

ПМК-УРАЛ

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «ПМК-Урал»

А.А. Зобнина

2026 г.



ПРОГРАММА

повышения квалификации по радиационному методу
неразрушающего контроля

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

г. Пермь, 2026

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа рассчитана на подготовку дефектоскопистов для получения II уровня квалификации по ультразвуковому контролю. Обучение включает теорию упругих волн, устройство и настройку дефектоскопов, технологию контроля поковок, труб, сварных соединений, а также практику на образцах с реальными дефектами.

2. ЦЕЛЬ

Освоить ультразвуковую дефектоскопию в объеме, позволяющем самостоятельно выбирать методику контроля, настраивать оборудование, выявлять и оценивать несплошности, разрабатывать технологические карты и руководить персоналом I уровня.

3. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН (105 часов: 35 + 70)

№	Тема	Часы
1	Основы НК и материаловедение	8
2	Физические основы ультразвукового контроля	12
3	Методы акустического контроля	8
4	Ультразвуковые дефектоскопы и преобразователи	10
5	Настройка оборудования и стандартные образцы	8
6	Технология ультразвукового контроля	14
7	Нормативная база и оценка результатов	6
8	Настройка дефектоскопа и работа с образцами	16
9	Контроль сварных соединений и труб	12
10	Разработка технологических карт и заключений	7
11	Предэкзаменационная подготовка	4
Всего		105

4. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ

Тема 1. Основы НК и материаловедение (8 ч)

1.1. Введение в ультразвуковой метод

Назначение УК в промышленности. Основные контролируемые объекты: сварные

соединения, поковки, отливки, листовой прокат, трубы, рельсы, бетон. Виды дефектов, выявляемых УК: трещины, непровары, несплавления, расслоения, раковины, флокены. Преимущества: высокая чувствительность к внутренним дефектам, односторонний доступ, оперативность, безопасность. Ограничения: сложность настройки, интерпретации сигналов, требования к подготовке поверхности.

1.2. Акустические свойства материалов

Скорость распространения продольных (сL) и поперечных (сТ) волн в различных средах: сталь (сL \approx 5900 м/с, сТ \approx 3250 м/с), алюминий (~6300 и 3100), оргстекло (~2700 и 1100), вода (~1500). Модуль упругости и плотность, их влияние на скорость. Затухание ультразвука: коэффициент затухания α (дБ/м), частотная зависимость. Связь затухания с размером зерна, структурой материала (аустенитные стали, чугун – высокое затухание). Анизотропия свойств в прокате и поковках.

1.3. Дефекты и их акустическая отражательная способность

Зависимость амплитуды эхо-сигнала от типа, размеров, ориентации и шероховатости несплошности. Модельные отражатели: плоскодонное отверстие (диск), сфера, цилиндр, угол. Связь реальных дефектов с моделями (трещина – дискообразный отражатель, пора – сфера). Влияние заполненности дефекта газом, жидкостью. Сравнение отражения от компактных и протяжённых дефектов.

1.4. Система аттестации персонала и безопасность

Требования СДАНК-02-2020 к специалистам I, II, III уровней по УК. Ответственность персонала II уровня за выбор методики, настройку, интерпретацию результатов, разработку инструкций. Безопасность при УК: низкие напряжения питания, отсутствие ионизирующего излучения; механические опасности при контроле на высоте, в замкнутых пространствах.

Тема 2. Физические основы ультразвукового контроля (12 ч)

2.1. Упругие колебания и волны

Гармонические колебания: амплитуда, частота f , период T , круговая частота ω . Продольные и поперечные волны: направление колебаний частиц относительно направления распространения. Уравнение волны, волновое число k , длина волны $\lambda = c/f$. Поверхностные волны Рэлея, волны Лэмба в пластинах, головные волны. Скорость волн в неограниченной среде и в пластинах.

2.2. Распространение ультразвуковых волн в средах

Звуковое давление, интенсивность. Затухание: поглощение (внутреннее трение, теплопроводность) и рассеяние (на границах зёрен, неоднородностях). Коэффициент затухания α , материал и частота ($\alpha \sim f$). Эффект дальнего поля: расхождение фронта, ослабление $\sim 1/r$ для сферической волны, $\sim 1/\sqrt{r}$ для цилиндрической.

2.3. Отражение и преломление на границе раздела

Нормальное падение: коэффициент отражения $R = (Z_2 - Z_1)/(Z_2 + Z_1)$, коэффициент прохождения $T = 2Z_2/(Z_2 + Z_1)$, где $Z = \rho \cdot c$ – акустический импеданс. Примеры: сталь–воздух ($R \approx 1$), сталь–вода ($R \approx 0,94$). Наклонное падение: закон Снеллиуса $\sin \beta / \sin \alpha = c_2 / c_1$. Критические углы: первый (продольная волна во второй среде скользит по поверхности), второй (поперечная волна скользит), третий (возникает поверхностная

волна). Трансформация волн: падающая продольная → отражённая и преломлённая продольная + поперечная.

2.4. Поле излучателя

Поршневой излучатель: ближняя зона (зона Френеля) длиной $N = D^2/4\lambda$ для круглого преобразователя. Распределение давления на оси (последний максимум, плавный спад). Дальняя зона (Фраунгофера): направленность, диаграмма направленности, угол расхождения $\sin \theta = 1,22 \lambda/D$. Поле наклонного преобразователя: трансформация в призме, эффективный угол ввода, акустическая ось.

Тема 3. Методы акустического контроля (8 ч)

3.1. Активные и пассивные методы

Активные методы: эхо-метод, теневой, зеркально-теневой, эхо-сквозной. Эхо-метод – основной: излучение коротких импульсов и приём отражённых сигналов от несплошностей. Измеряемые параметры: амплитуда, время пробега, координаты. Теневой метод – регистрация ослабления прошедшего сигнала. Преимущества и ограничения каждого.

3.2. Специальные методы

Дифракционно-временной метод (ТОFD) для точного определения высоты трещин. Фазированные решётки (РАУТ): управление фокусировкой и углом сканирования, визуализация секторов. Оценка толщины: резонансный метод, эхо-импульсный метод (толщиномеры). Иммерсионный контроль: в ванне или струёй, преимущества для автоматизированного контроля.

3.3. Способы акустического контакта

Контактный способ: смачивающая жидкость, гели, пасты. Требования к контактной среде: стабильные акустические свойства, смачивание, отсутствие коррозии. Иммерсионный способ. Щелевой способ. Контроль акустического контакта: по донному сигналу или специальной лампе.

Тема 4. Ультразвуковые дефектоскопы и преобразователи (10 ч)

4.1. Структура дефектоскопа

Генератор зондирующих импульсов (тиристорный, транзисторный). Приёмник с временной регулировкой чувствительности (ВРЧ), усилитель. Аналого-цифровой преобразователь, микропроцессор. Дисплей: развёртка типа А, В, С. Работа с цифровыми дефектоскопами: меню, калибровка, архивирование.

4.2. Преобразователи (ПЭП)

Пьезоэффект, материалы (кварц, титанат бария, ЦТС). Конструкция: пьезопластина, демпфер, протектор, призма. Прямые совмещённые и раздельно-совмещённые (РС). Наклонные (угол ввода 30°, 40°, 50°, 65°, 70°). Преобразователи с переменным углом. Фазированные решётки: многоэлементные ПЭП, управление фазами. Параметры: номинальная частота, эффективный диаметр, стрела, угол ввода, мёртвая зона.

Тема 5. Настройка оборудования и стандартные образцы (8 ч)

5.1. Стандартные образцы

СО-2 (металлический блок с отверстиями разной глубины), СО-3 (полукруг), КМД-2-0,

V1 (EN 12223), V2 (EN 27963). Их назначение: настройка скорости развёртки, проверка условной чувствительности, определение угла ввода и точки выхода, мёртвой зоны, разрешающей способности.

5.2. Процедуры настройки

Калибровка времени развёртки по известным толщинам. Определение угла ввода наклонного ПЭП (по отверстию на СО-2). Построение АРД (DAC) кривой по отражателям разной глубины. Настройка браковочной, контрольной и поисковой чувствительности (опорный уровень, добавление децибел). Проверка работоспособности дефектоскопа с помощью стандартного образца.

Тема 6. Технология ультразвукового контроля (14 ч)

6.1. Общие этапы контроля

Подготовка поверхности (зачистка, удаление отслаивающейся окалины). Выбор частоты и типа ПЭП в зависимости от толщины, материала и ожидаемых дефектов. Выбор схемы прозвучивания (прямым, однократно- или двукратно-отражённым лучом для сварных швов). Разметка зон. Сканирование (продольное, поперечное, круговое). Регистрация дефектов: координаты, амплитуда, условная протяжённость.

6.2. Контроль сварных соединений

Особенности контроля стыковых, угловых, нахлесточных швов. Прозвучивание корня шва, разделки, заполнения. Выявление трещин, непроваров, пор, включений. Определение глубины и высоты дефекта. Запись результатов.

6.3. Контроль поковок, отливок, листов, труб

Выбор частоты и способа ввода. Типичные дефекты (флокены, расслоения, ликвационные трещины). Толщинометрия: измерение толщины стенки при одностороннем доступе. Контроль на расслоение. Контроль труб: проходными и накладными преобразователями, автоматизированные системы.

6.4. Факторы, влияющие на достоверность

Влияние структуры (анизотропия, крупное зерно), шероховатости поверхности, кривизны. Ложные сигналы: от конструктивных элементов, отражения от границ, трансформация типов волн. Идентификация сигналов: оценка по форме импульса, координатам, изменению амплитуды при поджатии.

Тема 7. Нормативная база и оценка результатов (6 ч)

7.1. Основные стандарты

ГОСТ Р 56542-2019 (классификация), ГОСТ 14782-86 (сварные соединения, ультразвук; исторический, действует), ГОСТ 20414-82 (общие положения акустических методов), ГОСТ 17410-2022 (трубы), ГОСТ 12503-75 (сталь), ГОСТ 23049-84 (дефектоскопы). Отраслевые нормы (РД 34.17.302, СТО Газпром и др.).

7.2. Критерии приёмки

Допустимые размеры дефектов в зависимости от категории шва. Оценка по эквивалентной площади и условной протяжённости. Учёт количества дефектов на единицу длины. Оформление заключений о годности, ремонтпригодности, необходимости дообследования другими методами.

Тема 8. Настройка дефектоскопа и работа с образцами (16 ч)

Цель: освоить калибровку ультразвукового дефектоскопа, настройку чувствительности и проведение контроля на стандартных образцах.

Оборудование: цифровой ультразвуковой дефектоскоп (например, УД-4Т, Erosch 650), набор прямых и наклонных ПЭП (2,5 МГц, 5 МГц), контактная жидкость (гель, масло), стандартные образцы СО-2, СО-3, мерный образец с плоскодонными отверстиями, линейка.

Порядок:

1. Подключение и проверка работоспособности прибора.
2. Настройка скоростей развертки по СО-2 для прямого ПЭП (по донным сигналам).
3. Проверка условной чувствительности, мёртвой зоны.
4. Настройка наклонного ПЭП: определение точки выхода, угла ввода по отверстию в СО-2.
5. Построение АРД (DAC) для наклонного ПЭП по отверстиям разной глубины.
6. Настройка браковочной чувствительности (например, уровень –6 дБ от АРД).
7. Контроль мерного образца с плоскодонными отверстиями, запись результатов.
8. Оценка погрешности глубиномера.

Тема 9. Контроль сварных соединений и труб (12 ч)

Цель: выполнить ультразвуковой контроль реальных сварных швов и трубных образцов, научиться выявлять и оценивать дефекты.

Оборудование: дефектоскоп, наклонные ПЭП (50°, 65°, 70°), контактная жидкость, образцы сварных стыковых и угловых швов с естественными и искусственными дефектами, трубные образцы, линейка, шаблон сварщика, бланки протоколов.

Порядок:

1. Очистка и подготовка поверхности шва и околошовной зоны.
2. Выбор схемы прозвучивания (прямым/отражённым лучом).
3. Настройка чувствительности по стандартному образцу с учётом затухания в объекте.
4. Сканирование шва поперечными и продольными перемещениями ПЭП.
5. Для каждого обнаруженного дефекта: определение координат (глубина, расстояние от шва), амплитуды эхо-сигнала, условной протяжённости (методом 6 дБ или 20 дБ).
6. Идентификация дефекта по характеру сигнала.
7. Заполнение протокола и заключения.

Тема 10. Разработка технологических карт и заключений (7 ч)

Цель: научиться составлять технологические карты УК и выполнять инспекционный контроль.

Задание: каждый слушатель разрабатывает технологическую карту контроля для конкретного объекта (стыковой шов трубопровода, поковка, лист). Карта должна включать: тип и частоту ПЭП, схему прозвучивания, уровни чувствительности, нормы оценки. Затем выполняется контроль по карте другим слушателем, а автор карты

проводит инспекционную проверку. Оформляется заключение по результатам контроля.

Итог: каждый слушатель сдаёт оформленную технологическую карту и протокол контроля.

Тема 11. Предэкзаменационная подготовка (4 ч)

Цель: систематизировать знания и подготовиться к квалификационному экзамену.

Содержание:

- Повторение физических основ.
- Решение тестов (общий и специальный экзамены).
- Пробное практическое задание: контроль образца с неизвестными дефектами за ограниченное время.
- Индивидуальные консультации, анализ ошибок.

5. НОРМАТИВНАЯ БАЗА

- ГОСТ Р 56542-2019. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.
- ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
- ГОСТ 17410-2022. Трубы металлические бесшовные цилиндрические. Методы ультразвуковой дефектоскопии.
- ГОСТ 20414-82. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения.
- ГОСТ 23049-84. Дефектоскопы ультразвуковые. Основные параметры и методы их измерения.
- ГОСТ Р 55809-2013. Дефектоскопы ультразвуковые. Методы измерения основных параметров.
- ГОСТ 23702-90, ГОСТ 23829-85, ГОСТ 26266-90.