

# РАЗРАБОТКА И АТТЕСТАЦИЯ СИСТЕМЫ ВТК ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС С РУ ВВЭР

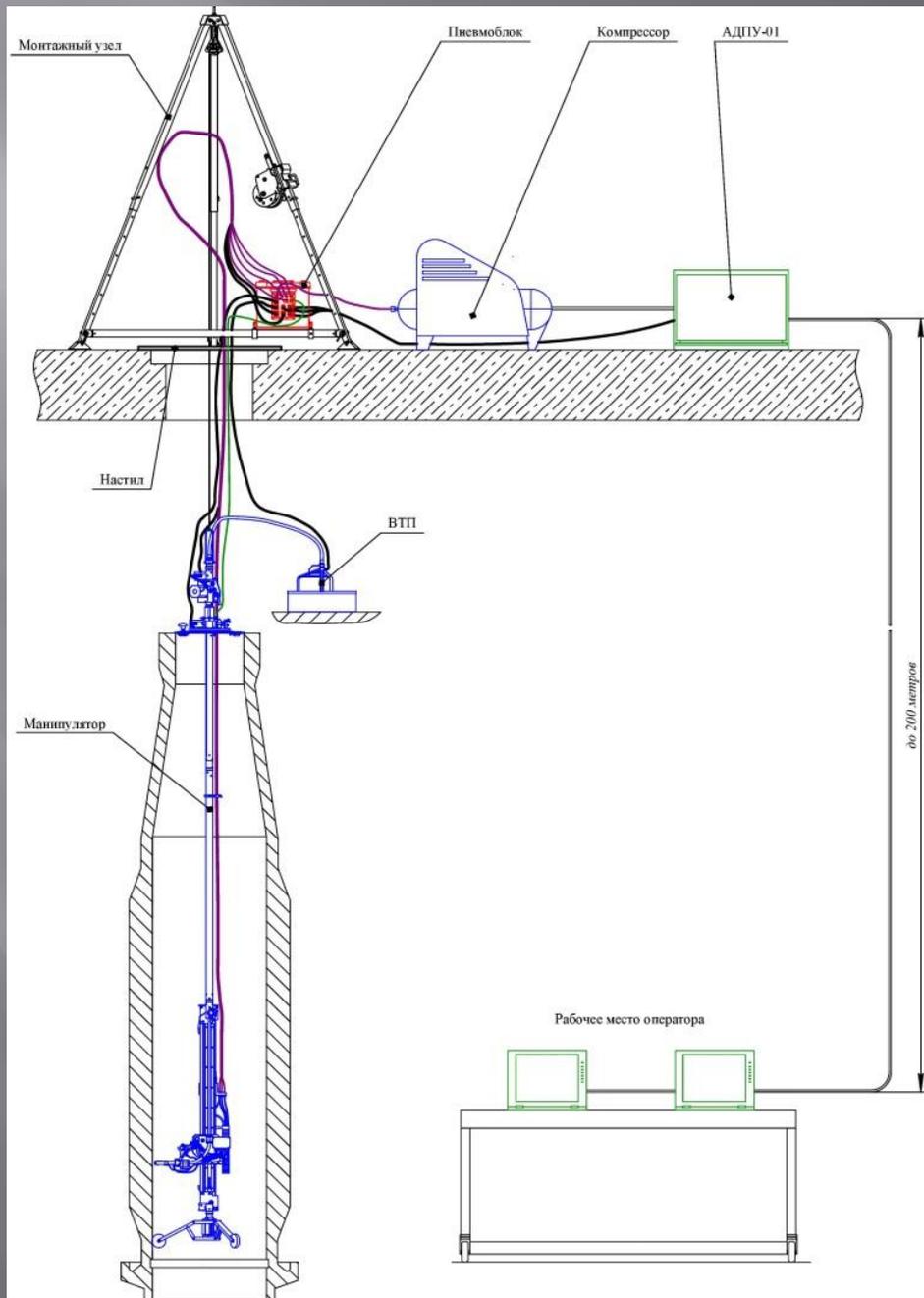
В настоящее время основным методом дефектоскопии металла теплообменных труб (ТОТ) парогенераторов (ПГ) на АЭС во всем мире является вихретоковый контроль (ВТК). Проведение контроля позволяет получить значительный объем информации и его результаты лежат в основе прогнозирования ресурса ТОТ.

При создании системы была поставлена задача реализации такой технологии контроля, которая бы сводила к минимуму вероятность нарушения целостности труб в эксплуатационный период.

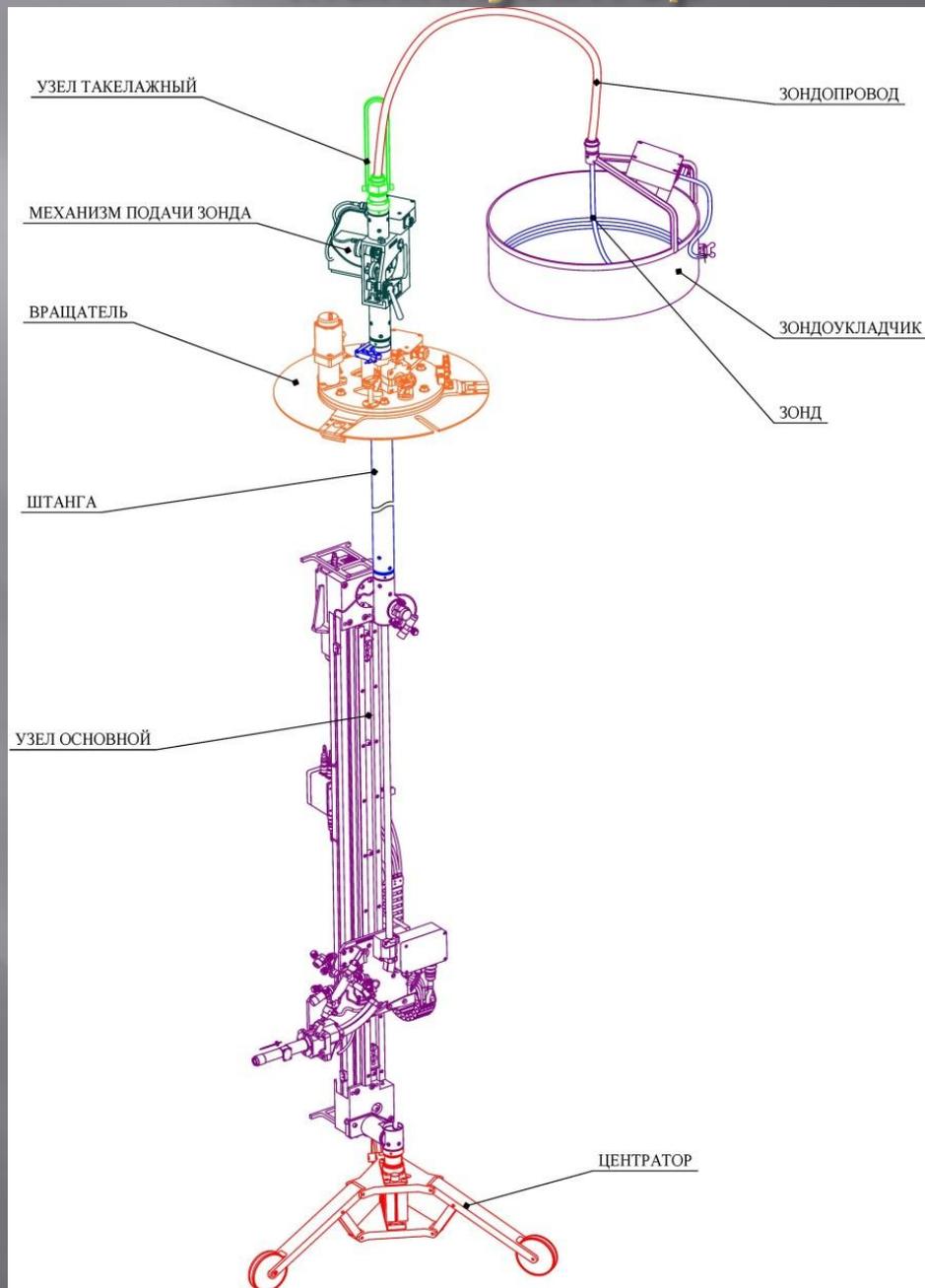
Современный уровень развития диагностики и микроэлектроники позволили реализовать в созданной системе подходы к проведению ВТК ТОТ ПГ разными типами зондов, включая многоэлементные (матричные). Многоэлементные зонды по сравнению с одноэлементными (аксиальными) обладают рядом преимуществ, таких как:

- возможность разделения дефектов на продольные и поперечные, язвы и трещины;
- возможность выявления разных дефектов в одном сечении ТОТ, в зоне вальцовки ТОТ;
- визуальная наглядность представления результатов ВТК в 2D и 3D плоскостях, что снижает риск ошибки аналитика.

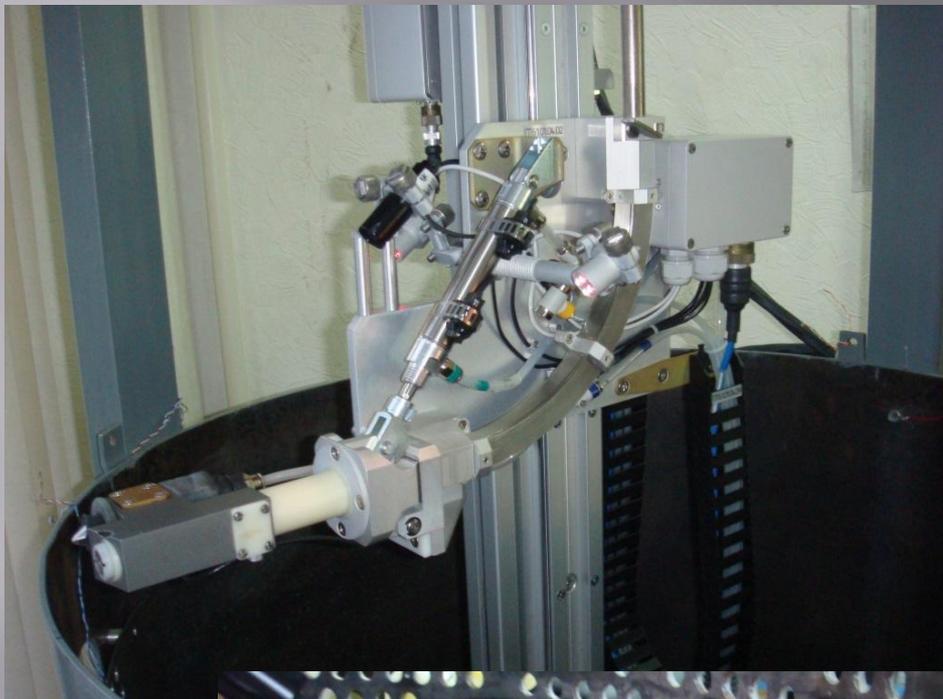
# Система «Политест-ПГ»



# Манипулятор



# Узлы манипулятора



# Управляющий компьютер

The screenshot displays a comprehensive CNC control interface with the following components:

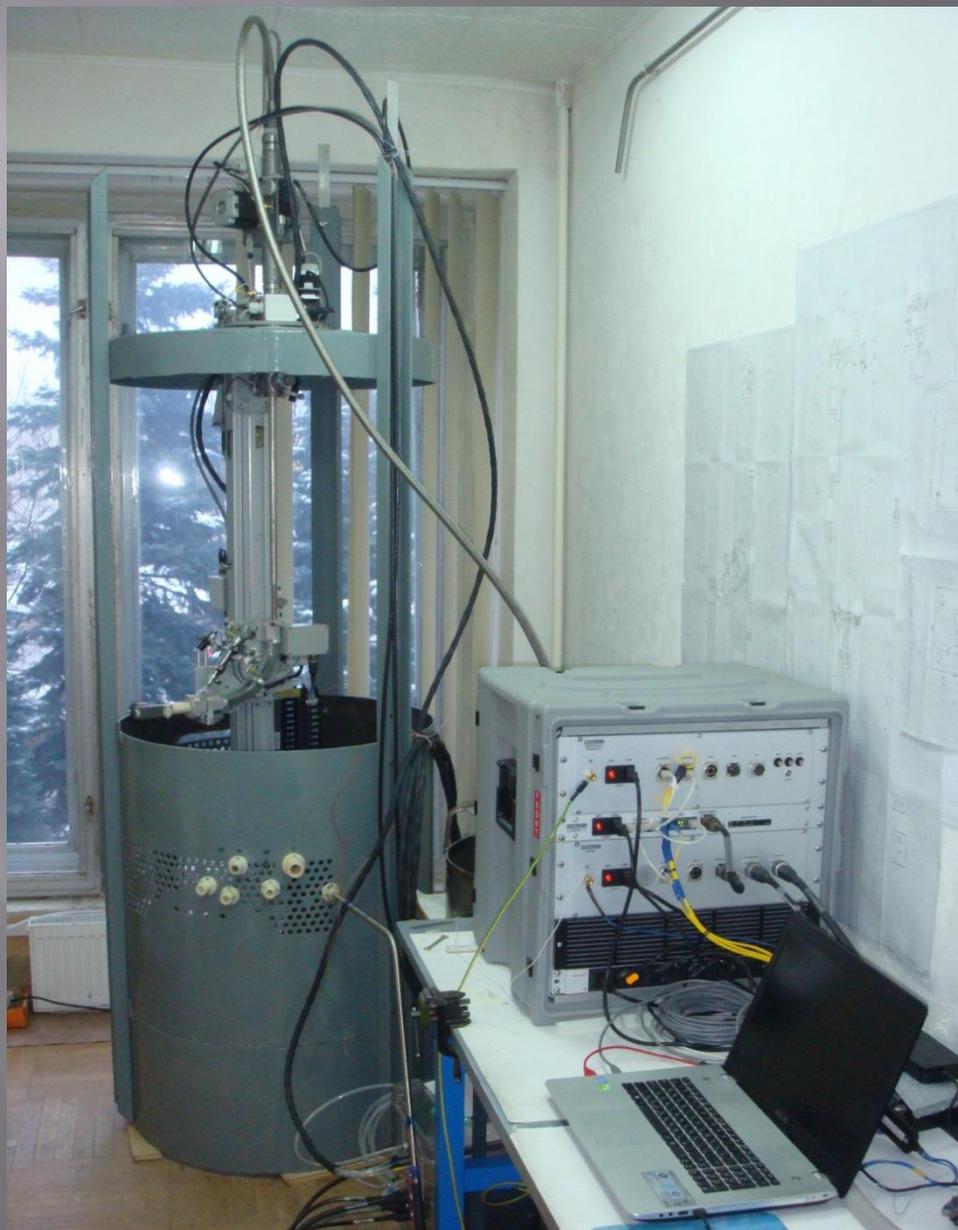
- Control Panel (Управление):** Features status indicators (BU: OK, ВТК: OK), procedure name (Готов), and coordinates (X=92.99, Y=39.00). It includes buttons for movement (Назад, Вперед, Вверх, Вниз, Влево, Вправо), stopping (СТОП), and tool management (Калибровать щуп).
- Log Window (Журнал записей):** A table recording system events:

файл	Время	Дата	Размер	From	Скор.
+1 AA	12:38:19	29/10	100298	78	400
+1 BA	12:40:22	29/10	85613	61	400
+1 CA	12:41:39	29/10	77528	51	400
+1 DA	12:43:35	29/10	77528	51	400
+1 EA	12:45:47	29/10	101288	79	400
+1 FA	12:46:56	29/10	70433	42	400
+1 GA	12:48:01	29/10	68267	43	400
- 2D Grid (31-103):** Shows a grid of points with a highlighted path, likely representing a probe's trajectory.
- 3D Probe Path (AS6A7A8):** A 3D visualization of the probe's path in a coordinate system.
- 2D Grid (39/-93):** A grid of colored circles (yellow and red) with a central crosshair, used for tool calibration or alignment.
- Camera View:** A real-time video feed of the machine's internal components.
- Graph (A1y-A8x):** A multi-axis graph showing probe data over time, with axes labeled A1y, A2y, A3y, A4y, A5y, A6y, A7x, and A8x.

# Блок управления и дефектоскопии



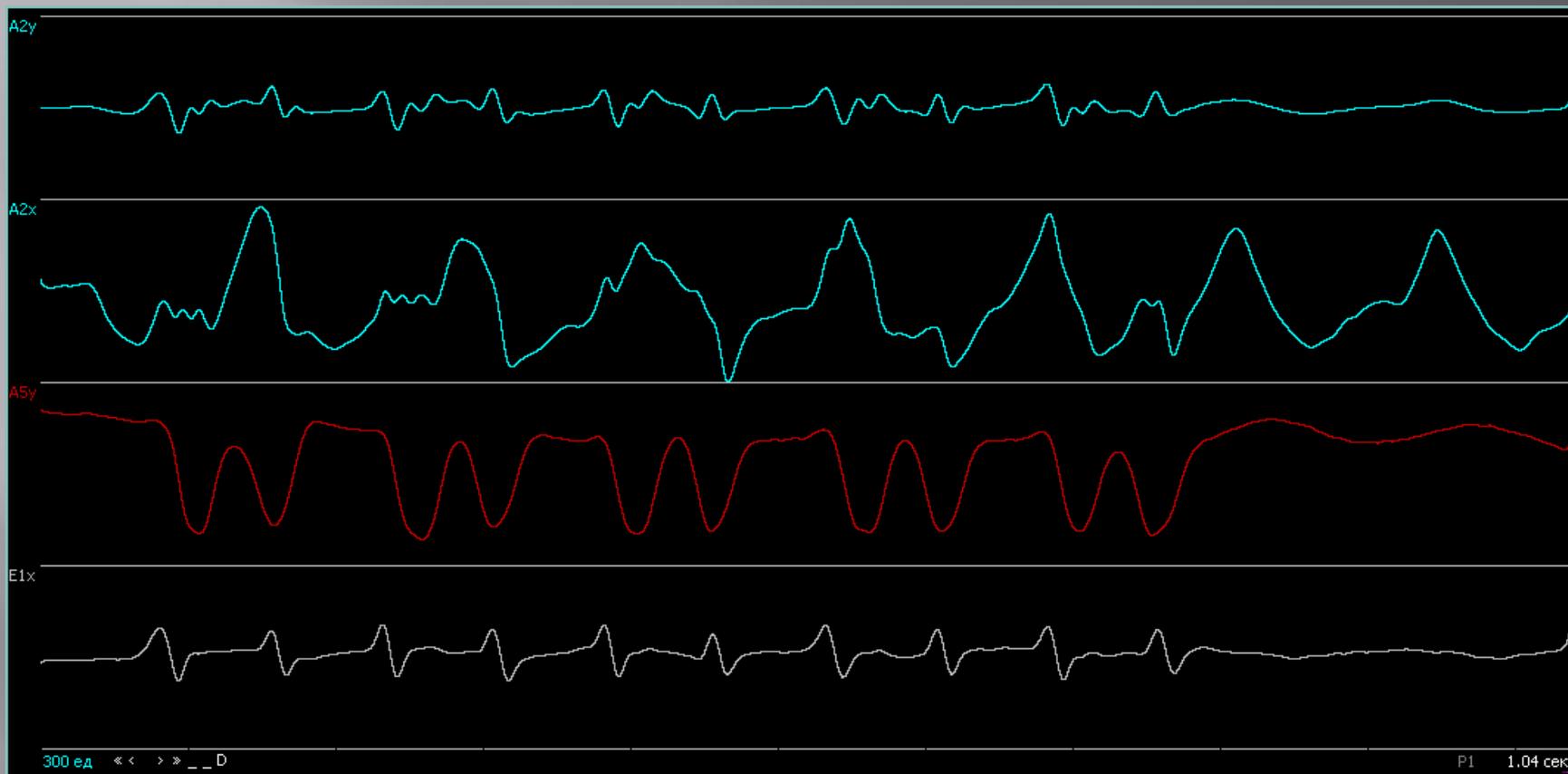
# Испытательный стенд



# Транспортная тара

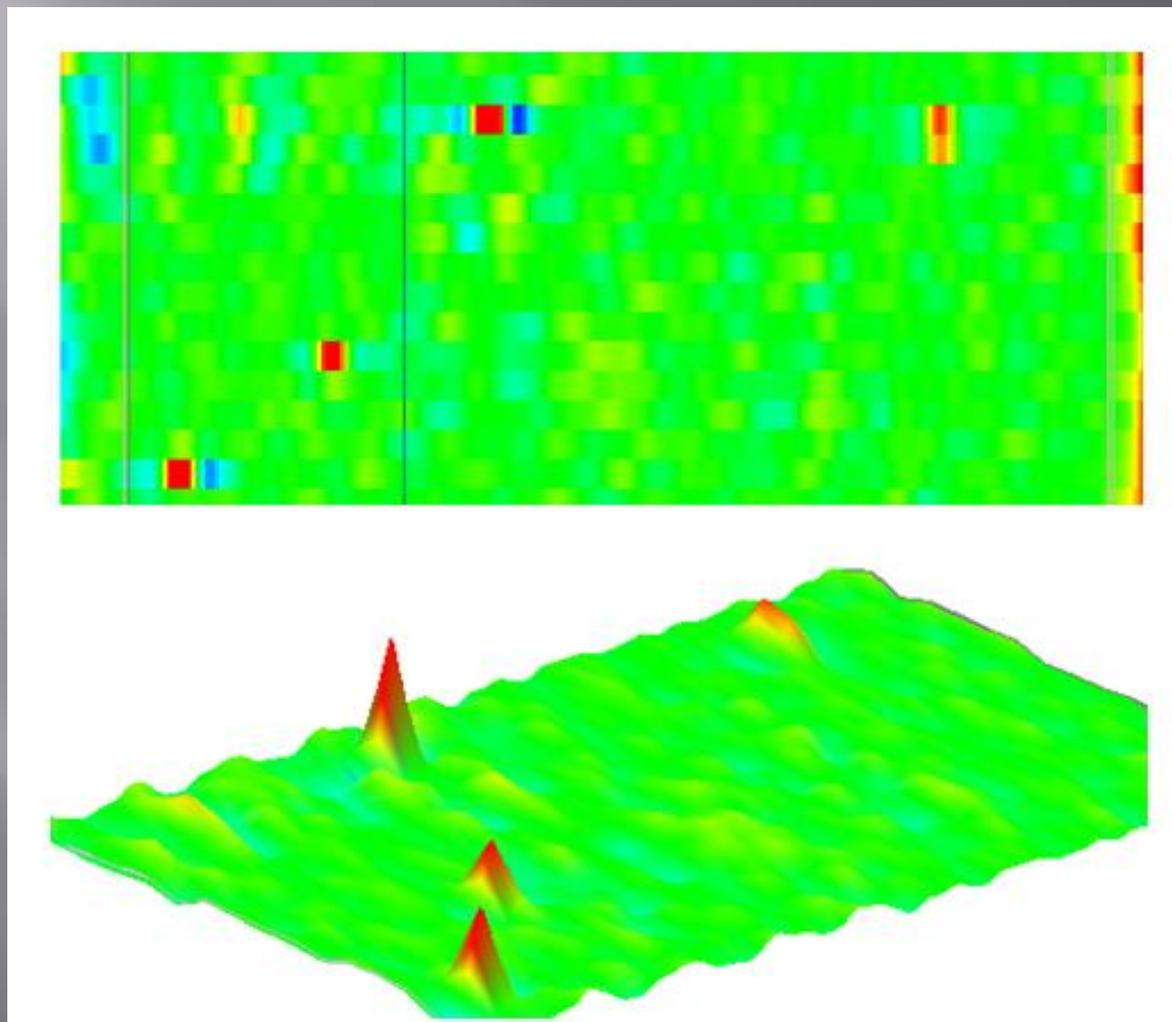


# Алгоритм определения глубины дефекта одноэлементным зондом

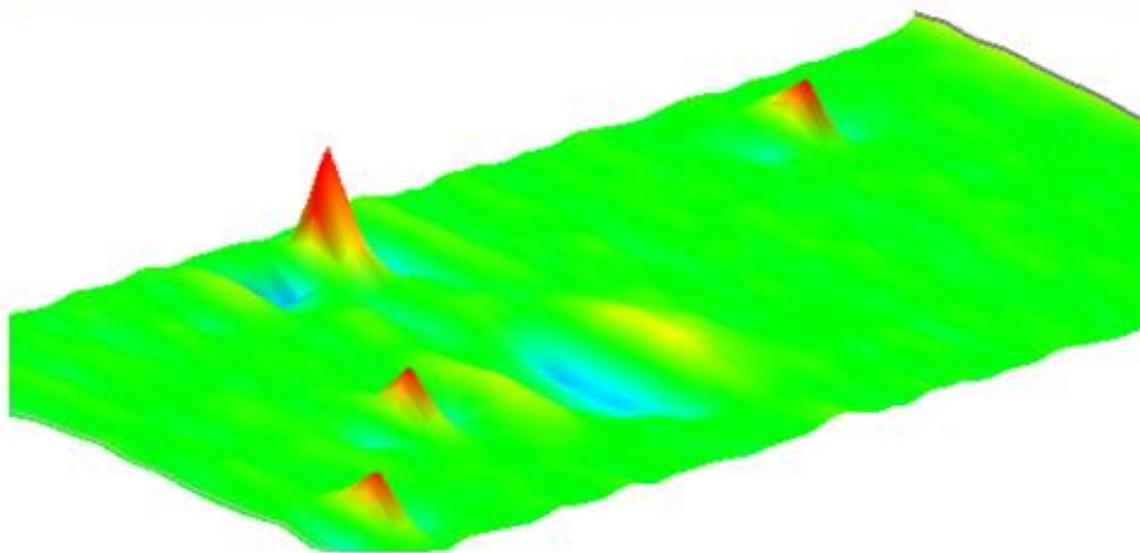
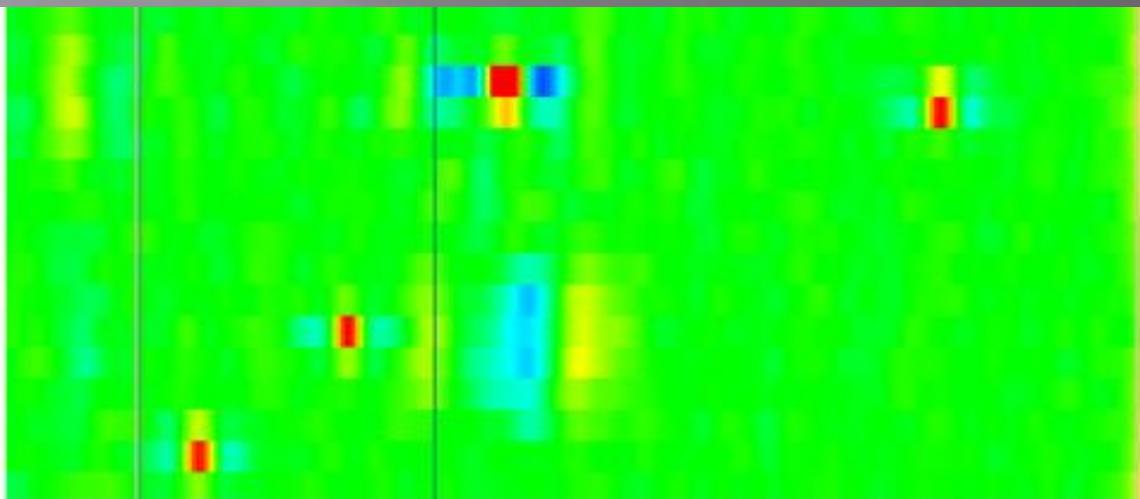


**ПГ26, 10 сквозных продольных трещин под краем  
дистанционирующей решетки (84 – 99%)**

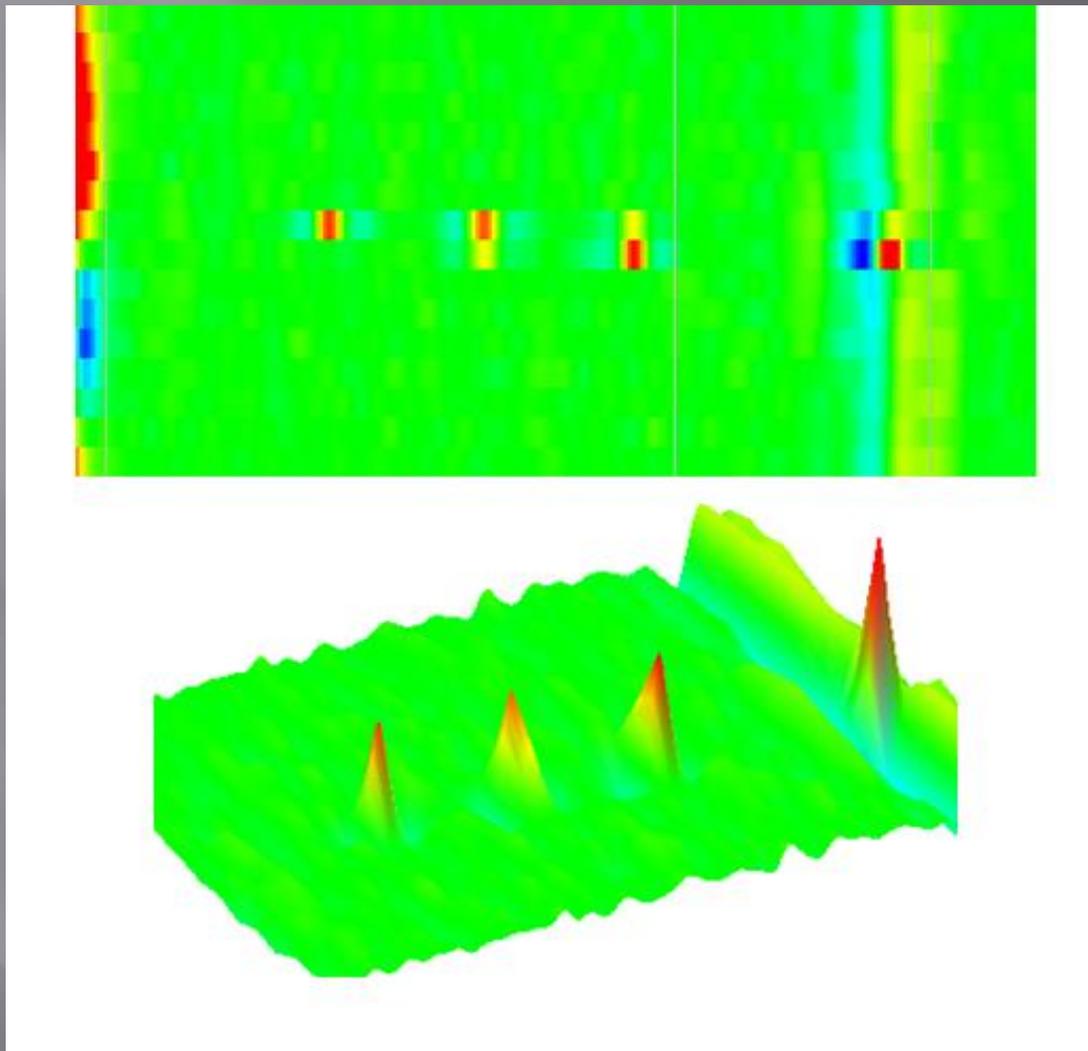
# Примеры сигналов записанных многоэлементным ВТП



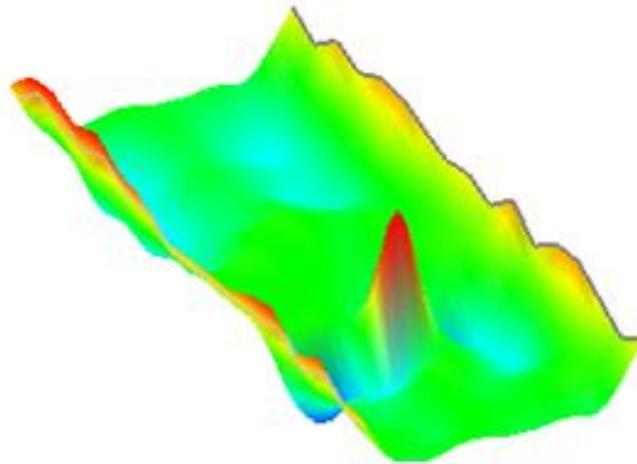
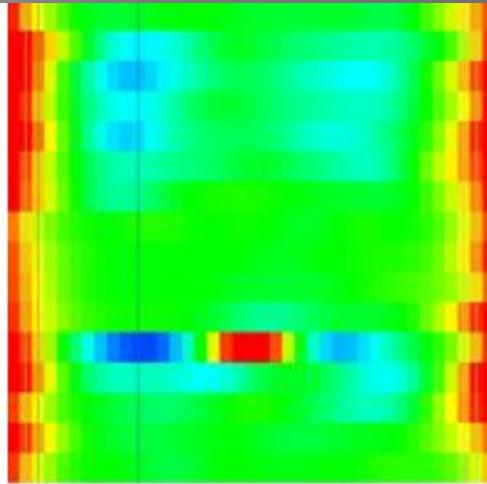
ПГ05-01, три язвы на гйбе и одна на прямом  
участке 30%



ПГ06-01, трещины продольные 50% на гйбе под дистанционирующей решёткой



ПГ12-01, дефекты 50% в зоне вальцовки, язва 60% в переходной зоне вальцовки

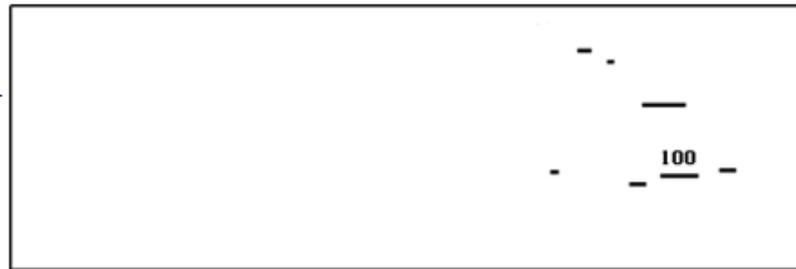


0119, трещина наружная 40% под верхней пластиной  
дистанционирующей решётки

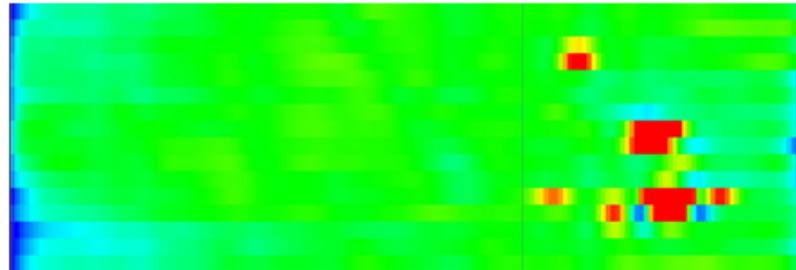
# Сравнение сигналов, полученных одноэлементным и многоэлементным преобразователями вихретоковыми

В качестве испытательного образца использован образец № 0077 с множественными реалистичным дефектами. Согласно паспорту на образец один из дефектов имеет глубину 100 % (на рисунке отмечен «100»), данные по глубинам остальных дефектов в паспорте отсутствуют (дефекты непреднамеренные). Рисунки приведены в одном масштабе.

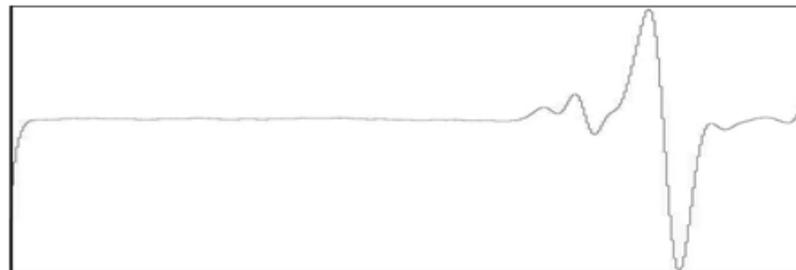
Схема расположения дефектов. Изображение представлено в виде развертки трубы. Дефекты изображены согласно паспорту на образец.



Сигналы, полученные многоэлементным преобразователем вихретоковым



Сигналы, полученные одноэлементным преобразователем вихретоковым



# Погрешность определения глубин дефектов на прямом участке трубы

Глубина дефекта, %	Среднее измеренное значение глубины дефекта, %			
	10,5*	10,5+p**	11,0	11,0+p
100	96,0	94,2	95,9	96,3
75	72,3	72,1	70,4	72,2
60	57,2	58,5	59,0	57,3
50	48,0	48,0	49,0	46,1
40	42,8	40,4	44,3	40,0
20	26,7	25,8	29,0	23,9

\*- Диаметр датчика используемого зонда;

\*\* - Дефект под дистанционирующей решеткой.