



ПМК-УРАЛ

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «ПМК-Урал»



А.А. Зобнина

2026 г.

ПРОГРАММА

повышения квалификации по вибродиагностическому методу
неразрушающего контроля

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

г. Пермь, 2026

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа охватывает теоретические и практические аспекты вибродиагностики машин и механизмов. Слушатели освоят методы регистрации и анализа вибрационных сигналов, научатся выявлять типовые неисправности (дисбаланс, расцентровка, дефекты подшипников и др.) и формировать диагностические отчёты. Подготовка ведётся с учётом требований СДАНК-02-2020.

2. ЦЕЛЬ

Подготовить специалистов, способных самостоятельно выполнять виброобследование, интерпретировать спектры и временные реализации, оценивать техническое состояние оборудования и выдавать рекомендации по ремонту.

3. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

| № п/п | Наименование темы | Количество часов |
|--------------|---|------------------|
| 1 | Базовые понятия НК и технический мониторинг | 8 |
| 2 | Природа вибрации и её параметры | 8 |
| 3 | Математическое описание вибросигнала | 8 |
| 4 | Спектральный анализ и его диагностические возможности | 10 |
| 5 | Датчики, спектроанализаторы и требования к ним | 10 |
| 6 | Алгоритмы спектральной диагностики и экспертные системы | 10 |
| 7 | Диагностика дефектов роторных машин | 10 |
| 8 | Нормативное обеспечение вибродиагностики | 4 |
| 9 | Установка датчиков, снятие временных реализаций | 6 |
| 10 | Обработка сигналов, построение спектров, определение частот | 10 |
| 11 | Диагностирование типовых дефектов по учебным стендам | 12 |
| 12 | Комплексное обследование агрегата с составлением отчёта | 20 |
| 13 | Предэкзаменационная подготовка и тестирование | 4 |
| Всего | | 120 |

4. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ

Тема 1. Базовые понятия неразрушающего контроля и технический мониторинг (8 часов)

Назначение и классификация методов неразрушающего контроля. Место вибродиагностики в структуре НК: активные и пассивные методы, преимущества постоянного мониторинга. Концепция обслуживания оборудования по фактическому состоянию. Понятие технического диагностирования и мониторинга. Система планово-предупредительных ремонтов и переход к проактивному обслуживанию. Основные термины и определения: техническое состояние, дефект, неисправность, диагностический признак, параметр состояния. Метрологическое обеспечение виброизмерений: прослеживаемость, поверка датчиков и анализаторов. Требования промышленной безопасности к виброконтролю оборудования, поднадзорного Ростехнадзору. Электробезопасность и охрана труда при работе с виброаппаратурой.

Тема 2. Природа вибрации и её параметры (8 часов)

Колебательные процессы в механических системах. Свободные и вынужденные колебания. Виброперемещение, виброскорость, виброускорение: определения, единицы измерения, взаимосвязь. Гармонические и полигармонические колебания. Понятие частоты, периода, амплитуды, фазы. Механический импеданс и податливость. Резонанс и критические частоты роторов. Собственные и вынужденные частоты конструкций. Влияние жёсткости, массы и демпфирования на вибрационные характеристики. Преобразование механических колебаний в электрический сигнал: принцип действия пьезоэлектрических, электродинамических и вихретоковых датчиков. Выбор измеряемого параметра в зависимости от типа оборудования и частотного диапазона.

Тема 3. Математическое описание вибросигнала (8 часов)

Временная реализация вибросигнала. Аналого-цифровое преобразование: частота дискретизации, теорема Котельникова, разрядность АЦП. Временные окна (прямоугольное, Ханна, Хэмминга, Блэкмана), их влияние на спектр. Утечка спектра и способы её уменьшения. Понятие о быстром преобразовании Фурье (БПФ). Спектр огибающей: метод выделения модулирующих частот, квадратурная обработка, полосовая фильтрация. Кепстральный анализ: определение периодичностей в спектре; диагностика зубчатых передач и подшипников качения. Основы модального анализа: собственные частоты, формы колебаний, демпфирование, построение передаточных функций. Понятие о вейвлет-преобразовании и его применении для нестационарных сигналов.

Тема 4. Спектральный анализ и его диагностические возможности (10 часов)

Спектр вибросигнала как основной диагностический инструмент. Гармоники обратной частоты, субгармоники, комбинационные частоты. Спектральные составляющие, порождаемые дефектами: дисбаланс, расцентровка, механические ослабления, дефекты муфт. Понятие порядков (order tracking) при переменной скорости вращения. Диагностические частоты подшипников качения: частота прохождения тел качения по наружному и внутреннему кольцу, сепараторная частота, частота заклинивания.

Особенности спектров зубчатых передач: частота зацепления, боковые полосы, локальные дефекты зуба. Лопаточные частоты насосов и вентиляторов. Электрические частоты: частота сети, частота скольжения, частота прохождения пазов. Практические примеры спектров с различными неисправностями.

Тема 5. Датчики, спектроанализаторы и требования к ним (10 часов)

Типы датчиков вибрации: пьезоэлектрические акселерометры (ICP и зарядовые), велосиметры, вихретоковые проксиметры. Технические характеристики: чувствительность, частотный диапазон, динамический диапазон, резонансная частота. Способы установки датчиков: резьбовая шпилька, магнит, щуп, клей. Влияние способа крепления на частотную характеристику. Сборщики данных и стационарные системы мониторинга: количество каналов, функции записи, разрешение, память. Программное обеспечение анализаторов: настройка полосы, число линий, усреднение, встроенные шаблоны. Требования к поверке и калибровке средств измерений. Критерии выбора прибора для конкретного парка оборудования.

Тема 6. Алгоритмы спектральной диагностики и экспертные системы (10 часов)

Методология анализа вибрации: от простого к сложному. Оценка общего уровня вибрации по ISO и ГОСТ. Пошаговый алгоритм идентификации неисправностей: выявление доминирующих частот, определение модуляции, анализ гармонических рядов. Правила распознавания дисбаланса (1× оборотная частота), расцентровки (2×, иногда 3×), ослабления (множество гармоник, нестабильность фазы), задеваний (субгармоники). Диагностика электрических дефектов по спектру тока и вибрации. Экспертные системы: базы знаний, автоматическое формирование заключений, примеры программных продуктов. Ограничения автоматической диагностики, необходимость верификации специалистом.

Тема 7. Диагностика дефектов роторных машин (10 часов)

Подробный обзор дефектов центробежных насосов, компрессоров, вентиляторов, электродвигателей. Дисбаланс: статический, моментный, динамический, тепловой. Расцентровка: параллельная, угловая, смешанная; влияние типа муфты. Изгиб вала: постоянный и температурный. Ослабления: фундаментные, крепёжные, посадочные. Дефекты подшипников качения: износ, раковины, перекос колец, дефекты сепаратора. Подшипники скольжения: повышенный зазор, масляная вибрация, подплавление баббита. Дефекты зубчатых передач: износ, выкрашивание, трещины зуба. Электромагнитные дефекты: эксцентриситет воздушного зазора, обрыв стержня ротора, межвитковое замыкание. Признаки гидродинамической и аэродинамической нестабильности.

Тема 8. Нормативное обеспечение вибродиагностики (4 часа)

Обзор государственных и международных стандартов: ГОСТ Р ИСО 7919 (измерения на вращающихся валах), ГОСТ Р ИСО 10816 (контроль по вибрации корпусных деталей), ГОСТ 31350 (вентиляторы), ГОСТ Р ИСО 18436-2 (сертификация персонала), ГОСТ Р ИСО 20806 (балансировка на месте). Отраслевые документы: РД-15-13-2008 (компрессорные установки), СТО Газпром, стандарты нефтехимических предприятий. Порядок

применения документов при составлении отчётов и заключений. Ответственность диагноста за достоверность результатов.

Тема 9. Установка датчиков, снятие временных реализаций (6 часов)

Практическое занятие. Подготовка поверхности под датчик. Выбор точки контроля на подшипниковых узлах согласно рекомендациям стандартов. Установка акселерометра магнитным держателем и на шпильку, сравнение получаемого сигнала. Подключение датчиков к сборщику, настройка параметров сбора (частота дискретизации, время записи). Снятие временных реализаций на нескольких режимах работы насосного агрегата. Проверка качества сигнала: отсутствие clipping, постоянной составляющей, помех. Сохранение записей в память прибора, проверка целостности данных.

Тема 10. Обработка сигналов, построение спектров, определение частот (10 часов)

Перенос записанных сигналов в компьютер. Использование программного обеспечения для построения спектров. Выбор параметров БПФ: число линий, тип окна, усреднение. Построение спектров огибающей для высокочастотных компонентов. Определение частот вращения роторов по спектральным пикам. Идентификация подшипниковых частот с помощью базы данных. Расчёт оборотной частоты, зубцовой частоты, лопаточной частоты. Сравнение спектров, полученных в разное время, выявление трендов. Построение каскадных спектров и диаграмм Найквиста для анализа переходных режимов.

Тема 11. Диагностирование типовых дефектов по учебным стендам (12 часов)

Работа на лабораторных стендах, имитирующих небаланс, расцентровку, ослабление креплений, дефекты подшипников. Самостоятельное снятие показаний и построение спектров. Сравнение спектров с эталонными образцами дефектов. Заполнение диагностических карт с указанием частотных пиков и предполагаемой причины. Групповой разбор результатов, обсуждение диагностических выводов. Формулирование рекомендаций по устранению дефектов (балансировка, центровка, замена подшипника). Документирование процесса диагностирования.

Тема 12. Комплексное обследование агрегата с составлением отчёта (20 часов)

Выполнение полного цикла виброконтроля на реальном или учебном агрегате (центробежный насос, вентилятор, компрессор). Включает:

- ознакомление с паспортом агрегата и режимом работы;
- планирование точек измерения и маршрута;
- проведение измерений на установившихся режимах и при пуске-останове;
- анализ трендов, сравнение с предыдущими данными;
- спектральный анализ, выявление аномалий;
- формирование заключения о техническом состоянии с оценкой остаточного ресурса;
- составление письменного отчёта по требованиям нормативной документации (ГОСТ Р ИСО 7919-1, НРБ и др.).

Для II уровня дополнительно: разработка методических указаний по виброконтролю для данного типа машин, инспекционная проверка работы персонала I уровня, защита отчёта перед комиссией.

Тема 13. Предэкзаменационная подготовка и тестирование (4 часа)

Повторение ключевых диагностических признаков неисправностей. Разбор ситуационных задач: по предоставленному спектру определить дефект. Тестирование в формате, приближенном к экзамену в аттестационном центре. Анализ допущенных ошибок, индивидуальные консультации. Оформление допуска к итоговой аттестации.

5. НОРМАТИВНАЯ БАЗА

- ГОСТ Р ИСО 7919-1-99, 7919-3-99, 7919-4-99 (вибрация вращающихся валов)
- ГОСТ 31350-2007 (вентиляторы)
- ГОСТ Р ИСО 18436-2-2015 (требования к персоналу по вибродиагностике)
- ГОСТ Р ИСО 10816-3-2002 (контроль состояния по вибрации; в курсе даётся информация о переходе на более новую версию при её официальном утверждении)
- ГОСТ Р ИСО 20806-2007 (балансировка на месте)
- РД-15-13-2008 (компрессорные установки)