



Введение в метод контроля дальним полем RFT

Оборудование



Обозначения и сокращения

Метод дальнего поля = RFT – Remote Field Testing

HØ – наружный диаметр

BØ – внутренний диаметр

TSP, TS сигнал – сигнал от опорной плиты (Tube Support Plate), вызванный экранированием и ослаблением дальнего поля большим объёмом металла вокруг трубы

Lift off – термин используемый в англоязычной технической литературе и программном обеспечении, означает:

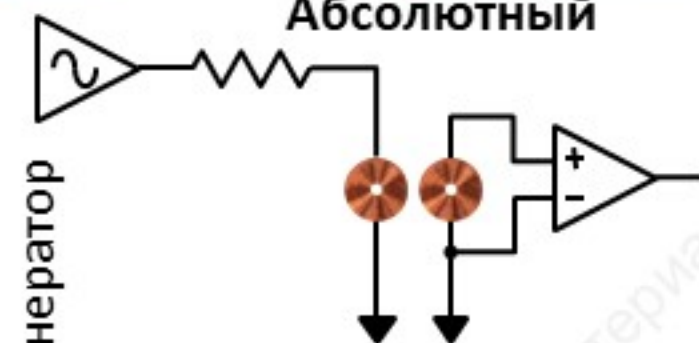
- зазор между катушкой зонда и металлом;
- полный отрыв катушки зонда от металла, в зависимости от контекста.



Оборудование

Абсолютный

Генератор



Устройство и принципы работы прибора RFT

Приборы RFT работают в режиме «передача-приём». Это означает, что цепи возбуждения и приёма сигнала разделены. Приёмная катушка - пассивна.

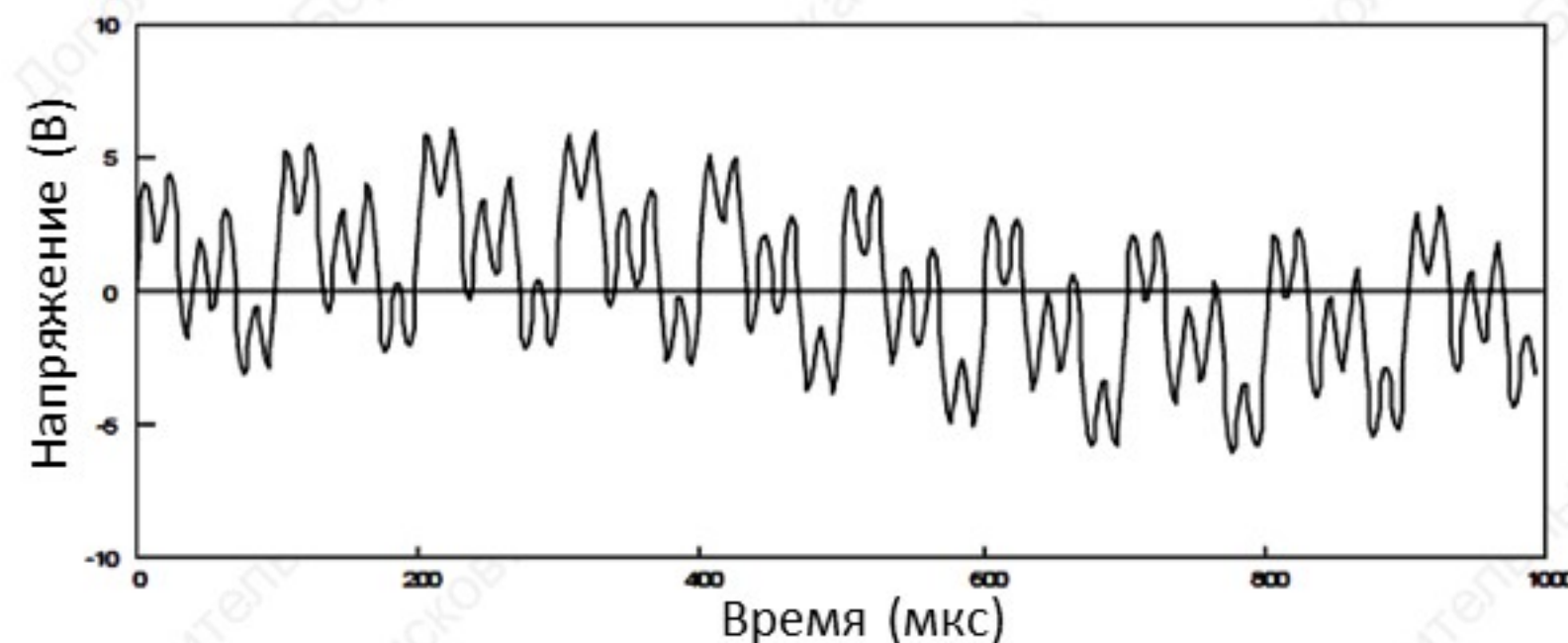
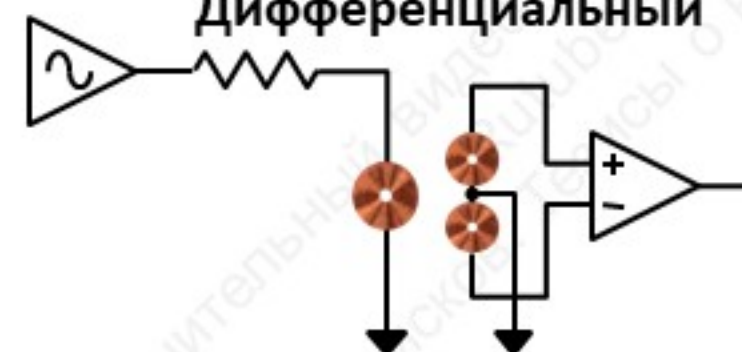
Прибор RFT представляет собой сложную систему, состоящую из нескольких ключевых частей, которые совместно обеспечивают передачу, приём и обработку низкочастотного электромагнитного поля.

Основные составляющие прибора:

Генератор - это сердце системы, источник низкочастотного сигнала переменного тока. Он выполняет две основные функции:

- подаёт сигнал на передатчик в зонде;
- служит эталонным сигналом для последующего сравнения и обработки принятого сигнала.

Дифференциальный



Усилитель, который может быть, как встроенным, так и внешним, необходим для увеличения мощности сигнала от генератора перед его отправкой в зонд. Это обеспечивает достаточную энергию для создания электромагнитного поля, способного дважды пересечь стенку трубы.

Вход детектора предназначен для приёма и первичной обработки очень слабого сигнала, поступающего от приёмника в зонде.

Блок обработки сигнала производит окончательную обработку данных. Этот блок оцифровывает сигнал, преобразует его и передаёт на устройство хранения — либо встроенное в прибор, либо на внешний компьютер.



Ключевые характеристики и функции:

Генератор создаёт сигналы в диапазоне частот от 10 Гц до 1 кГц, который подходит для контроля ферромагнитных материалов (таких как углеродистая сталь). Для материалов с низкой магнитной проницаемостью требуются более высокие частоты. Современные приборы часто оснащаются двумя или более независимо настраиваемыми генераторами, что позволяет работать в многочастотном режиме и подавлять шум.

Управление генератором можно осуществлять током или напряжением. Предпочтение отдается системам с управлением по току, так как они обеспечивают большую стабильность сигнала в случае нагрева передатчика, что предотвращает изменение её импеданса и искажение результатов.

Обработка сигнала на входе детектора выполняется в нескольких критически важных операциях:

Усиление слабого сигнала от приёмной катушки малошумящим усилителем.

Демодуляция полученного сигнала путём сравнения с исходным опорным сигналом от генератора. Этот процесс позволяет выделить изменения, произошедшие с полем при прохождении через материал.

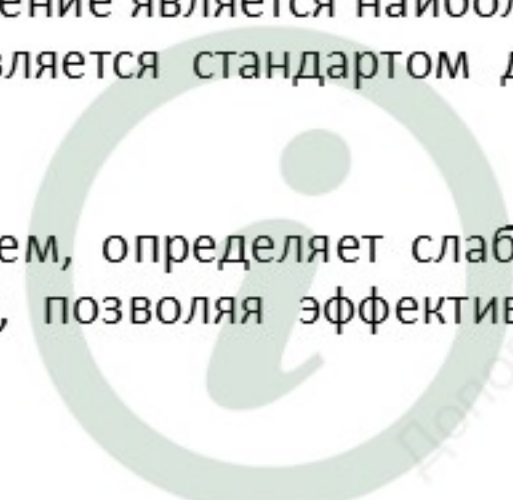
Фильтрация высокочастотного шума с помощью низкочастотного фильтра, очищает полезный сигнал.

Формы выходного сигнала после обработки могут быть представлены в двух основных формах:

В виде **действительной и мнимой составляющих (X и Y)** импеданса катушки, что аналогично представлению в классическом методе вихревых токов.

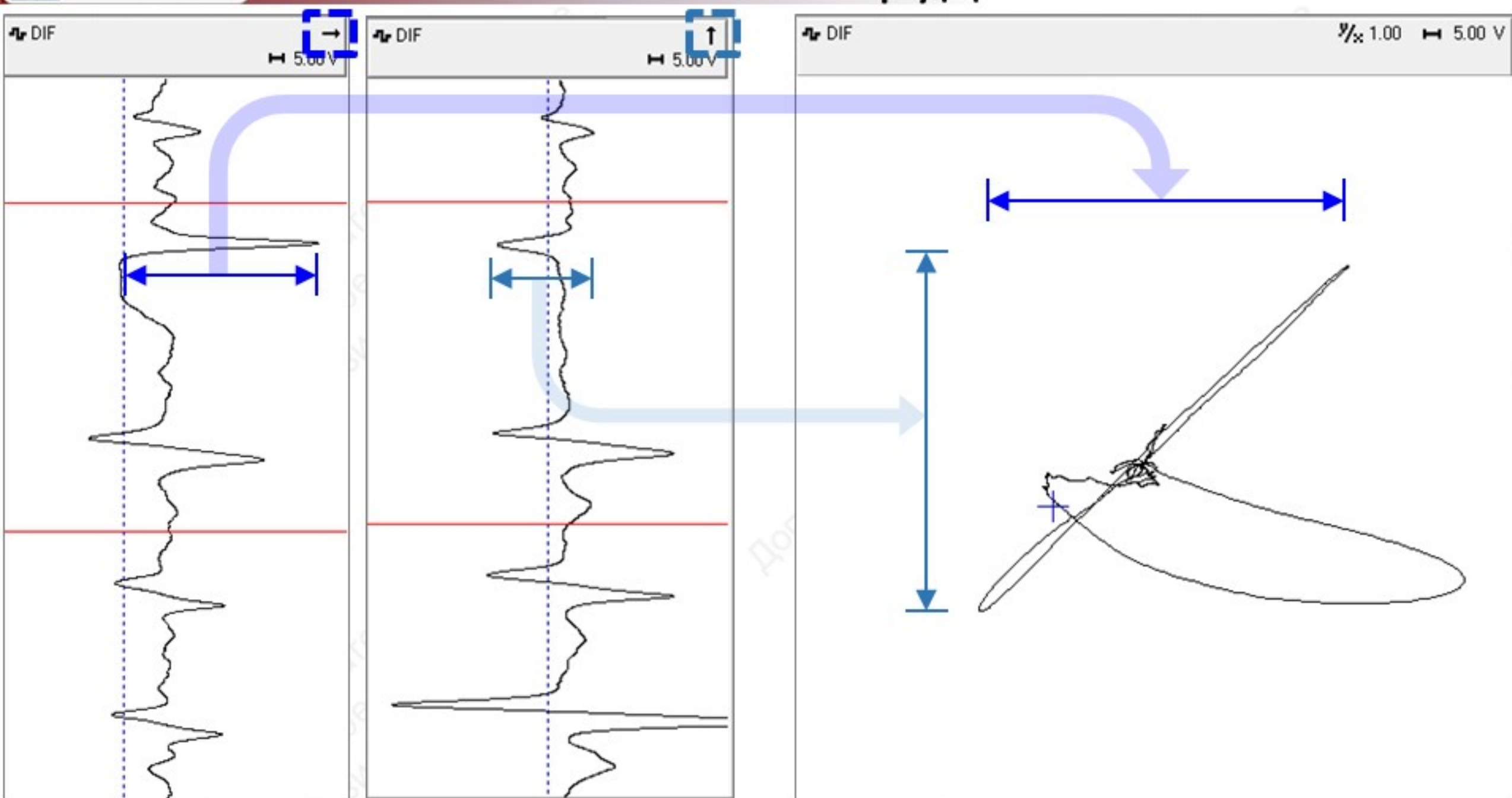
В виде **амплитуды и фазы** относительно опорного сигнала. Это представление является наиболее удобным и наглядным для анализа в **комплексной плоскости**, которая является стандартом для интерпретации данных RFT.

Прибор RFT — это система, которая управляет электромагнитным полем, определяет слабые сигналы дальнего поля и преобразует их в удобную для анализа форму, позволяя эффективно выявлять дефекты в ферромагнитных трубках.





Оборудование. Показания



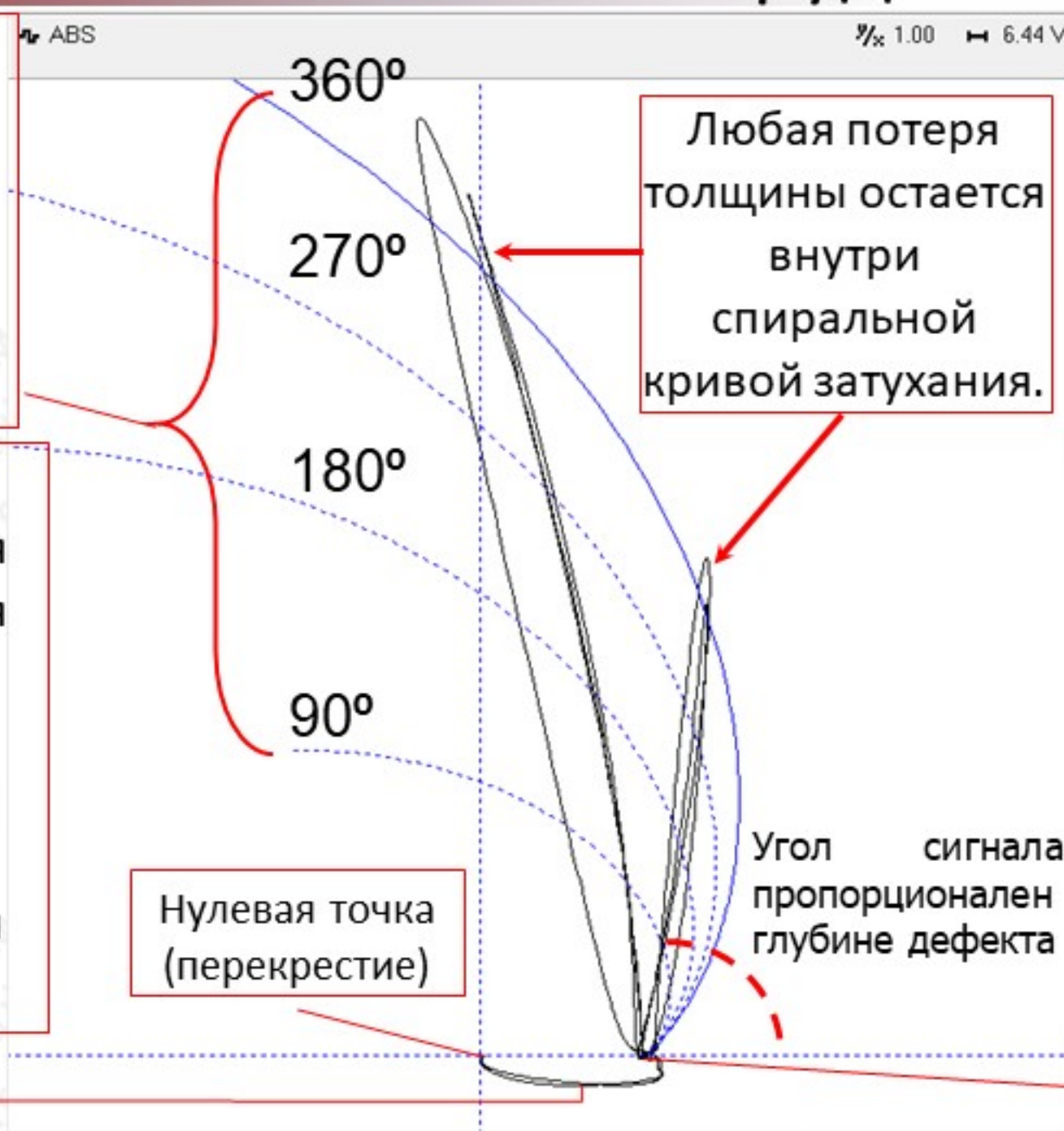
На изображении показано, как сигналы дифференциального канала (DIF), зарегистрированные в виде полосовых графиков проецируются на комплексной плоскости.

Полосовые графики демонстрируют один и тот же канал, но в разных векторах. Каждая точка на полосовом графике соответствует конкретному значению амплитуды сигнала. Эти точки переносятся на комплексную плоскость с поправкой на вектор.

Так представляется возможность оценить фазовый наклон (поворот) сигнала.



Оборудование. Показания



Спиральные кривые затухания показывают распространение дефекта по окружности трубы в градусах

Сигналы не от дефектов (опорная пластина) остаются вне кривых. Опорная пластина экранирует поле и создает сигнал, который стремится в 0

Любая потеря толщины остается внутри спиральной кривой затухания.

Номинальные точки:
- начало всех спиральных кривых затухания
- точка начала всех сигналов
(на примере обе точки занимают одинаковое положение)

Нулевая точка
(перекрестие)

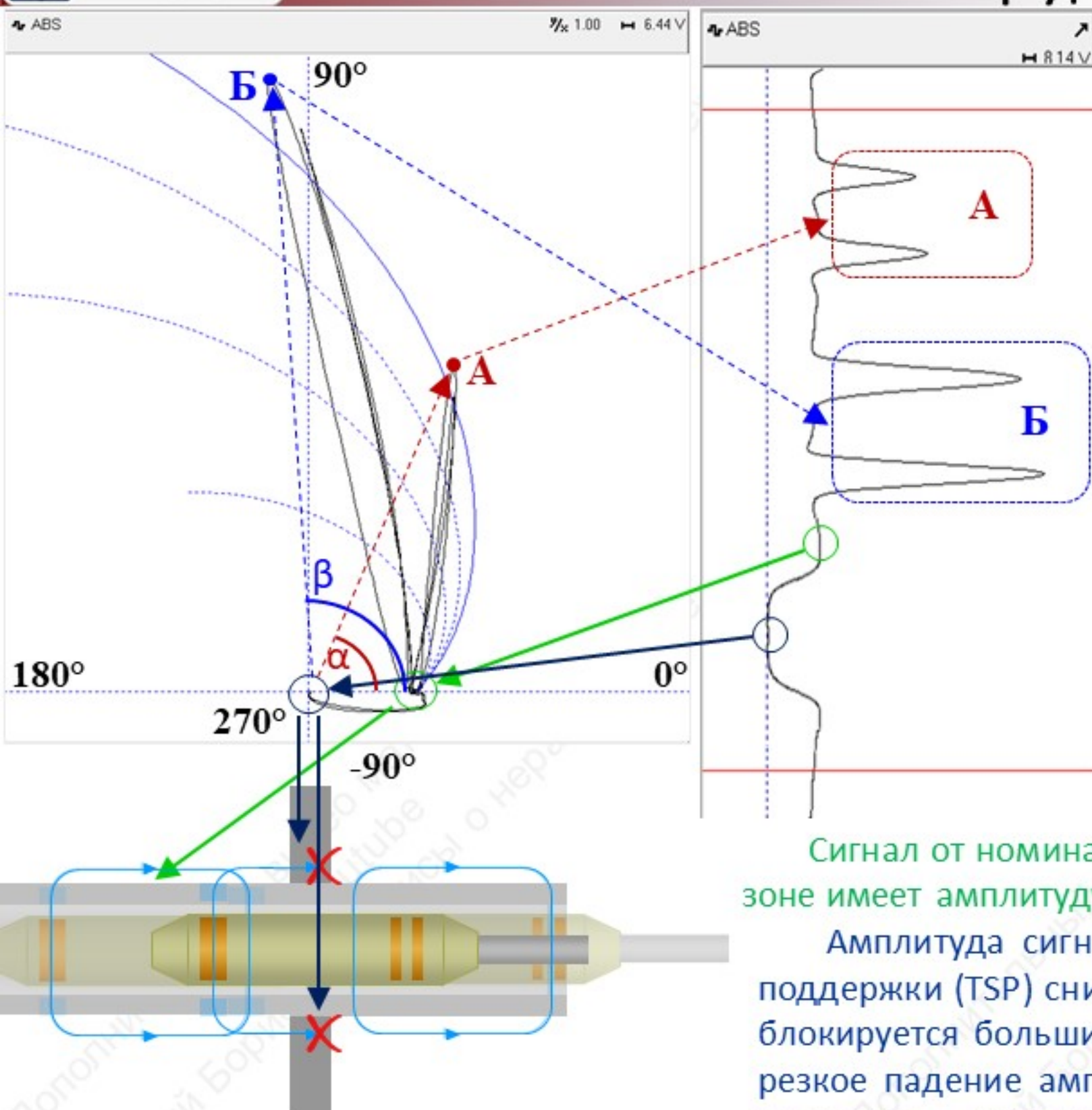
Угол сигнала пропорционален глубине дефекта

Комплексная плоскость абсолютного канала содержит теоретические кривые-спирали затухания, которые помогают оценить дефект по амплитуде и наклону сигнала.

Спирали, как шаблон или трафарет накладываются на показания. С помощью них можно прочитать каждый сигнал. Современное оборудование RFT содержит встроенные в ПО спирали.



Оборудование. Показания



На комплексной плоскости ABS канала уровень амплитуды определяется по вектору от начала координат до верхней точки сигнала.

Чем больше объем утраченного металла, тем выше амплитуда сигнала (так же справедливо для полосового графика).

Фаза сигнала на комплексной плоскости определяется по углу вектора (α , β). Комплексная плоскость разделена на 4 четверти, 3 из которых положительные (от 0° до 270°) и одна отрицательная (-90°).

Сигнал от номинальной стенки трубы в бездефектной зоне имеет амплитуду 1 Вольт.

Амплитуда сигнала от опор, трубных решёток или поддержки (TSP) снижается из-за того, что дальнейшее поле блокируется большим объёмом металла. Это вызывает резкое падение амплитуды сигнала почти до нуля, что визуально выглядит, как «провал» на полосовом графике.



Оборудование. Зонды

Стандартный зонд RFT содержит минимальный набор компонентов: одну передающую катушку, одну абсолютную приемную катушку. Расстояние между передатчиком и приёмником выше 2х наружных диаметров трубы. Длина кабеля зонда обычно составляет 15-30 м.

В расширенной конструкции зонда могут присутствовать: вторая передающая катушка, дифференциальная приемная катушка и предусилитель для более длинных кабелей и подавитель шумов.

В зондах могут применяться чувствительные элементы разного исполнения, например: Абсолютные и дифференциальные катушки бобинного типа, секторные, матрицы из катушек

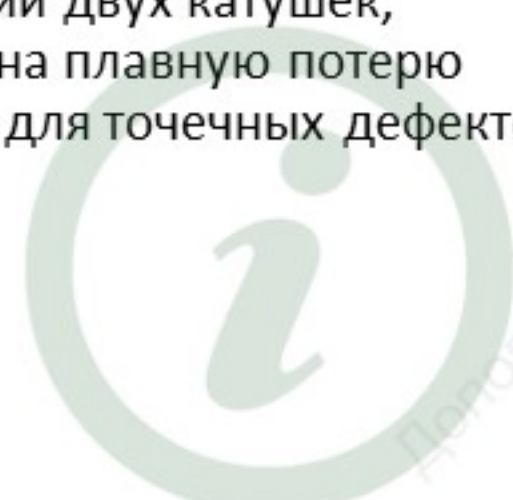


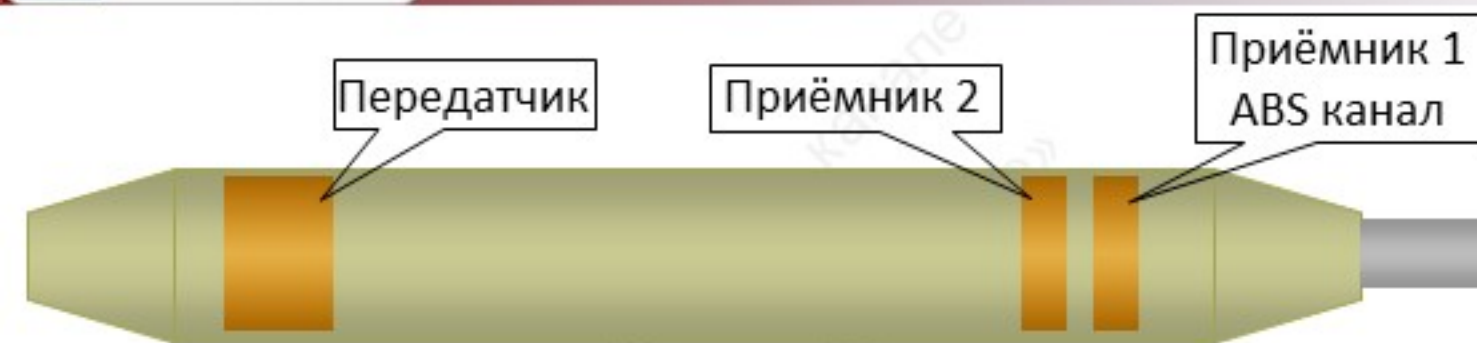
...а ещё магнитные датчики: датчики Холла и магниторезистивные датчики на основе эффекта гигантского магнитосопротивления известные, как GMR (ГМС)-датчики.

Критерии выбора приёмников:

Абсолютные приёмники регистрируют сигнал с одной катушки, обеспечивая чувствительность к точечным, обширным и плавным потерям толщины. Также чувствительны к изменениям свойств материала.

Дифференциальные приёмники, формируют сигнал, как разность показаний двух катушек, специализируются на обнаружении точечных дефектов и исключают реакцию на плавную потерю толщины. Этот тип приёмника обеспечивает лучшее соотношение сигнал/шум для точечных дефектов.





Зонд с одним передатчиком

Главная цель – выявление потери толщины в стенке труб. Хорошая чувствительность к очагам коррозионного и эрозионного поражения. 2 канала: абсолютный

(ABS) и дифференциальный (DIF). Зонд специализирован на контроль с помощью абсолютного канала. «Слеп» к дефектам, расположенным близко к опорным плитам (TSP).

Зонд с двумя передатчиками

Применяется для контроля точечной коррозии. Передатчики могут переключаться в режимы работы: Первый, Второй, Оба. 2 канала: абсолютный (ABS) и дифференциальный (DIF). Зонд специализирован для получения DIF-сигнала простого в интерпретации. Увеличивает вероятность выявления точечных дефектов вблизи опорных плит. Сигнал ABS канала намного сложнее анализировать, чем у зондов с одним передатчиком.



Зонд с двумя приёмниками

Применяется для выявления дефектов в зонах опорных плит (TSP). 4 канала: ведущие ABS/DIF и ведомые ABS/DIF. Объединяет в себе преимущества зондов с одним передатчиком и зондов с двумя передатчиками. Однако, анализ данных сложнее, требует опытный дефектоскопист.



Оборудование. Калибровочные трубки

Калибровочные трубки для метода RFT должны определяться нормативно-технической документацией. Например стандартом **ASTM E2096/E2096M** «Стандартная практика контроля ферромагнитных труб теплообменника на месте методом дальнего поля». Однако документ не устанавливает критерии приёмки

Калибровочные трубки должны содержать искусственные дефекты различной формы и глубины, которые имитируют настоящие дефекты износа и могут быть обнаружены методом RFT

Калибровочные трубки используются для:

- подбора рабочей частоты контроля
- калибровки каналов (уровня амплитуды и наклон фазы);
- настройки чувствительности к минимально выявляемым дефектам;
- настройка кривых для оценки размеров.





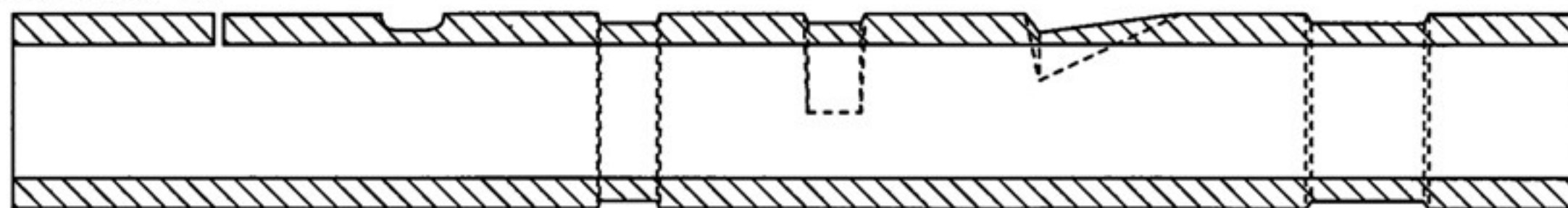
Оборудование. Калибровочные трубки

Глубина	100%	50%	20%	40%	60%	20%
Тип искусственного дефекта	Сквозное отверстие	Плоский	Проточка (паз)	След износа	Конусный дефект	Проточка (паз)
Размер дефекта	$K^* \times \text{толщина стенки}$	$\frac{1}{2} \times H\varnothing$	15.88	15.88	$4 \times H\varnothing$	$2 \times H\varnothing$ (протяжённость выбору)

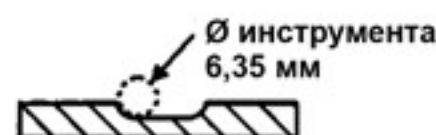
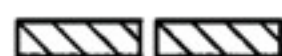
*Примечание (ASTM E2096/E2096M, п. 10.5.1.1):

для труб с $H\varnothing < 25,4$ мм, $K = 1$

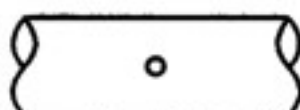
для труб с $H\varnothing \geq 25,4$ мм, $K = 1,5$



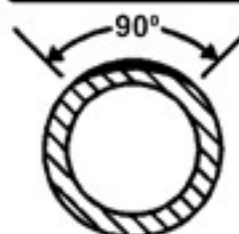
ВИД
дополнительный



ВИД
сверху



ВИД
в разрезе



A

B

C,F

D

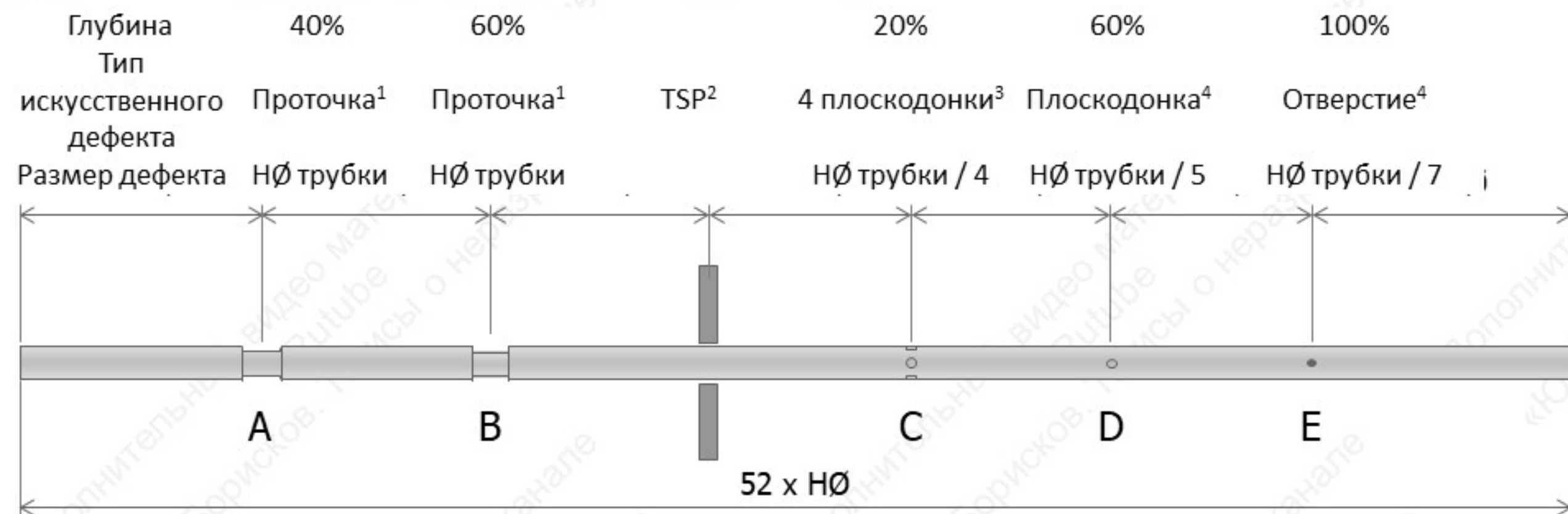
E

Используется для первоначальной настройки, проверки работоспособности и чувствительности системы RFT перед началом и в процессе контроля.

Не используется для определения глубины, типа дефектов, если только не доказано, что его искусственные дефекты аналогичны найденным в реальной трубе.



Оборудование. Калибровочные трубки



Используется для калибровки зондов RFT с одним или двумя передатчиками чтобы оценивать глубину и тип дефектов по характерным сигналам.

Комбинация различных искусственных дефектов в калибровочных трубках позволяет всесторонне откалибровать систему RFT для обнаружения и оценки всех основных типов дефектов, встречающихся в реальных эксплуатационных условиях.

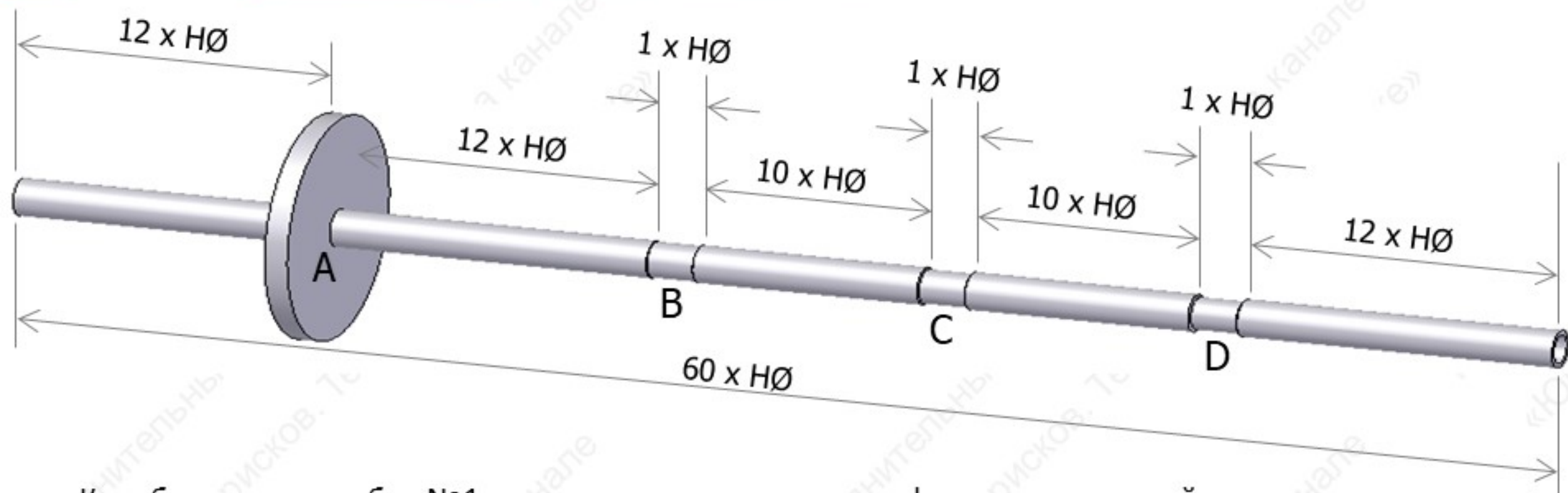
¹ имеют одинаковую осевую длину размером с 1 HØ трубки, но разную глубину, нужны для контроля протяжённой коррозии и построения фазовых кривых для оценки глубины.

² имитация опорной плиты (Tube Support Plate, TSP): TSP BØ = HØ трубки + 0,5 мм для создания небольшого зазора. TSP HØ = 6 × HØ трубки, чтобы обеспечить достаточное экранирование дальнего поля.

³ отверстия необходимы для проверки равномерной чувствительности зонда бобинного типа; все сигналы на комплексной плоскости должны совпадать по амплитуде.

⁴ отверстия нужны для настройки на контроль точечной коррозии, проверки разрешающей способности и калибровки DIFF канала.

Оборудование. Калибровочные трубки



Калибровочная трубка №1, короткие искусственные дефекты на наружной поверхности:

A: TSP BØ = HØ трубки + 0,5 мм; TSP HØ = 6 x HØ трубки

B: проточка глубиной = 20%

C: проточка глубиной = 40%

D: проточка глубиной = 60%

Калибровочная трубка №1 для определения характеристик протяжённых дефектов. Трубка – это отрезок с искусственно выбранным материалом на наружной поверхности и имитатором участка TSP, который является критически важным при контроле теплообменников.

Имитация TSP (A) – это металлическое кольцо на трубке. Металл кольца сильно экранирует и ослабляет дальнейшее поле. Калибровочная трубка №1 нужна для тренировки оператора анализировать сложные зоны, находящиеся в тени опорной плиты TSP. Эталон наглядно показывает, как чувствительность зонда падает если дефект, расположен очень близко или под TSP. Трубка позволяет построить кривые оценки размеров с учётом влияния плиты TSP.



Оборудование. Калибровочные трубки



Калибровочная трубка №2, протяжённые искусственные дефекты на наружной поверхности:

A: проточка глубиной = 20%

B: проточка глубиной = 40%

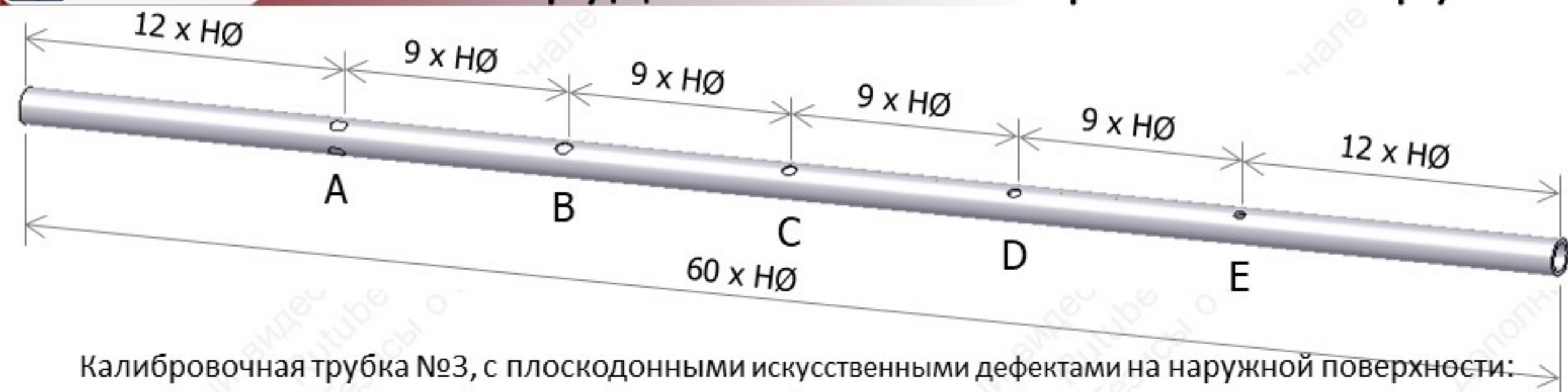
Калибровочная трубка №2 для определения характеристик протяжённых дефектов. Трубка – это отрезок с искусственно выбранным материалом на наружной поверхности. Отражатели имеют значительную осевую длину и расположены на строго определённом расстоянии друг от друга для исключения взаимного влияния сигналов.

Калибровочная трубка №2 нужна для построения кривой оценки глубины протяженных дефектов. Помогает оператору научиться отличать на графиках сигнал от протяжённого дефекта и сигналы серии коротких дефектов. При оценке протяжённых дефектов данные часто усредняются по длине. Калибровочная трубка №2 позволяет проверить точность алгоритма усреднения.

ABS канал особенно хорошо подходит для обнаружения и оценки именно протяжённых дефектов с плавным изменением толщины стенки. Калибровочная трубка №2 является инструментом для калибровки и контроля на ABS канале.



Оборудование. Калибровочные трубки



Калибровочная трубка №3, с плоскодонными искусственными дефектами на наружной поверхности:

A: 4 плоскодонки = 20%, $\varnothing = H\varnothing$ трубки /4

B: плоскодонка = 40%, $\varnothing = H\varnothing$ трубки /4

C: плоскодонка = 60%, $\varnothing = H\varnothing$ трубки /5

D: плоскодонка = 80%, $\varnothing = H\varnothing$ трубки /6

E: отверстие = 100%, $\varnothing = H\varnothing$ трубки /7

Калибровочная трубка №3 для определения характеристик точечных дефектов. Трубка – это отрезок с отверстиями на наружной поверхности.

Дефекты расположены в порядке увеличения глубины: от 20% A до 100% E. С увеличением глубины, как правило, уменьшается и диаметр отверстия, что делает их объем более сложным для обнаружения.

4 плоскодонки A по окружности трубки, служат для проверки равномерной чувствительности зонда. Если зонд имеет слепые зоны, то сигналы от отверстий будут иметь разную амплитуду.

Отверстия разной глубины B, C, D позволяют построить кривую оценки размеров на основе фазы сигнала чтобы определять глубину точечного дефекта. Отверстия E, C, D позволяют определить минимальный размер дефекта, который способна обнаружить система RFT.

Трубка подходит для калибровки DIF канала, который хорошо реагирует на резкие, короткие изменения в стенке, такие как отверстия.



Введение в метод контроля дальним полем RFT

Следующий раздел

Выбор частоты

