НИЦ "НЕМЕТАЛЛ"

Диагностика полимерно-армированных труб различными методами

Докладчик: начальник отдела испытаний,
диагностики и мониторинга
к.т.н., Богатов Максим Валерьевич

Самара, сентябрь 2026 г.

Проблематика

Существенной проблемой в эксплуатации полимерно-армированных труб (ПАТ) является **прогнозирование их ресурса**. Если с металлическими трубопроводами существуют проверенные и действенные методы, то в данной области пока имеется существенный пробел.





В процессе эксплуатации ПАТ происходит **деградация материала**. Для допуска к повторному использованию необходимо исследование **разрушающими, либо другими методами диагностирования**.

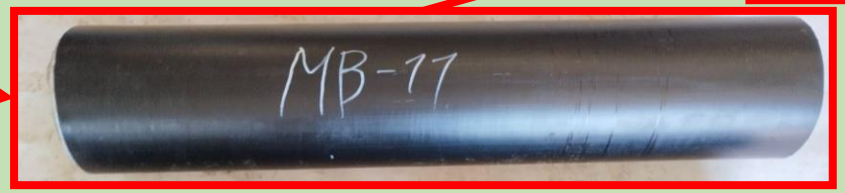
Алгоритм оценки ресурса разрушающим методом

Шаг 1. Извлечение (демонтаж ПАТ) объекта из системы трубопроводного транспорта

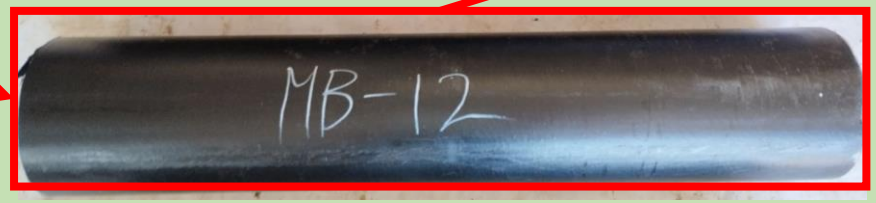
Шаг 2. Подготовка образцов для проведения испытаний (опрессовка фитингами)

Шаг 3. Проведение гидроиспытаний на исследуемом объекте ПАТ для определения дальнейшего ресурса











Минусы:

- демонтаж и извлечение трубы из действующего трубопровода;
- установка дополнительной секции в трубопровод;
- при демонтаже необходимо прекратить транспортировку углеводородного сырья (влечет за собой потерю прибыли и простой транспортировки).

Оценка применимости существующих методов неразрушающего контроля для разработки методики диагностики технического состояния трубопровода ПАТ несвязной конструкции

Этап 1
Лабораторные исследования методов диагностики

Этап 2
Исследование методов диагностики в условиях эксплуатации

Этап 3
Диагностика опытных образцов после эксплуатации

Этап 4
Подготовка проекта методики диагностики

Этап 1 Лабораторные исследования методов диагностики

На испытания в ООО «НИЦ «НЕМЕТАЛЛ» были предоставлены образцы ГПАТ КТС-140/180-6,3 по ТУ 22.21.21-127-32990936-2022 с фитингами под приварку в количестве 30 штук для выполнения комплекса испытаний по диагностики технического состояния различными методами контроля.

Исследование 30 образцов выбранными методами в исходном виде

↓

Нанесение дефектов (имитирующие СМР) и сравнение характеристик до/после воздействия

↓

Анализ полученных результатов, переход к этапу 2



Этап 1 Лабораторные исследования методов диагностики

АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ



Опыт применения при неразрушающем контроле стеклопластиковых труб

ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ



Опыт применения при неразрушающем контроле жестких полимерно армированных труб

Этап 1 Лабораторные исследования методов диагностики

Для дальнейшего проведения испытаний по различным диагностическим методам были **нанесены дефекты** моделирующие повреждение в процессе эксплуатации, либо при строительно-монтажных работах (СМР).

- **надрез** продольный защитного слоя длиной **100 мм** на всю толщину слоя, под углом 55° по направлению намотки;

- **надрез** продольный защитного слоя длиной **200 мм** на всю толщину слоя, под углом 55° по направлению намотки;

- **надрез** продольный защитного слоя длиной **300** мм на всю толщину слоя, под углом 55° по направлению намотки;



- залом образца на **угол 30°**;

- залом образца на **угол 40°**;

- залом образца на **угол 50°**;



- удар падающим грузом **массой 100 кг** (бетонный блок)



Этап 1 Лабораторные исследования методов диагностики

Применение **виброакустического метода** контроля после нанесения наружных искусственных дефектов

1. Виброакустическая волна при прохождении через один образец **незначительно отличается от прохождения по телу другого образца** как во временной реализации, так и в частотном спектре.

2. На образцах с дефектами **коэффициенты затухания импульса выше** по длине трубы и растут с величиной дефекта.

3. Величина фазового смещения по длине образцов растет с величиной дефекта.

4. **Волновой метод чувствителен в реализации измерений** в изменениях волнового поля при наличии дефекта в образце.

Испытания ПАТ **акустико-эмиссионным методом** после нанесения наружных искусственных дефектов

Метод АЭ-контроля способен эффективно предсказывать **момент разрушения объекта**. При приближении нагрузки к моменту разрушения начинают возрастать по экспоненте **активность импульсов АЭ** с возрастанием амплитуды сигнала. Прямо перед разрушением образцов ПАТ активность и амплитуда резко падают, при этом возрастает длительность.

По результатам анализа данных повторного **АЭ-контроля** образцов ГПАТ с нанесенными дефектами установлено, что **дефекты**, нанесенные на образцы ГПАТ, как правило, **не повлияли** в значительной степени **на их прочностные свойства**.

Этап 1 Лабораторные исследования методов диагностики

Вывод по вибро-акустическому методу

- Данный **метод достаточно чувствителен к любым изменениям в структуре конструктивных параметров исследуемых объектов, в том числе и наличию дефектов**.
- Любое отклонение в плотности материала элементов образца, наличие дефектов приводит **к существенным отличиям в амплитудно-частотной реализации прохождения виброакустической волны**, тем самым по возможности анализа изменения частотных характеристик определяется чувствительность в методе.

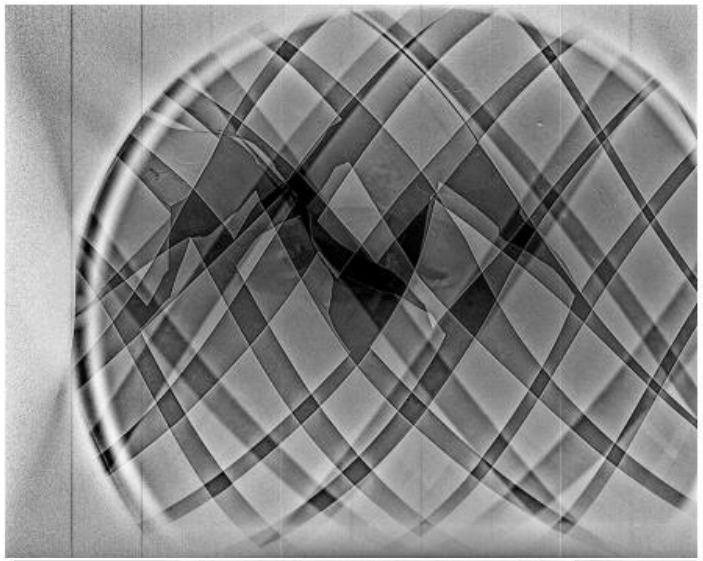
Вывод по акустико-эмиссионному методу

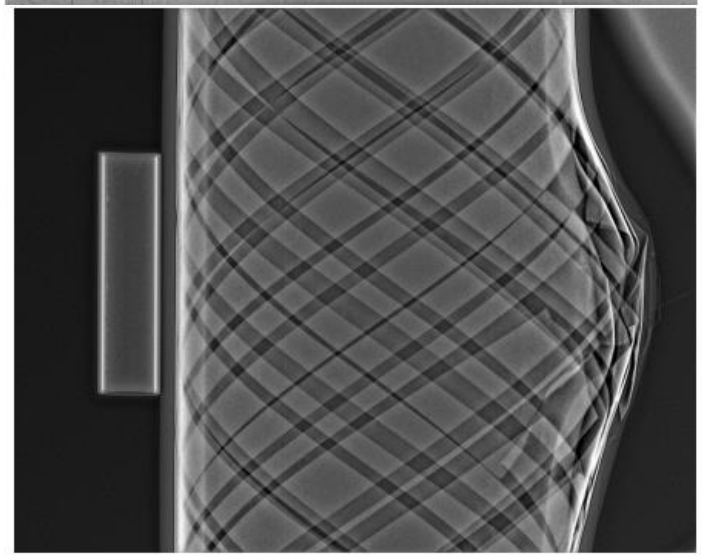
На основании проведенного АЭ-контроля образцов сделано **заключение о** принципиальной **применимости метода**. Параметры сигналов, зарегистрированных при разрушении образцов позволяют **установить момент их разрушения**. Поэтому **рекомендуется** провести **дополнительные** исследования затухания и скоростей распространения сигналов АЭ в протяженных образцах ПАТ.

В эксплуатации разрушение ПАТ чаще всего связано с коррозией армирующего слоя. Искусственно заложить такой дефект крайне затруднительно. Поэтому **рекомендуется** в предоставляемые образцы добавить участки трубопровода, **бывшие в эксплуатации** и имеющие **коррозионные повреждения** армирующего слоя, чтобы изучить на них характер акустико-эмиссионных параметров при разрушении.

Этап 2 Исследование методов диагностики в условиях эксплуатации

Цифровая радиография



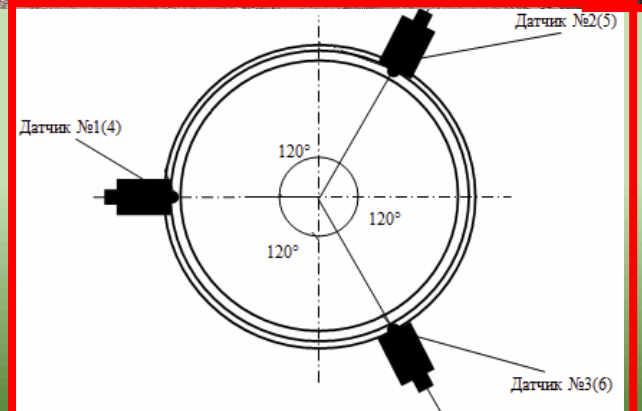




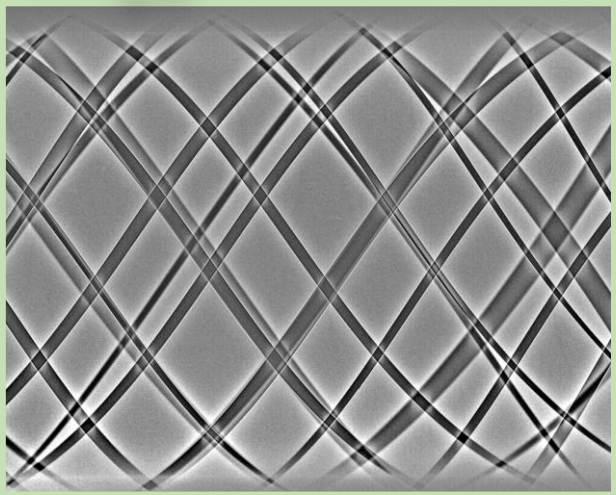


Виброакустический метод

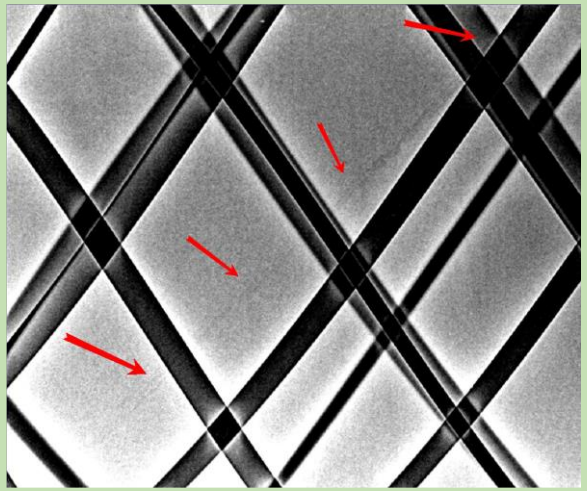




Опытно-промысловые испытания с помощью метода ЦР



Изображение бездефектного участка ПАТ с металлической армировкой



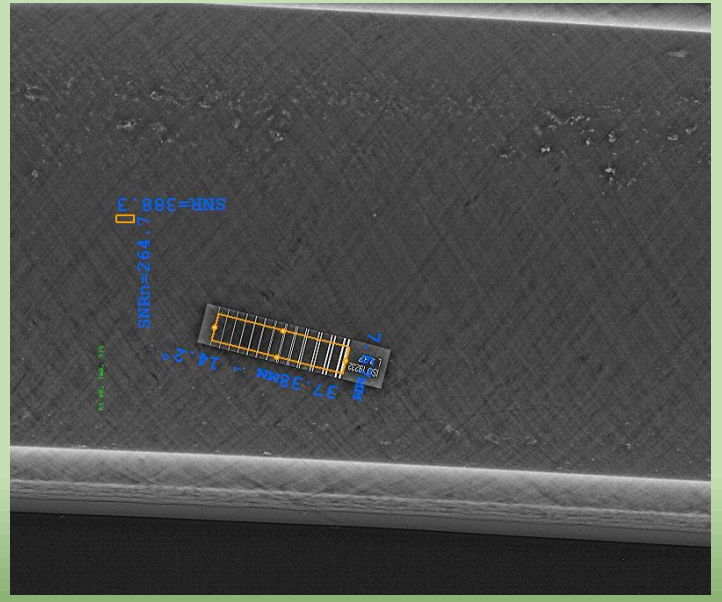
Изображение ПАТ с нанесенным дефектом металлическая армировка



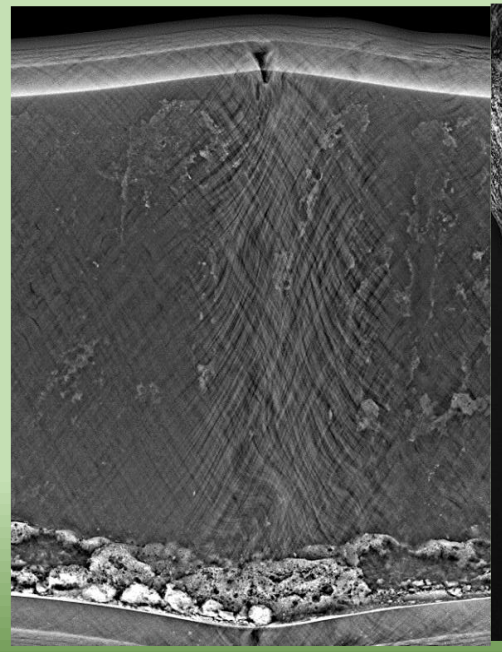
Прибор «Цифракон 2532» с оборудованием для обработки «Дисофт»

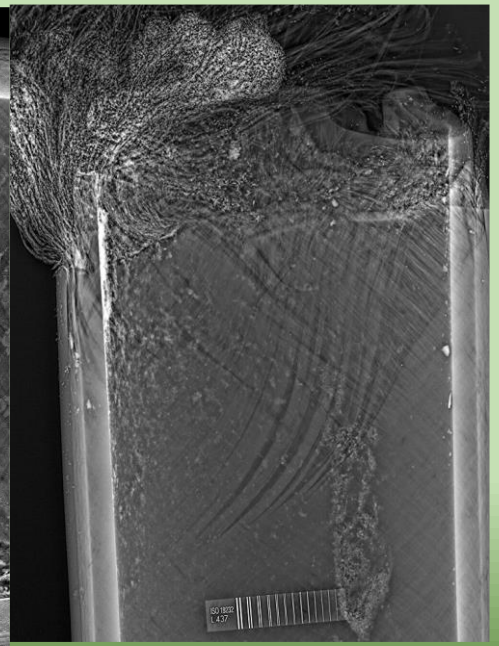






Изображения бездефектного участка ПАТ с неметаллическим армированием



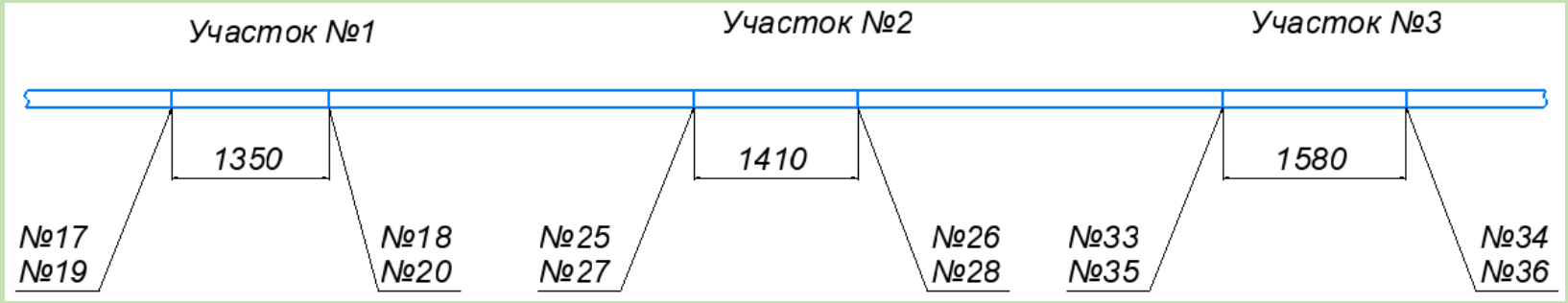


Изображение ПАТ с дефектами эксплуатации с неметаллической армировкой



Опытно-промысловые испытания с помощью виброакустического метода

Исследование действующего трубопровода из ПАТ армирующей металлической лентой, ДУ 150 мм





Параметры оценки:

- **Коэффициент диссипации энергии импульса (около каждого датчика).**
- **- Коэффициент затухания импульса сигнала (по телу трубы).**
- **Фазовый угол.**



Результаты промысловых испытаний по вибро-акустическому методу

Во всех экспериментах после нанесения надреза наблюдалось **увеличение дисперсии (разброса) значений** параметров, особенно фазового угла и коэффициента затухания в точке. Это указывает на повышение нестабильности волнового поля в зоне дефекта.





Наиболее информативный диагностический параметр – **фазовый угол.** Его увеличение **на 16–26 %** относительно исходного уровня чётко коррелирует с появлением повреждения, что делает данный параметр предпочтительным для обнаружения дефектов.

Поворот датчиков на 90° не приводил к существенным изменениям измеряемых параметров, что указывает на относительно изотропные акустические свойства материала в плоскости поперечного сечения трубы.

Коэффициент затухания – дополнительный индикатор состояния, но менее чувствительный.

Существующие виды диагностирования ПАТ

- Сейсмоакустический;
- Виброакустический;
- Акустико-эмиссионный;
- Цифровая радиография;
- Внутритрубная диагностика;
- Ультразвуковой контроль.

Сейсмоакустический метод

Принцип работы заключается в регистрации **естественных микросейсмических колебаний** ПАТ и анализе амплитудно-частотного спектра. При наличии **дефекта** в конструкции появляются дополнительные **резонансные пики**, а при перемещении датчика вдоль трубы меняется амплитуда сигнала, что позволяет локализовать участок с аномалией. Методика предполагает обследование с наружной поверхности трубопровода без его вскрытия, опорожнения и вывода из работы.

Параметр	Значение
Тип контроля	Неразрушающий
Остановка ПАТ	Не требуется
Скорость обследования	до 5–30 км трубопровода в день
Подтвержденный результат	факт наличия дефекта
Локализация дефекта	местоположение дефекта

Алгоритм работы метода



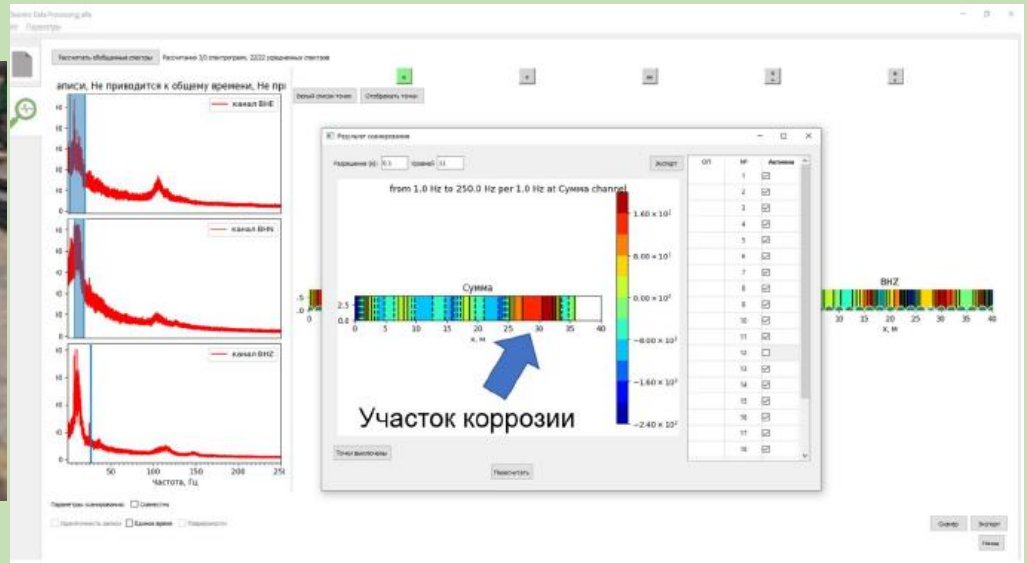
1) Установка опорного датчика



2) Подключение датчика к сейсмоприемнику



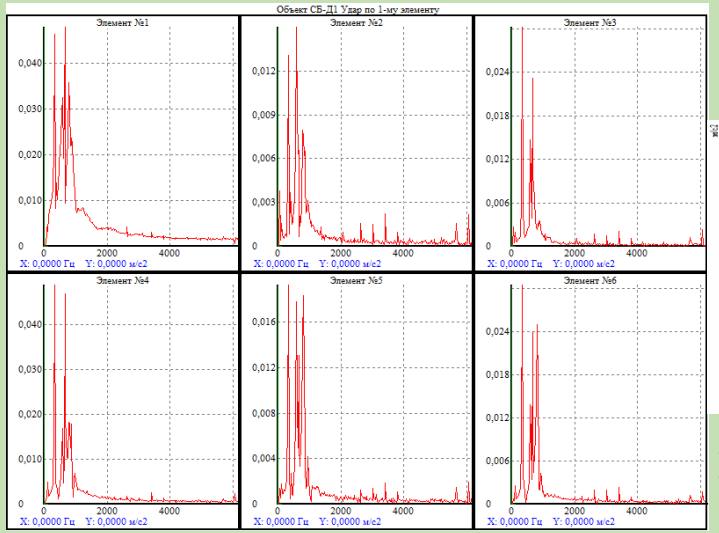
3) Перемещение датчика и приемника



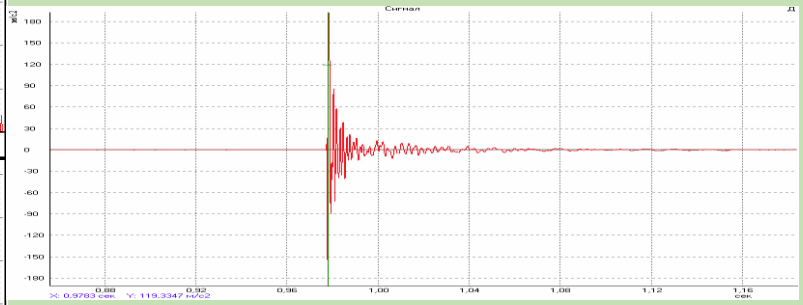
Пример работы ПО для обработки собственных колебаний

Виброакустический метод

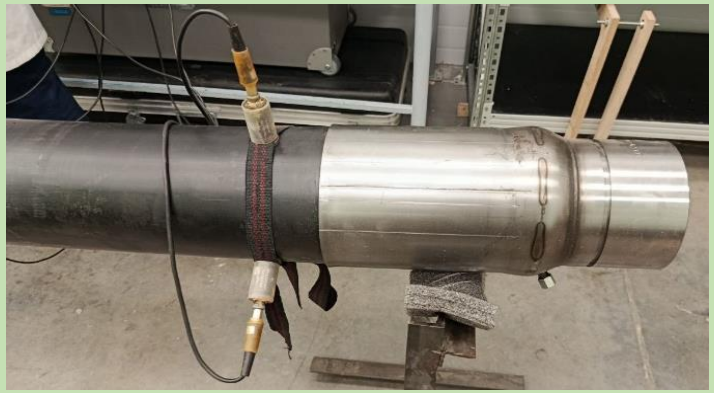
Виброакустический метод диагностирования трубопроводов основан на **анализе акустических сигналов**, генерируемых трубопроводом при воздействии **внешних или внутренних факторов**. Этот метод позволяет выявлять различные дефекты, такие как утончение стенок труб, коррозия, утечки и другие повреждения.



Спектр сигналов образца

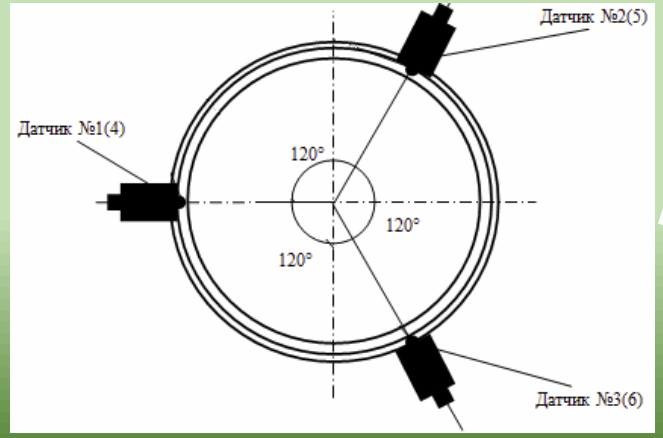


Временная реализация импульсного сигнала











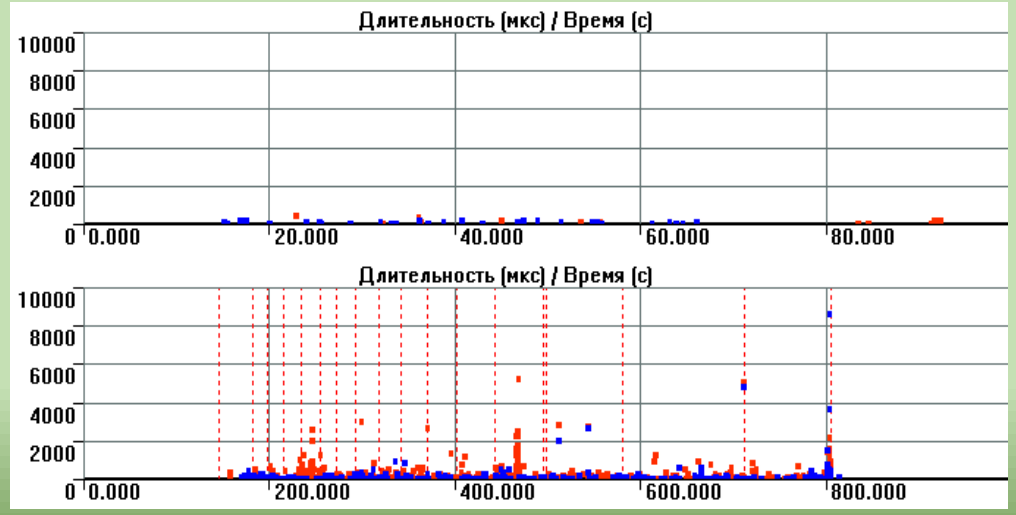


После установки датчиков и проверки работы прибора «Камертон» необходимо провести с помощью молотка весом не более 100 г **ударную нагрузку у каждого датчика**. Произвести регистрацию волновых полей в изделии и запись в памяти прибора. Повторить наложение нагрузки не менее 4 раз и переустановить датчики со сдвигом на 60°. Повторить замеры еще не менее 5 раз. Таким образом формируется определенная база результатов измерения - 10 измерений на каждом датчике, всего 60 сигналов записи результатов исследования для одного образца.

Акустико-эмиссионный метод

Акустико-эмиссионный метод (АЭ) — это современный способ неразрушающего контроля, основанный на **регистрации упругих волн**, возникающих в материале при развитии дефектов. Этот метод позволяет выявлять **активные зоны разрушения** на ранних стадиях, до появления видимых повреждений.





Графики изменения длительности АЭ-импульсов при избыточной нагрузке

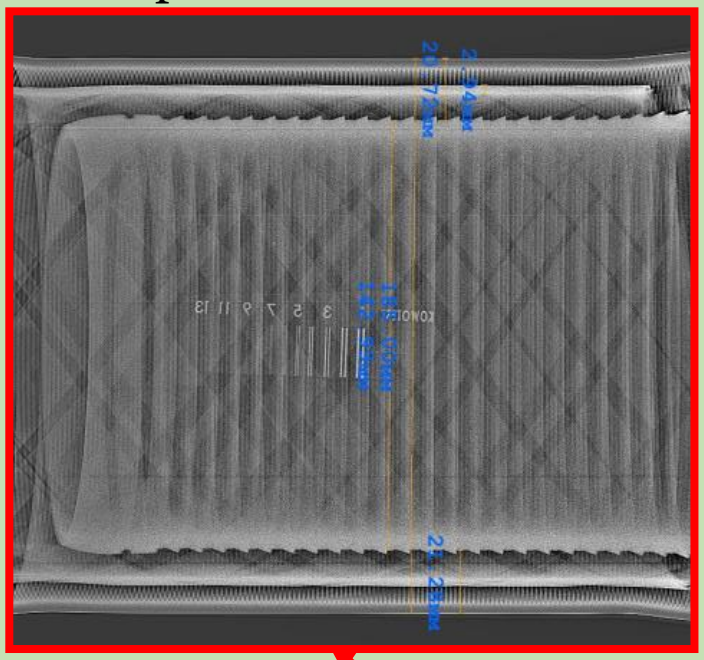
Преимущества метода АЭ перед традиционными методами неразрушающего контроля:

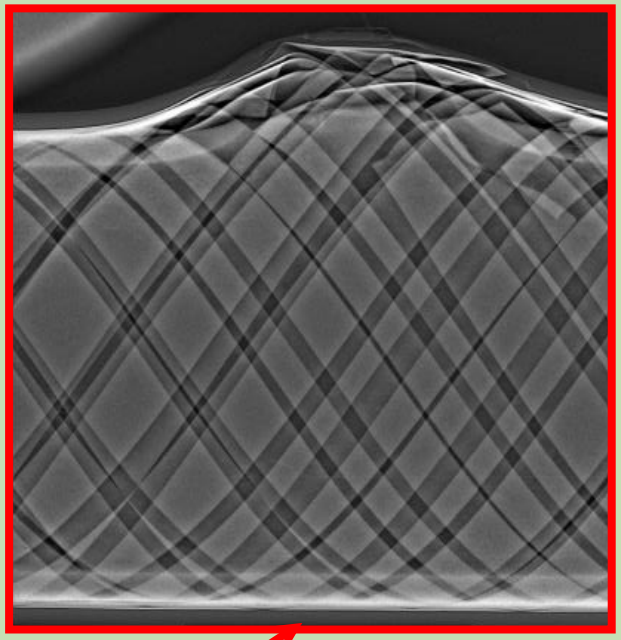
- **Интегральность** метода АЭ, которая заключается в том, что, используя один или несколько преобразователей, установленных неподвижно на поверхности объекта, можно контролировать весь объект целиком.
- **Высокая производительность** метода АЭ.
- Возможность проведения акустико-эмиссионного контроля **без вывода объекта из эксплуатации**;
- Возможность проведения АЭ-контроля **дистанционно**, т.е. на значительном удалении оператора от исследуемого объекта;
- Метод АЭ обеспечивает возможность отслеживания различных технологических процессов и выполнять оценку технического состояния объекта **в режиме реального времени**.

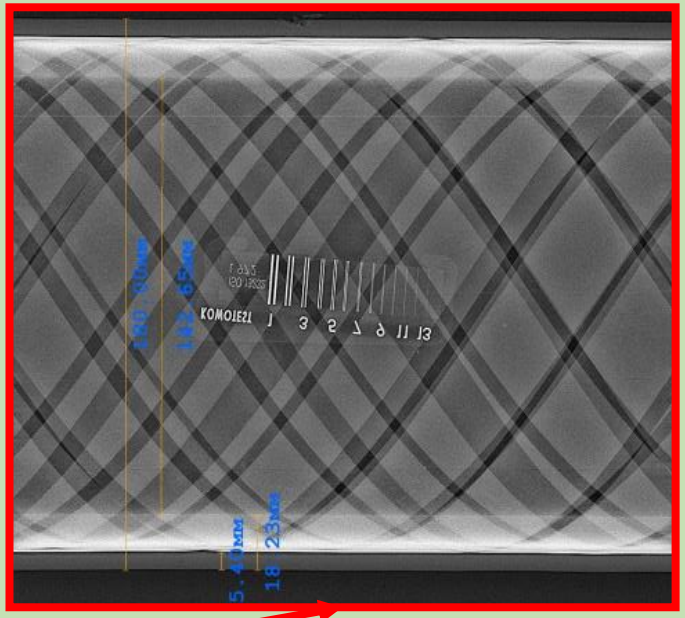
Метод АЭ-контроля способен эффективно предсказывать **момент разрушения объекта**. При приближении нагрузки к моменту разрушения начинают **возрастать по экспоненте активность импульсов** АЭ с возрастанием амплитуды сигнала. Прямо **перед разрушением** образцов ПАТ **активность и амплитуда резко падают**, при этом возрастает длительность.

Цифровая радиография

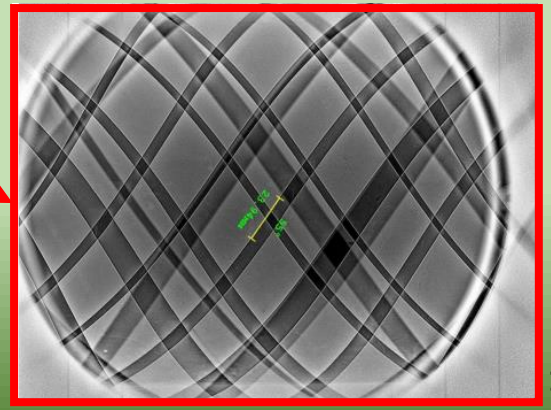
Цифровая радиография является эффективным методом неразрушающего контроля полимерных армированных трубопроводов. Она позволяет визуализировать внутреннюю структуру и выявлять различные типы дефектов, что критически важно для безопасности в нефтегазовой, химической и других отраслях.







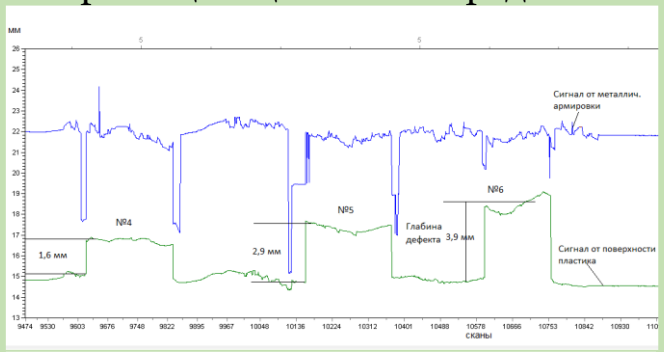


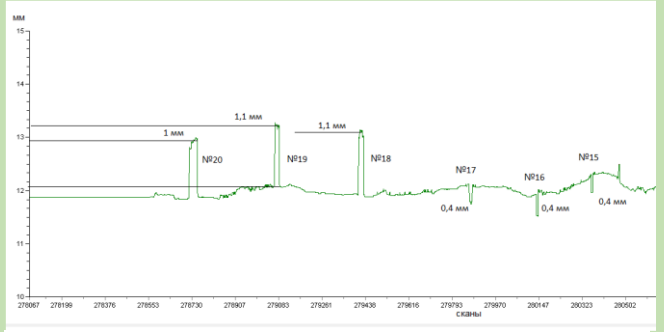


Преимущества метода:
– Высокая производительность;
– Широкий динамический диапазон и возможность цифровой обработки изображений;
– Удобство архивирования, интеграции и передачи данных;
– Высокая чувствительность и соответствие строгим международным стандартам.

Внутритрубная диагностика

Внутритрубная диагностика (ВТД) — это метод неразрушающего контроля трубопроводов, при котором обследование внутренней поверхности и стенок трубы проводят с помощью специальных устройств (**внутритрубных инспекционных приборов**, **ВИП**), перемещающихся непосредственно внутри трубопровода.







Алгоритм работы с прибором:

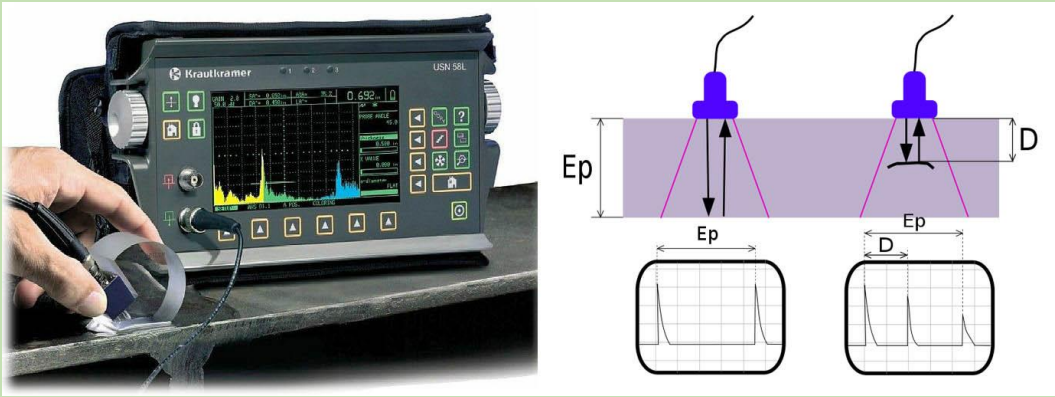
1. Подготовка участка. Проверяют проходимость, очищают внутреннюю полость трубы (очистными скребками/поршнями), устанавливают камеры пуска и приёма, размещают маркерные пункты для привязки данных к местности.
2. Пропуск ВИП. Прибор (часто называют «снарядом-дефектоскопом») запускают в трубу — он движется потоком перекачиваемого продукта либо при продувке/прокачке.
3. Сбор данных. ВИП фиксирует параметры стенки, сварных швов, геометрии и пространственного положения трубы.
4. Обработка и анализ. Данные расшифровывают, определяют типы и размеры дефектов, формируют технический отчёт с координатами дефектов.
5. Верификация. Часть дефектов проверяют дополнительными методами (шурфование, локальный неразрушающий контроль) для подтверждения результатов.

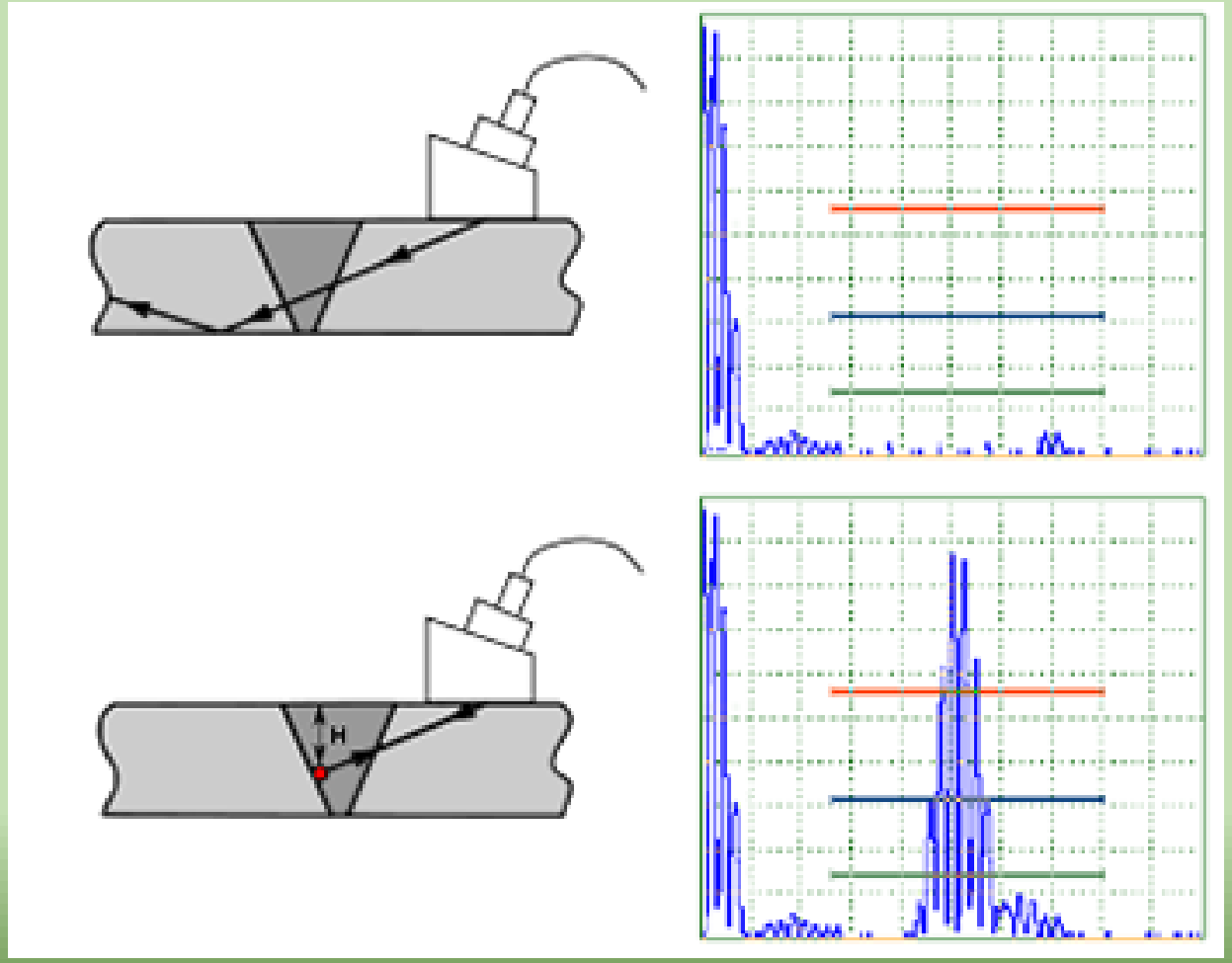


Параметр	Значение
Остановка ПАТ	Не требуется
Дефекты внешнего полимерного слоя	Затруднительно производить за счет разного состава материалов ПАТ
Дефекты внутреннего полимерного слоя	Может выявлять локально при попадании зоны дефекта в область контроля
Локализация дефекта	Локально в зоне прозвучивания датчиков
Условия эксплуатации	**Требуется монтаж системы входа и выхода ВИП**

Ультразвуковой контроль

Ультразвуковой контроль (УЗК) — это неразрушающий метод диагностики материалов и изделий, который использует ультразвуковые волны частотой от 0,5 до 25 МГц для выявления внутренних дефектов. Метод основан на способности материалов проводить и отражать ультразвуковые волны от границ и внутренних нарушений сплошности.





Принцип работы УЗК:

В контролируемый объект вводится ультразвуковой импульс через пьезоэлектрический преобразователь. Звуковые волны распространяются в однородном материале по прямой траектории, но отражаются от границ раздела сред с различными акустическими сопротивлениями. При встрече с дефектами волны отражаются обратно к приёмнику. По параметрам принятого сигнала определяют наличие, расположение и размер дефектов. Время распространения волн показывает глубину залегания повреждения, а амплитуда отражённого импульса указывает на размер дефекта.

Параметр	Значение
Остановка ПАТ	Не требуется
Дефекты внешнего полимерного слоя	Может выявлять локально при попадании зоны дефекта в область контроля
Дефекты внутреннего полимерного слоя	Затруднительно производить за счет разного состава материалов ПАТ
Локализация дефекта	Локально в зоне прозвучивания датчиков

Перспективы работ с другими компаниями нефтегазодобывающей отрасли

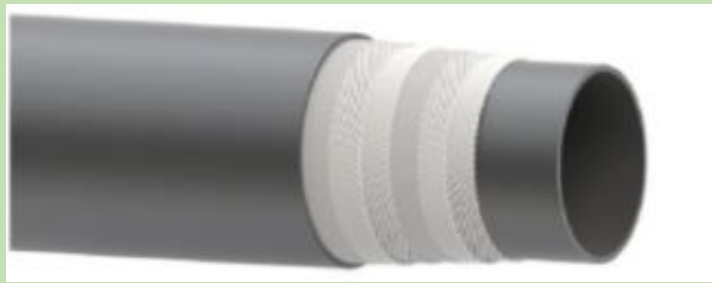
Для проведения исследования необходимо задействовать несколько видов конструкций:

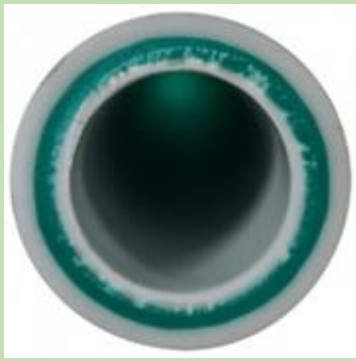
- ГПАТ связанной конструкции армированная металлокордом;
- ГПАТ связанной конструкции армированная стекловолокном;
- ГПАТ не связанной конструкции армированная металлом;
- ГПАТ не связанной конструкции армированная полимерными материалами;
- ЖПАТ с металлическим армированием



Выбрать конструкцию с одним номинальным диаметром и рабочим давлением







Провести лабораторные испытания с выбранными конструкциями выбранными методами с нанесенными искусственными дефектами

Провести испытания в условиях эксплуатации с выбранными конструкциями выбранными методами с нанесенными искусственными дефектами

На основе полученных данных составить методику оценки

Важно!!! После получения результатов испытаний необходимо их адаптировать для прогнозирования ресурса ПАТ при дальнейшей эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время смонтировано и успешно эксплуатируется большое количество композитных трубопроводов различного назначения. Существенной проблемой остается методика диагностирования данных изделий. Задел по научно-исследовательской работе в этой области существует, но необходимо проводить ОПИ различных видов конструкций, различными методами непосредственно на действующих трубопроводах.

Помимо этого большим вопросом остается взаимосвязь идентифицированных дефектов с оценкой остаточного ресурса. Поэтому на базе Института нефтегазовых технологических инициатив всеми заинтересованными сторонами будет достигнута данная цель.







НИЦ "НЕМЕТАЛЛ"

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!!!

Наш сайт

Наш канал в MAX

Контакты: Богатов Максим Валерьевич
тел. +7 (927) 768-47-26
E-mail: m.bogatov@nicnemetall.ru