

ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ

трубок теплообменных аппаратов

Методы, оборудование и практика применения на предприятиях промышленности

Химическая промышленность

Производство мин. удобрений

Нефтепереработка

Цементная промышленность

ООО «ЭТАЛОН» Инженерный центр

ИНН 1903018410 / КПП 1903010001 / ОГРН 1081903001058

+7 (495) 241-10-81 • info@ec-etalon.ru

107076, г. Москва, ул. Матросская Тишина, д. 23, стр. 1, под. 12, пом. XXVI

СОДЕРЖАНИЕ

- 01 Актуальность проблемы
- 02 Вихретоковый контроль в действии (фото)
- 03 Области применения по отраслям
- 04 Физические основы метода
- 05 Типы электромагнитных методов (ECT, RFT, NFT, MFL, LFET)
- 06 Выявляемые дефекты и чувствительность
- 07 Оборудование: Корсар-16К
- 08 Сравнение оборудования
- 09 Технология проведения контроля
- 10 Кейс: Холодильник-конденсатор (хим. промышленность)
- 11 Кейс: Теплообменник 471-AQ1 (цементная промышленность)
- 12 Кейсы: удобрения и нефтепереработка
- 13 Преимущества ВТК vs гидравлическое испытание
- 14 Нормативная база
- 15 Рекомендации по внедрению
- 16 Итог

01 АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Теплообменные аппараты — ключевой элемент

- Котлы-утилизаторы, кипятильники, подогреватели, конденсаторы, скрубберы
- Большая часть теплообменного оборудования в России имеет значительный износ
- Необходим контроль каждой трубы без разборки аппарата

Почему вихретоковый контроль?

- Невозможность визуального осмотра наружной поверхности труб
- Сканирование по всей длине с полной записью данных
- Высокая производительность: от 10 сек до 1 мин на трубку
- Рост применения: с 33 до 53 позиций за 3 года на одном предприятии

100 000+ м

труб проконтролировано
на АО «Апатит» (Фосагро)

300 трубок

забраковано по результатам
ВТК, все подтверждены

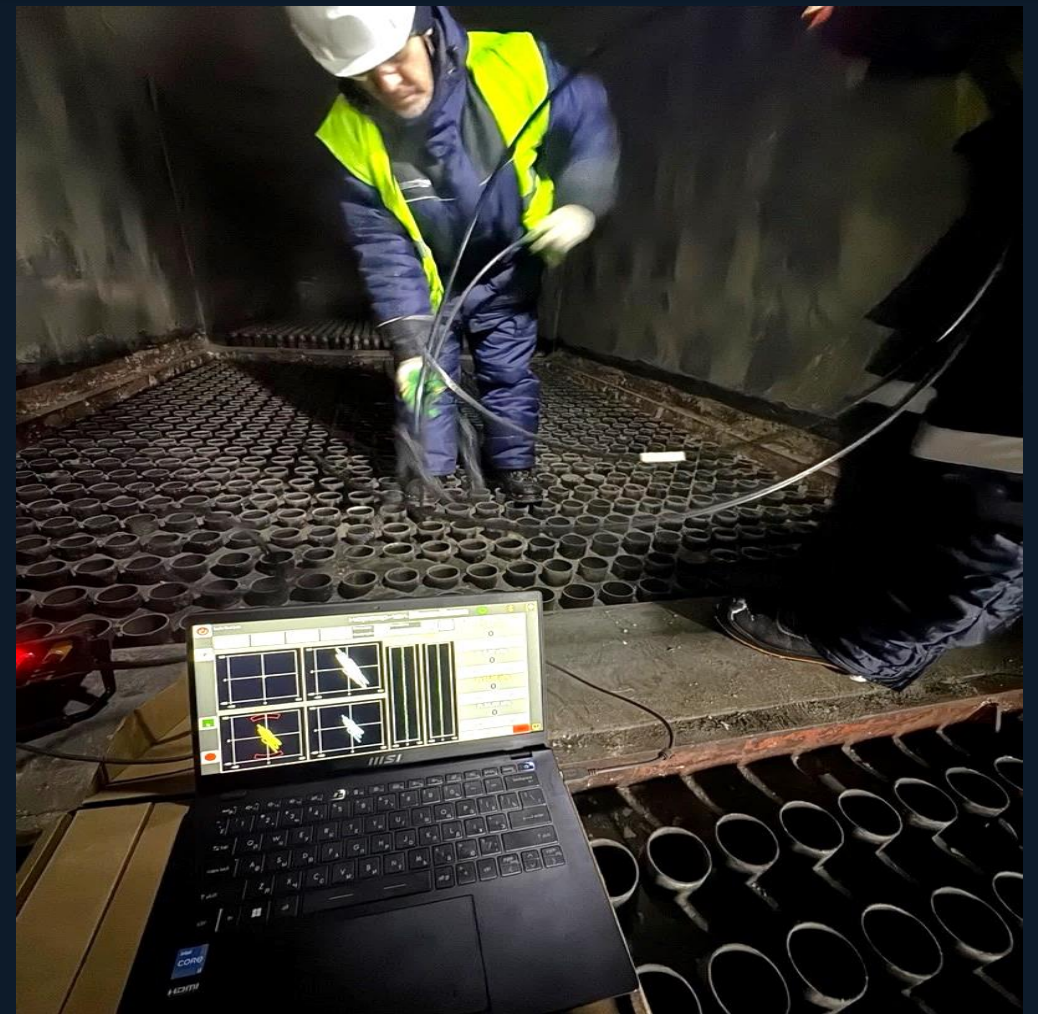
10 сек – 1 мин

время контроля
одной трубки

02 ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ В ДЕЙСТВИИ



Ввод преобразователя в трубку теплообменника



Процесс контроля трубного пучка с записью данных

03 ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПО ОТРАСЛЯМ

ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

- Серная, азотная кислота
- Конденсация нитрозных газов
- Утилизация промышленного тепла
- Холодильники-конденсаторы

МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

- АО «Апатит» (ГК «Фосагро»)
- 16 пучков — 100 000 м труб
- ~300 трубок заглушено
- Видеоэндоскопия

НЕФТЕ-ПЕРЕРАБОТКА

- Дистилляция, висбрекинг
- Гидроочистка, АВО
- АО «ТАИФ-НК»
- АО «РНПК»

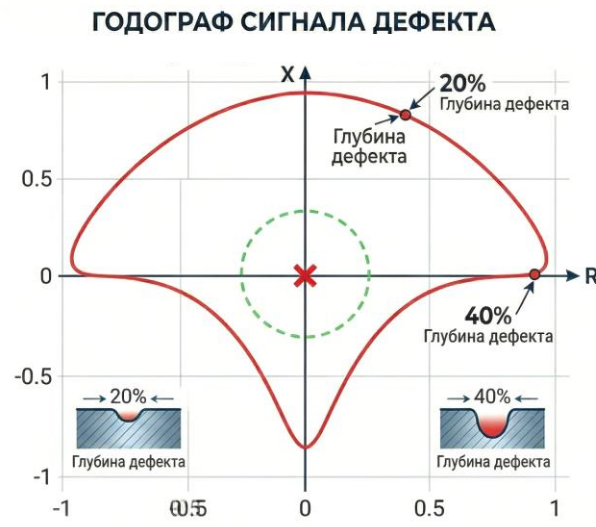
ЦЕМЕНТНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

- ООО «Холсим (Рус) СМ»
- Теплообменник 471-AQ1
- 2 700 труб, L=12 050 мм
- Обследовано 02.2026 г.

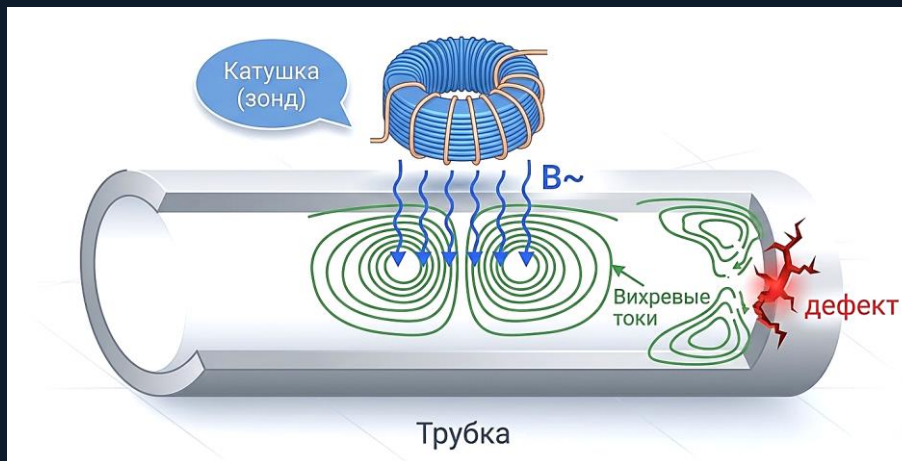


04 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА

ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ ТРУБ: ПРИНЦИП И АНАЛИЗ СИГНАЛОВ



ЛЕГЕНДА ■ Наружная стенка ■ Внутренняя стенка 🌀 Катушка зонда ➡ Вихревые токи ✗ Дефект ○ Без дефекта — Сигнал дефекта



Принцип действия:

1. Зонд создаёт переменное электромагнитное поле
2. Поле индуцирует вихревые токи в стенке трубы
3. Вихревые токи создают собственное магнитное поле
4. Дефект нарушает путь вихревых токов
5. Изменение импеданса регистрируется дефектоскопом

Ключевые параметры:

- Частоты: 9 – 30 000 Гц
- Чувствительность: от 10% толщины стенки
- Погрешность (наруж.): $\pm 10\%$
- Погрешность (внутр.): $\pm 15\%$
- Толщина стенки: 1 – 22 мм

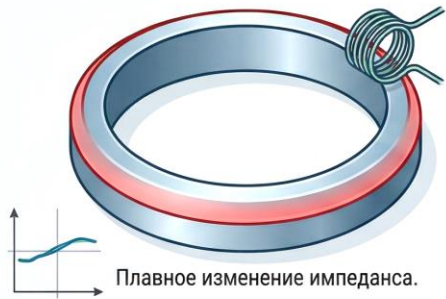
05 ТИПЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

Метод	Обозначение	Назначение	Материал труб
Вихретоковый	ECT	Нержавеющие и немагнитные трубы, 360° покрытие	Аустенит. стали, Cu, Ti, латунь
Удалённого поля	RFT	Ферромагнитные трубы, равная чувствительность ID/OD	Углеродистые стали
Ближнего поля	NFT	Оребрённые и дуплексные трубы	Дуплексные стали
Утечка магн. потока	MFL	С подмагничиванием, коррозия и эрозия	Ферромагнитные
Низкочастотный ЭМ	LFET	Контроль снаружи трубы, сквозные отверстия	Ферромагн. и нержав.

06 ТИПЫ ВЫЯВЛЯЕМЫХ ДЕФЕКТОВ

Вихретоковый Контроль: Типы Дефектов и Сигналы

Протяженное наружное утонение



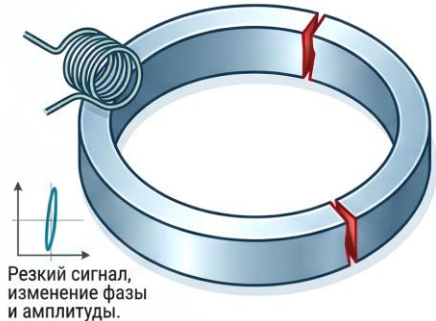
Локальные язвы (питтинг)



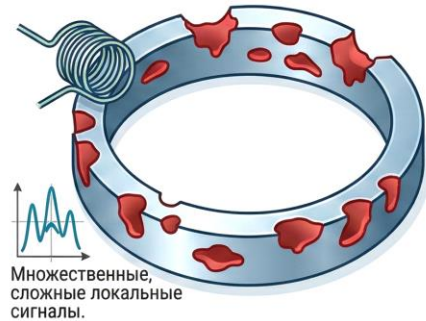
Внутреннее утонение



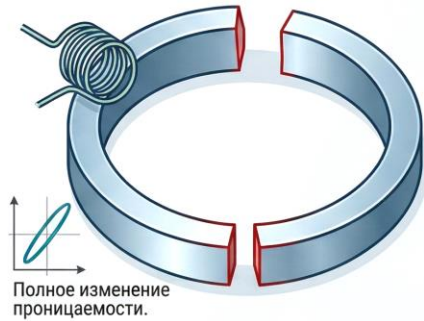
Трещина (МКК)



Питтинговая коррозия



Сквозное отверстие



Протяжённое наружное утонение

Основной тип — коррозия в межтрубном пространстве

Локальные язвы (питтинг)

На фоне утонения, глубина 40–90% стенки

Внутреннее утонение

Нарушение раскатки, механические повреждения

Трещины (МКК)

Межкристаллитная коррозия от 1 мкм раскрытия

Питтинговая коррозия

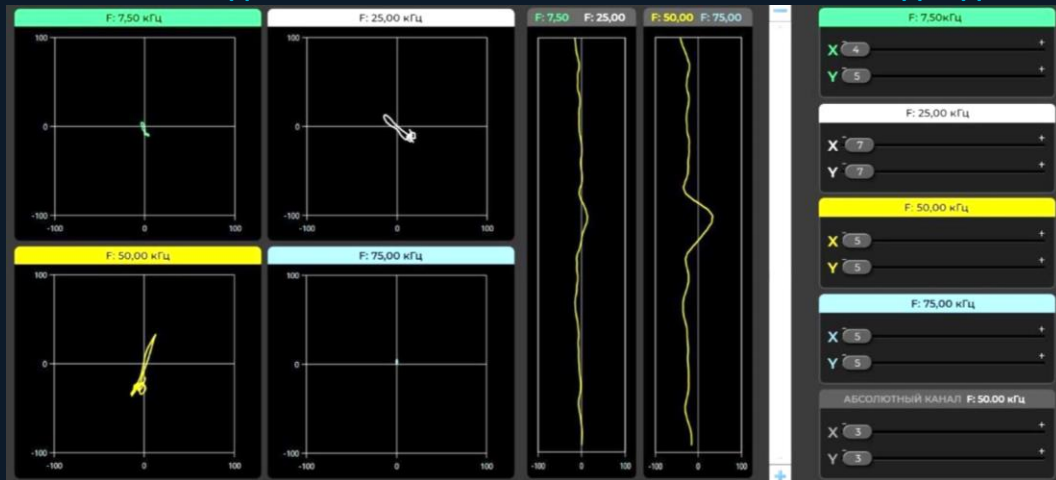
Точечные повреждения поверхности

Сквозные отверстия

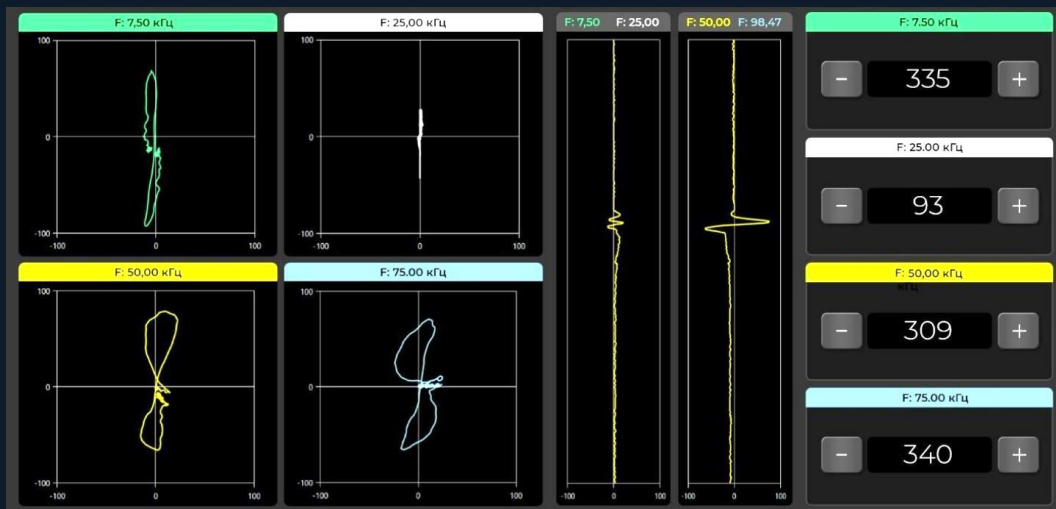
Критические дефекты — немедленное глушение

06-1 СТАТИСТИКА ДЕФЕКТОВ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

ТИПОВЫЕ СИГНАЛЫ ДЕФЕКТОСКОПА «КОРСАР-16К» ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ДЕФЕКТОВ



Критических дефектов не обнаружено



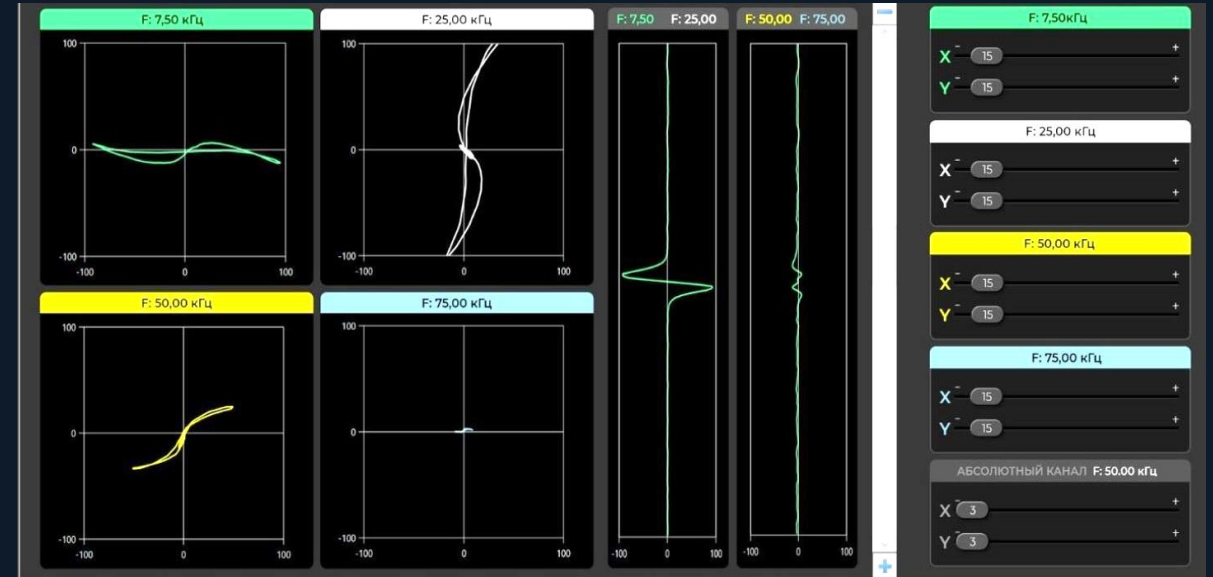
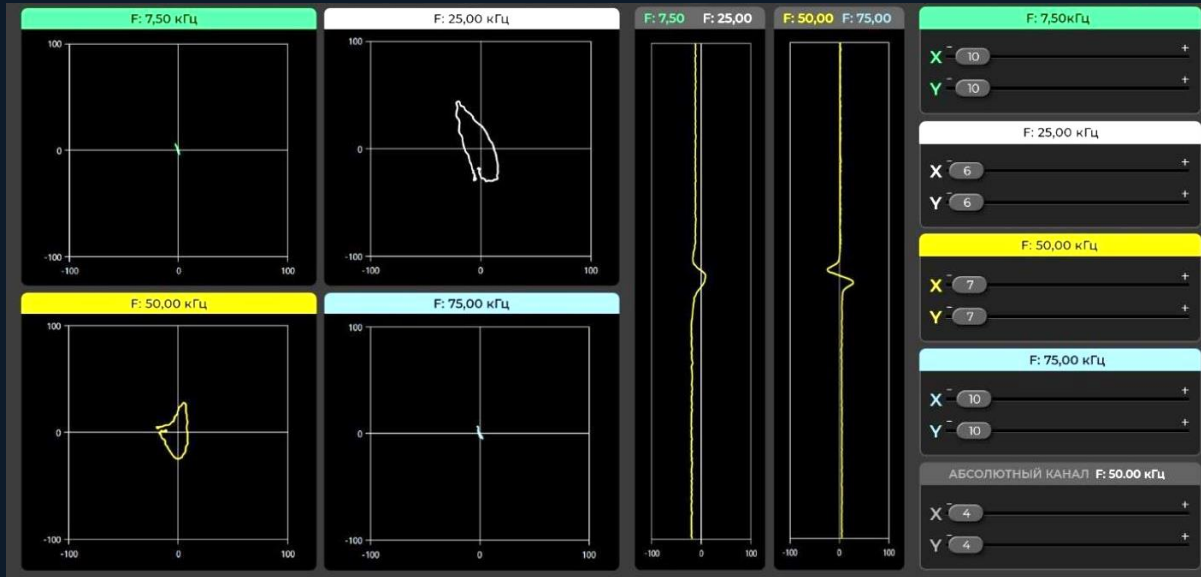
Сквозное отверстие d=1,6 мм

Тип дефекта	Мин. глубина	Погрешность
Наружное утонение стенки	≥ 10% толщины	± 10%
Внутреннее утонение стенки	≥ 10% толщины	± 15%
Малоразмерный (трещина, язва)	≥ 15% толщины	± 15%
Акустический	≥ 0,038 мм	—
Сквозное отверстие (LFET)	d = 1,6 мм	Подтверждено

Ограничения метода:

- Невозможность контроля сварных соединений (труба - трубная решетка) и околосварной зоны протяженностью до 20 мм
- Достоверность контроля в зоне вальцовки обеспечивается только при отсутствии механических повреждений (задиры) и наклепа
- Обязательное требование: предварительная очистка внутренней поверхности труб от твердых отложений (для свободного прохождения проходного преобразователя)
- Условие настройки: необходимость использования калибровочных (настроечных) образцов из сплава, идентичного материалу объекта контроля

06-1 СТАТИСТИКА ДЕФЕКТОВ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ (продолжение)



Внешняя трещина (глубина: 0,8 мм, раскрытие: 100 мкм)

Утонение стенки (потеря толщины) на 10–15% от номинальной



07 ДЕФЕКТОСКОП КОРСАР-16К



Корсар-16К: ноутбук с ПО дефектоскопии и трубная доска

ХАРАКТЕРИСТИКИ

Разработчик	ООО «АКА-Скан» (г. Москва)
Методы	ECT, RFT, NFT, MFL, LFET
Каналы	16
Частоты	3 – 30 000 Гц
Толщина стенки	1 – 22 мм
Время на трубку	10 сек – 1 мин
Связь	Bluetooth + RS232
Материалы	Ферромагнитные + нержавеющие
Поверхность	Загрязнённая, с покрытием
Исполнения	3 варианта
Сертификат	№88811-23, до 17.04.2028
Поверка	1 раз в год

07-1 ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ КОРСАР-16К

✓ ПРЕИМУЩЕСТВА

- Многочастотный контроль — высокая скорость
- Разделение внутренних и внешних дефектов
- Не требуется полная очистка труб
- Герметичные преобразователи из нержавеющей стали
- Хорошая повторяемость сигналов
- Малые габариты и вес (поясная сумка)
- 100% российская разработка и производство
- Адаптация ПО под требования заказчика

✗ ОГРАНИЧЕНИЯ

Внутритрубный контроль:

- Необходимость удаления твёрдых отложений
- Нет визуального подтверждения дефектов снаружи
- Чувствительность к свойствам материала

Контроль с внешней стороны (LFET):

- Скорость ограничена до 30 см/сек
- Требуется доп. УЗ-толщинометрия для уточнения



08 СРАВНЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Параметр	Корсар-16К	ПОЛИТЕСТ УВТП-4811	Acoustic Eye Dolphin G3
Производство	Россия (ООО «АКА-Скан»)	Россия	Израиль
Методы	ECT, RFT, NFT, MFL, LFET	Многочастотный ВТК	Акустический (APR)
Время на трубку	10 сек – 1 мин	—	~10 сек
Контроль снаружи	Да (LFET)	Нет	Нет
Диаметр труб	от 1 мм стенки	Индивидуальные зонды	6–105 мм ID
Макс. длина трубы	—	—	до 100 м
Геометрия труб	Прямые	Прямые	Прямые, U-образные, Г, спираль
Материал труб	Любой	Неферромагнитный	Любой
Расходные материалы	Не требуются	Не требуются	Не требуются

09 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ

01

ПОДГОТОВКА

Изучение документации на аппарат
Анализ предыдущих данных контроля
Подготовка и очистка поверхность
Калибровка по контрольным образцам



02

СБОР ДАННЫХ

Контроль со стороны трубной доски
Ввод преобразователя в трубу
Сканирование по всей длине
Запись сигналов в память



03

ОБРАБОТКА

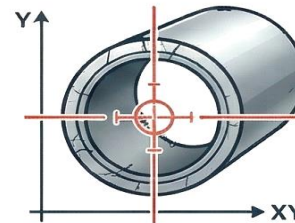
Просмотр массива данных
Выявление аномальных сигналов
Отсечение помех (опорные кольца)
Многочастотная фильтрация



04

АНАЛИЗ

Определение типа дефекта
Оценка глубины (% стенки)
Определение координат
Классификация ID/OD



05

ОТЧЁТ

Дефектная ведомость
Картограмма трубной доски
Рекомендации по глушению
Прогноз остаточного ресурса



01

ПОДГОТОВКА

- Изучение документации на аппарат
- Анализ предыдущих данных контроля
- Подготовка и очистка поверхности
- Калибровка по контрольным образцам

02

СБОР ДАННЫХ

- Контроль со стороны трубной доски
- Ввод преобразователя в трубу
- Сканирование по всей длине
- Запись сигналов в память

03

ОБРАБОТКА

- Просмотр массива данных
- Выявление аномальных сигналов
- Отсечение помех (опорные кольца)
- Многочастотная фильтрация

04

АНАЛИЗ

- Определение типа дефекта
- Оценка глубины (% стенки)
- Определение координат
- Классификация ID/OD

05

ОТЧЁТ

- Дефектная ведомость
- Картограмма трубной доски
- Рекомендации по глушению
- Прогноз остаточного ресурса

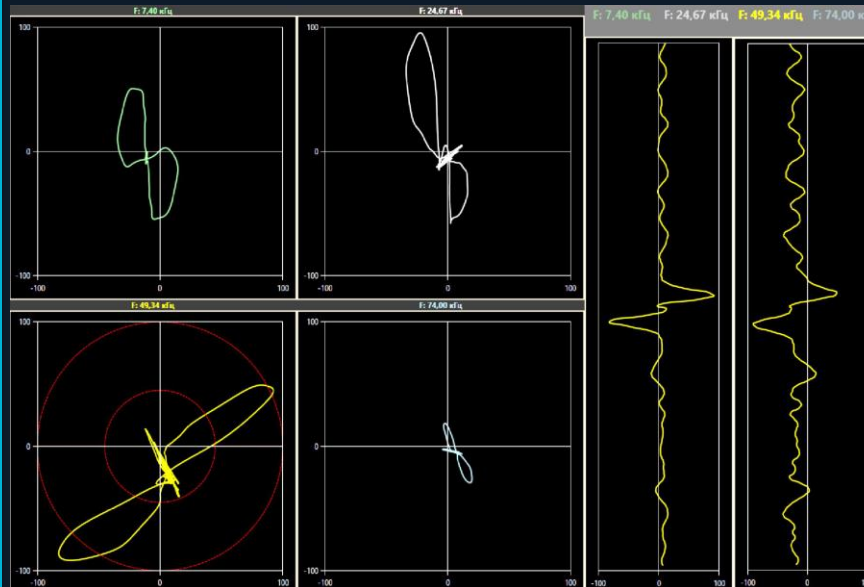
10 КЕЙС: ХОЛОДИЛЬНИК-КОНДЕНСАТОР (ХИМ. ПРОМ.)

Объект: Холодильник-конденсатор NEN-WL-15,53-23005763

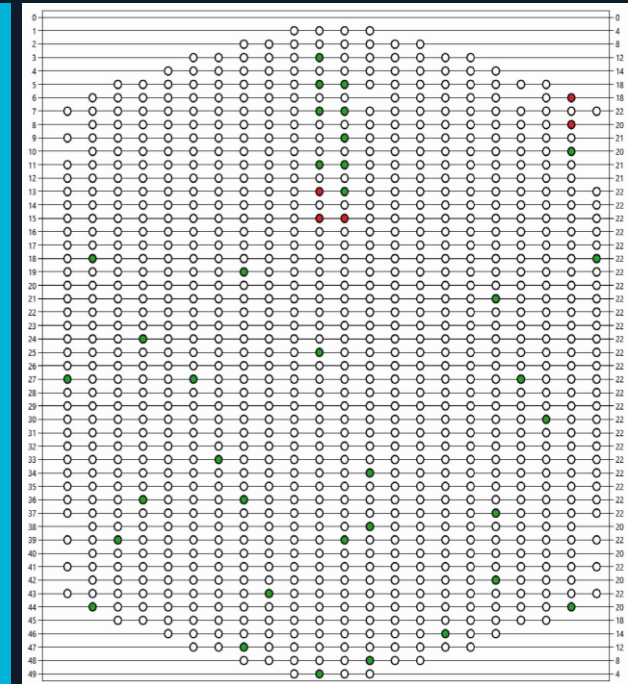
- Заказчик: АО «Апатит»
- Исполнитель: ООО «Эталон»
- Дата контроля: 20.05.2025 г.
- Производство слабой азотной кислоты
- Сталь 12X18Н10Т, 4 090 труб (2 352 обследовано)
- Оборудование: Корсар-16К, Notebook

Результаты:

- 988 труб с дефектами различной глубины
- 24 трубы — 90%, 21 — 80%, 27 — 70%
- Обязательное глушение: 72 трубы (70–90%)
- Желательное глушение: 79 труб (50–60%)
- Повторное обследование через 1 год



Протокол компьютерной обработки данных
вихретокового обследования теплообменных труб
холодильника с наиболее характерными индикациями



Условные обозначения:

- Белый – дефекты отсутствуют;
- Зеленый – утонение стенки 10-20%;
- Красный – утонение стенки 20-40%;
- Фиолетовый – утонение стенки 40-60%;
- Голубой – трещина/износ более 90%;
- Черный – труба непроходима (засор).

11 КЕЙС: ТЕПЛООБМЕННИК 471-AQ1 (ЦЕМЕНТНАЯ ПРОМ.)

Теплообменник воздух-воздух 471-AQ1

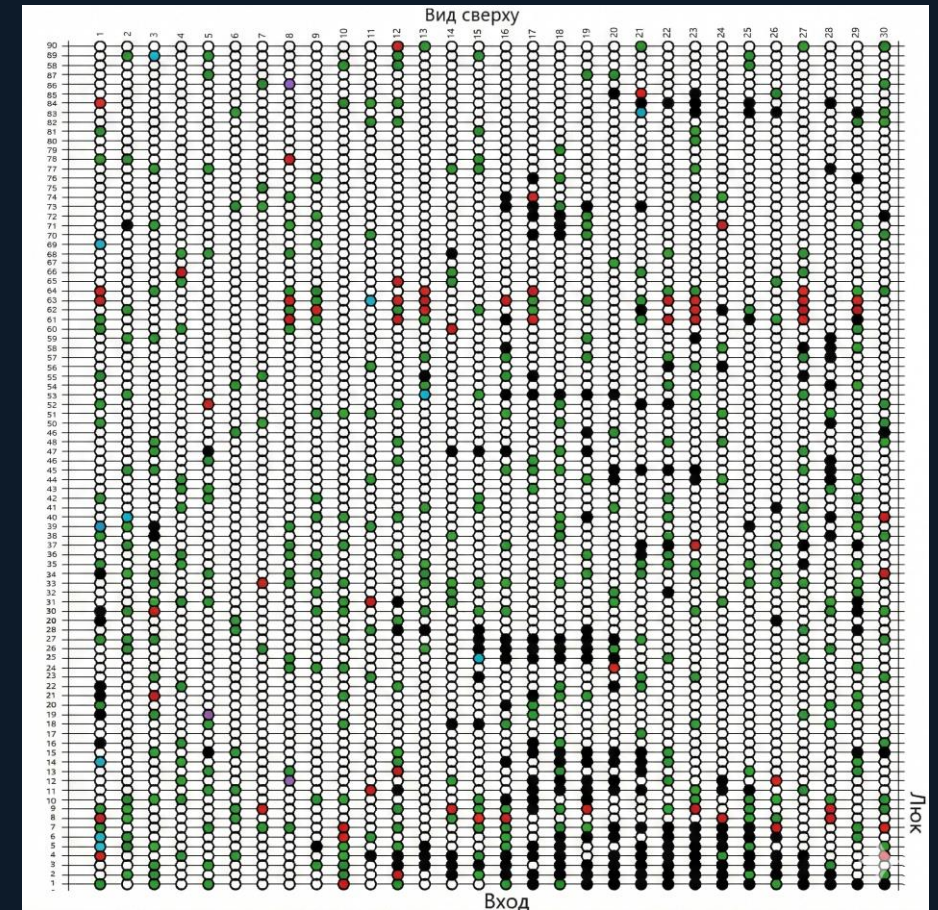
- Заказчик: ООО «Холсим (Рус) СМ», г. Коломна
- Исполнитель: ООО «Эталон»
- Дата контроля: 02.02.2026 г.
- 2 700 труб, 129 рядов, 129 заглушено ранее
- L=12 050 мм, D=76,2 мм, s=2,9 мм
- Оборудование: Корсар-16К, преобразователь КОРКОП

Результаты:

- 396 труб (10–20%) — мониторинг
- 63 трубы (20–40%) — желательный ремонт
- 3 трубы (40–60%) — желательное глушение
- 97 труб — нет проходимости → глушение
- 11 труб — обязательное глушение

Условные обозначения:

- Белый — дефекты отсутствуют;
- Зеленый — утонение стенки 10-20%;
- Красный — утонение стенки 20-40%;
- Фиолетовый — утонение стенки 40-60%;
- Голубой — трещина/износ более 90%;
- Черный — труба непроходима (засор).



Состояние: **УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ**

12 КЕЙСЫ: УДОБРЕНИЯ И НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА

АО «Апатит» (ГК «Фосагро»)

Холодильник NEN-WL-15,53, поз. Т-2

- 955 труб, SA-213 TP316Ti
- D=19,05 мм, s=1,65 мм, L=9 000 мм
- 41 труба с дефектами $\geq 20\%$
- 5 труб (40–50%), 36 труб (20–40%)
- К обязательному глушению: 0 труб

Масштаб: 16 пучков, ~100 000 м труб

~300 трубок забраковано, все подтверждены видеоэндоскопом

АО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания» (РНПК)

Теплообменник Т-87 АВТ2

- Трубы 25×2 мм, сталь 12Х18Н10Т
- Внутри — гудрон, полевые условия
- Критических дефектов не обнаружено
- Преобразователь «доочищал» трубы от отложений

13 ВТК vs ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ

Критерий	Вихретоковый контроль	Гидроиспытание
Результат	Полная картина: тип, глубина, координаты каждого дефекта	Только факт наличия или отсутствия течи
Прогноз	Прогнозирование остаточного ресурса	Нет данных для прогноза оставшегося срока службы
Мониторинг	Динамика роста дефектов при повторных обследованиях	Невозможно отслеживать развитие дефектов
Площадь теплообмена	Селективное глушение — сохранение рабочей площади	Риск потери площади из-за «лишних» глушений
Производительность	До сотен труб за смену с полной записью данных	Значительные затраты времени и ресурсов
Гарантия	Выявление всех дефектов $\geq 10\%$ толщины стенки	Нет гарантии от последующих утечек

14 НОРМАТИВНАЯ БАЗА

Документ	Содержание
ГОСТ Р ИСО 12718-2009	Контроль неразрушающий. Контроль вихретоковый. Термины и определения
ГОСТ Р ИСО 15549-2009	Контроль неразрушающий. Контроль вихретоковый. Основные положения
ГОСТ Р 55611-2013	Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения
РД-13-03-2006	Методические рекомендации о порядке проведения вихретокового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах
СТО 00151526-006-2022	Сосуды и аппараты нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. Требования к надзору во время эксплуатации, проведению технического освидетельствования и отбраковке

Требования к организации:

- Лицензия Ростехнадзора на экспертизу промышленной безопасности
- Свидетельство об аттестации лаборатории неразрушающего контроля
- Специалисты не ниже II уровня квалификации по вихретоковому контролю

15 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВНЕДРЕНИЮ

01

ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ

ВТК нового оборудования до ввода в эксплуатацию

02

ПЛАНОВЫЙ КОНТРОЛЬ

Обследование всех труб при капитальном ремонте

03

МОНИТОРИНГ

Повторное обследование через 1 год — контроль динамики дефектов

04

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ

Видеоэндоскопия обнаруженных дефектов (JPROBE LXP 140-3000)

05

ГИДРООПРЕССОВКА

После глушения дефектных труб — гидравлическое испытание

Глубина дефекта	Рекомендуемые действия
0–20%	Эксплуатация, мониторинг
20–40%	Желательный ремонт
40–60%	Желательное глушение
60–70%	Рекомендовано глушение
70–90%+	Обязательное глушение
Нет проходимости	Обязательное глушение

ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ

Вихретоковый контроль — быстрый и информативный инструмент диагностики трубок теплообменников.

Эффективность обеспечивается правильной подготовкой, подбором зондов и качественной интерпретацией.

Надёжность. Точность. Безопасность.

- ✓ Выявление дефектов от 10% толщины стенки с погрешностью $\pm 10-15\%$
- ✓ Контроль одной трубки за 10 секунд – 1 минуту
- ✓ 5 методов контроля: ECT, RFT, NFT, MFL, LFET
- ✓ Полностью российское оборудование и технологии
- ✓ Подтверждённый опыт: более 100 000 метров труб


Спасибо за внимание

Готовы обсудить ваш проект

Оперативный выезд специалистов по всей России

ООО «ЭТАЛОН» • Инженерный центр

 +7 (495) 241-10-81

 info@ec-etalon.ru

www.ec-etalon.ru