сопротивления ρ и магнитной

проницаемости μ . Численные примеры: для алюминия, титана, стали на частотах 1 кГц – 2 МГц.

2.3. Взаимодействие вихревых токов с дефектами

Искривление линий тока вокруг несплошности. Изменение импеданса катушки (амплитуды и фазы). Понятие вносимого напряжения, комплексный характер сигнала. Представление сигнала на комплексной плоскости (годограф). Зависимость фазы сигнала от глубины дефекта: правило «фаза – глубина» (lift-off и дефект на разной глубине дают разные углы).

Тема 3. Теоретические основы вихретокового контроля (8 ч)

3.1. Модельные задачи распределения вихревых токов

Виток над проводящим полупространством: аналитическое выражение для плотности тока, зависимость от параметра обобщённой частоты. Проходной преобразователь с цилиндрическим образцом: понятие характеристической частоты (предельной частоты), нормированные диаграммы импеданса. Внутренний преобразователь в трубе: особенности распределения поля, влияние толщины стенки.

3.2. Импедансная плоскость и её практическое использование

Построение годографов для различных изменяемых параметров: электропроводности, магнитной проницаемости, зазора (lift-off), частоты. Влияние дефектов на импеданс: смещение рабочей точки на комплексной плоскости. Использование фазового анализа для разделения эффектов зазора и дефекта. Понятие «угол подъёма зазора» и «угол дефекта». Примеры настройки прибора для подавления сигнала от зазора и выделения сигнала от трещины.

3.3. Взаимодействие с дефектами простой формы

Модель точечного дефекта, длинной трещины, распределённой пористости. Зависимость амплитуды и фазы сигнала от размеров и ориентации дефекта. Оценка глубины дефекта по фазовому углу и амплитуде. Ограничения метода для объёмных дефектов.

Тема 4. Влияние различных факторов на результаты измерений (6 ч)

4.1. Влияние зазора (lift-off) и способы компенсации

Физический механизм влияния зазора на импеданс. Характерный угол lift-off для немагнитных и ферромагнитных материалов. Использование дифференциального включения катушек для подавления сигнала зазора. Частотная отстройка, амплитудно-фазовая компенсация в приборах с цифровой обработкой. Практические приёмы: калибровка по бездефектному участку с вариацией зазора, установка зоны нечувствительности.

4.2. Влияние физических свойств и геометрии

Электропроводность: изменение в пределах партии материала, влияние на рабочую частоту и чувствительность. Магнитная проницаемость: неоднородность, остаточная намагниченность. Метод магнитного насыщения для устранения влияния μ . Кривизна поверхности: снижение чувствительности, изменение фазы; использование притёртых или эластичных преобразователей. Краевой эффект: искажение сигнала при приближении к краю изделия; способы учёта.

4.3. Влияние условий сканирования и окружающей среды

Скорость сканирования: инерционность прибора, пропуск дефектов, ограничения по частоте следования. Температурный дрейф: влияние на характеристики катушки и электропроводность объекта, термокомпенсация. Вибрации, электромагнитные помехи: экранирование преобразователей, фильтрация.

Тема 5. Оборудование для вихретокового контроля (8 ч)

5.1. Типы и конструкции преобразователей

Абсолютные (однокатушечные) и дифференциальные (двухкатушечные) преобразователи. Параметрические и трансформаторные схемы. Накладные (поверхностные), проходные (наружные), внутренние, седлообразные, матричные. Экранированные преобразователи для локального контроля. Материалы сердечников (ферриты). Эксплуатационные характеристики: диапазон рабочих частот, разрешающая способность, износостойкость контактной поверхности.

5.2. Электронные блоки дефектоскопов

Структурная схема вихретокового дефектоскопа: генератор возбуждения (синусоидальный, меандр), мостовая измерительная схема (балансировка), предусилитель, синхронный (фазовый) детектор, фильтры низкой частоты, аналого-цифровой преобразователь, микропроцессор, дисплей. Функции прибора: установка частоты, усиления, фазы, фильтров; регулировка порога сигнализации; режимы «статический» и «динамический». Обзор современных моделей (Olympus Nortec, Eddyfi Ectane, российские аналоги ВД-70 и др.). Особенности многоканальных и многочастотных систем.

5.3. Вспомогательное оборудование

Сканирующие устройства: ручные, механизированные, роботизированные. Блоки магнитного насыщения для ферромагнитных материалов. Контрольные образцы: с прорезями (прямоугольными, треугольными разной глубины), с плоскодонными отверстиями, с отверстиями для определения глубины проникновения.

Тема 6. Технология вихретокового контроля (8 ч)

6.1. Подготовка к контролю

Анализ контролируемого объекта: геометрия, материал, ожидаемые дефекты. Подготовка поверхности: очистка от грязи, масла, окалины; удаление толстых немагнитных покрытий (при необходимости). Разметка зон контроля. Выбор преобразователя (тип, размер, частота) в зависимости от толщины стенки, требуемой глубины проникновения и пространственного разрешения.

6.2. Настройка режима контроля

Выбор рабочей частоты: исходя из стандартной глубины проникновения (например, частота 100 кГц для алюминия даёт $\delta \approx 0,3$ мм, 10 кГц – $\delta \approx 1$ мм; для стали на частотах выше 1 МГц глубина мала из-за высокой μ). Установка усиления и фазы по контрольному образцу с известными дефектами. Балансировка прибора на бездефектном участке. Настройка порога срабатывания сигнализации (визуальной и звуковой).

6.3. Проведение контроля

Сканирование поверхности преобразователем: ручное (с контролем скорости и постоянства зазора) или механизированное. Признаки дефекта на экране прибора: появление сигнала на комплексной плоскости, превышение порога. Оценка глубины дефекта по фазовому углу и амплитуде с использованием калибровочных кривых. Измерение электропроводности (в абсолютном режиме) и толщины покрытия (в режиме измерения lift-off). Фиксация координат дефектов.

6.4. Особенности контроля различных материалов

Контроль алюминиевых сплавов (высокая электропроводность, немагнитны): высокая чувствительность к мелким трещинам. Контроль титановых сплавов: низкая электропроводность, требуется большая глубина проникновения. Контроль ферромагнитных сталей: необходимо магнитное насыщение для устранения влияния μ , выбор частоты с учётом остаточного магнетизма. Контроль сварных швов: особенности геометрии, применение дифференциальных преобразователей.

Тема 7. Метрологическое обеспечение и контрольные образцы (4 ч)

7.1. Контрольные образцы

Назначение: калибровка чувствительности, проверка работоспособности, оценка глубины проникновения. Типы искусственных дефектов: электроэрозионные прорезы (ширина $\sim 0,1$ мм, глубина от 0,1 до нескольких мм), плоскостные отверстия, канавки. Методика изготовления и аттестации образцов. Стандартные образцы предприятия (СОП) и государственные стандартные образцы (ГСО). Хранение и периодическая проверка.

7.2. Поверка и калибровка приборов

ГОСТ 8.283-78 «Дефектоскопы электромагнитные. Методы и средства поверки». Проверяемые параметры: амплитуда выходного сигнала, частота, фазовая характеристика, стабильность. Методика поверки с использованием набора мер. Межкалибровочный интервал. Оформление свидетельства о поверке.

Тема 8. Нормативная и методическая документация (3 ч)

8.1. Обзор основных документов

ГОСТ Р 56542-2019 – классификация методов НК, общие требования. ГОСТ 24289-80 – термины и определения вихретокового контроля (исторический, но используется в отрасли). ГОСТ 8.283-78 – поверка электромагнитных дефектоскопов. РД РОСЭК-007-97 – контроль вихретоковый, основные положения. Отраслевые стандарты (например, для авиационной техники – ОСТ1-90..., для атомной – ПНАЭ Г-7-...). Международные стандарты: ISO 15549, ISO 17643.

8.2. Порядок разработки и применения технологических инструкций

Составление карт контроля: объект, метод, преобразователь, частота, порог чувствительности, схема сканирования, критерии приёмки. Согласование и утверждение. Ответственность исполнителя. Архивное хранение протоколов.

Тема 9. Настройка приборов, работа с образцами (6 ч)

Цель: сформировать навыки настройки вихретокового дефектоскопа и уверенной работы с контрольными образцами.

Оборудование и материалы: вихретоковый дефектоскоп (например, ВД-70 или аналог), набор накладных преобразователей (абсолютный, дифференциальный) с различными частотами (10 кГц, 100 кГц, 1 МГц), контрольные образцы из алюминиевого сплава с искусственными дефектами (прорези глубиной 0,2; 0,5; 1,0 мм), ферромагнитный образец с прорезями, образец с плавным изменением зазора (клиновидная немагнитная прокладка), мультиметр, контактная жидкость (при необходимости).

Порядок выполнения:

1. **Подключение и проверка:** подключить преобразователь к прибору, включить, проверить работоспособность по индикации.
2. **Выбор частоты:** для алюминиевого образца рассчитать ожидаемую глубину проникновения на частотах 100 кГц и 10 кГц. Установить частоту 100 кГц.
3. **Балансировка:** установить преобразователь на бездефектный участок образца, сбалансировать мост (добиться нулевого сигнала).
4. **Настройка усиления и фазы:** провести над прорезью глубиной 0,5 мм, регулируя усиление, добиться отклонения сигнала на 80% шкалы. Повернуть фазу так, чтобы сигнал от зазора (путём покачивания преобразователя) был направлен горизонтально, а сигнал от дефекта – вертикально.
5. **Калибровка глубины:** получить сигналы от прорезей разной глубины, построить график «амплитуда – глубина» и «фаза – глубина».
6. **Работа с ферромагнитным образцом:** включить блок магнитного насыщения (при наличии), повторить настройку, оценить различие сигналов с насыщением и без него.
7. **Измерение электропроводности:** используя абсолютный преобразователь и калибровочный образец с известной электропроводностью, перевести прибор в режим измерения электропроводности, провести замер на нескольких участках.
8. **Оформление результатов:** записать в рабочую тетрадь параметры настройки, зарисовать годографы, заполнить протокол калибровки.

Тема 10. Контроль и регистрация результатов (8 ч)

Цель: научиться выполнять контроль реальных деталей, идентифицировать дефекты и оформлять отчётную документацию.

Оборудование и материалы: вихретоковый дефектоскоп, накладной дифференциальный преобразователь на частоту 50–200 кГц, образцы деталей с реальными дефектами (например, лопатка турбины с усталостной трещиной, диск с трещиной у отверстия, сварной шов с подповерхностными непроварами), эталонный бездефектный образец, маркер, линейка, фотоаппарат, бланки протоколов.

Порядок выполнения:

1. **Предварительный осмотр:** визуально осмотреть деталь, отметить зоны вероятных дефектов (галтели, сварные швы, места концентрации напряжений).
2. **Настройка прибора:** на эталонном бездефектном образце того же материала настроить частоту, усиление, фазу, порог сигнализации. Убедиться в отсутствии ложных сигналов.

3. **Сканирование:** выполнить ручное сканирование с перекрытием дорожек на 10-15%, поддерживая постоянный угол и нажим. При появлении сигнала, превышающего порог, остановиться, повторить проход, зафиксировать координаты.
4. **Оценка дефекта:** определить глубину по градуировочному графику, оценить протяжённость. При необходимости зачистить поверхность и повторить контроль. Сравнить сигнал с типовыми образцами (трещина, пора, зазор).
5. **Регистрация:** нанести на эскиз детали расположение выявленных дефектов, указать их размеры. Заполнить протокол: дата, прибор, настройки, описание дефектов, заключение о годности.
6. **Разбор результатов:** совместно с преподавателем проанализировать правильность идентификации, обсудить возможные ошибки (краевой эффект, влияние шероховатости).

Тема 11. Разработка инструкций и комплексная диагностика (8 ч)

Цель: освоить методику составления технологических инструкций и выполнить проверку компетенции персонала I уровня.

Задание для каждого слушателя: разработать технологическую инструкцию по вихретоковому контролю конкретной детали (по указанию преподавателя: галтель вала, стыковой сварной шов, кромка отверстия). В инструкции должны быть отражены:

- область применения и контролируемые зоны;
- используемое оборудование (тип дефектоскопа, преобразователя);
- параметры настройки (частота, усиление, фаза, порог);
- подготовка поверхности;
- методика сканирования (шаг, направление, скорость);
- критерии приёмки (допустимые размеры дефектов);
- оформление результатов.

Ролевая игра: часть группы выполняет контроль по инструкции, разработанной другим слушателем, с записью результатов. Автор инструкции затем проводит инспекционный контроль: проверяет правильность настройки, полноту выявления дефектов, оформление документации. Обсуждение: насколько инструкция однозначна, какие возникли затруднения.

Комплексная диагностика: на одном объекте провести вихретоковый контроль, затем (при наличии) подтвердить результаты капиллярным или ультразвуковым методом. Сопоставить данные, сделать вывод о достоверности ВК.

Итог: каждый слушатель сдаёт оформленную инструкцию и протокол инспекционного контроля.

Тема 12. Предэкзаменационная подготовка и тестирование (4 ч)

Цель: систематизировать знания и подготовиться к экзамену в Независимом органе.

Содержание:

- Повторение ключевых теоретических вопросов: стандартная глубина проникновения, импедансная плоскость, влияние зазора и дефекта, выбор частоты, типы преобразователей, нормы допустимости.
- Решение тестовых заданий из сборника Независимого органа (30 вопросов за ограниченное время).
- Практическое тестирование: настройка дефектоскопа и контроль образца с неизвестными дефектами за 2 часа. Оценка результатов по критериям практического экзамена (знание оборудования, применение метода, обнаружение дефектов, отчёт).
- Индивидуальные консультации по ошибкам.
- Выдача допуска к итоговой аттестации.

5. НОРМАТИВНАЯ БАЗА

- ГОСТ Р 56542-2019. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.
- ГОСТ 24289-80. Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения.
- ГОСТ 8.283-78. Дефектоскопы электромагнитные. Методы и средства поверки.
- РД РОСЭК-007-97. Контроль вихретоковый. Основные положения.