

# **Tomsk Open Laboratory for Material Inspection — TOLMI**

**ФГАОУ ВО «Национальный  
исследовательский Томский  
политехнический университет»**

- **Соглашение о предоставлении субсидии № 14.575.21.0048**

**от 27.06.2014**

- **Тема проекта:**

«Разработка технологии диагностики и оценки остаточного ресурса контейнеров с отработавшим ядерным топливом на базе метода ультразвуковой томографии»

- **Получатель субсидии:**

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

- **Индустриальный партнер: ООО «ИнТех»**

- **Объем средств субсидии:**

Всего 26 млн. руб.

2014 г. – 8 млн. руб.; 2015 г. – 10 млн. руб.; 2016 г. – 8 млн. руб.;

- **Объем привлекаемых внебюджетных средств:**

Всего 9,14 млн. руб.

2014 г. – 2,81 млн. руб.; 2015 г. – 3,52 млн. руб.;

2016 г. – 2,81 млн. руб.;

- **Докладчик: Болотина Ирина Олеговна**

к.т.н., доцент кафедры промышленной и медицинской электроники Института неразрушающего контроля ТПУ

Позиция в проекте: ответственный исполнитель

Разработка технологии контроля сварных соединений и основного материала контейнеров с отработавшим ядерным топливом, позволяющей оценить остаточный ресурс контейнеров с ОЯТ.

## **Перспективы коммерциализации результатов проекта:**

- Разработанная технология предполагается к промышленной коммерциализации на базе ФГУП Горно-химический комбинат (г. Железногорск);
- Возможно перенести технологию для оценки остаточного ресурса нефте- и газопроводов;
- Программа томографической реконструкции изображений может выступать отдельным продуктом для коммерциализации.

# Планируемые результаты

## 2014 год

- Аналитический обзор литературы по теме.
- Отчет о патентных исследованиях.
- Лабораторная установка УЗК сварных швов со стандартизированными дефектами.
- Экспериментальные образцы сварных швов со стандартизированными дефектами.

## 2015 год

- Программа томографической реконструкции изображений сварных соединений контейнеров с ОЯТ.
- Библиотека дефектов сварных соединений контейнеров с ОЯТ.
- Результаты моделирования акустического поля измерительных преобразователей в объекте контроля, с учетом структурных особенностей конструкционного материала и геометрии объекта.

## 2016 год

- Макет автоматизированной системы ультразвуковой томографии.
- Блок управления автоматизированной системой контроля сварных соединений контейнеров с ОЯТ.
- Программа и методика лабораторных испытаний макета автоматизированной ультразвуковой системы томографического контроля сварных соединений контейнеров с ОЯТ.
- Измерительные преобразователи фазированных антенных решеток.
- Проект технического задания на проведение ОКР по теме: «Разработка промышленной автоматизированной системы ультразвуковой томографии».

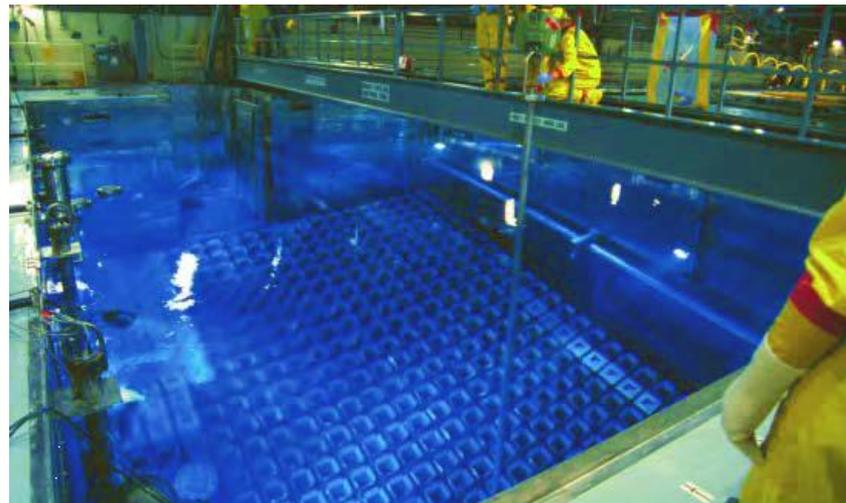
## Промышленное внедрение результатов проекта:

Инициатор проекта ФГУП ГХК – единственное предприятие в РФ, использующее технологии сухого хранения ОЯТ. Обсуждается возможность внедрения технологии контроля на второй очереди сухого хранения ФГУП ГХК.

«Сухое» хранилище



«Мокрое» хранилище

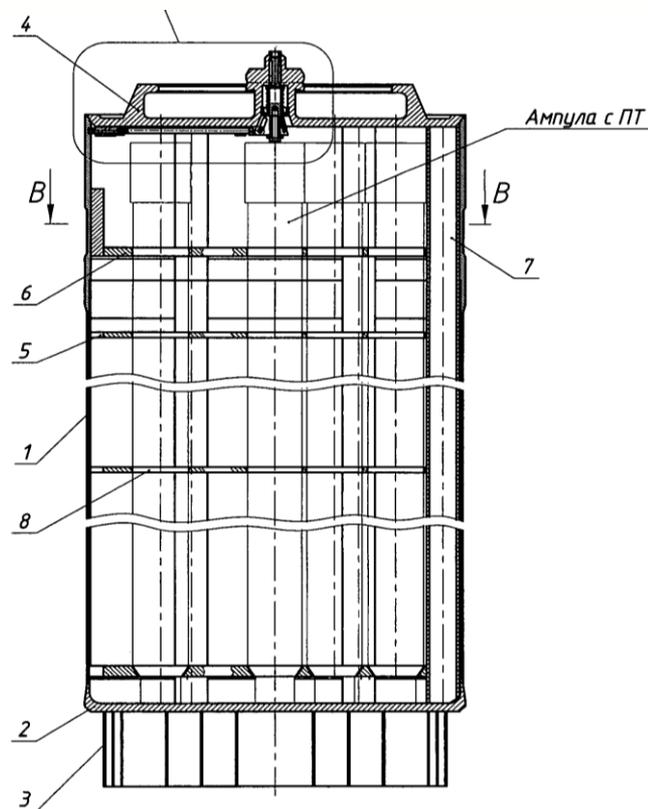


# Задачи

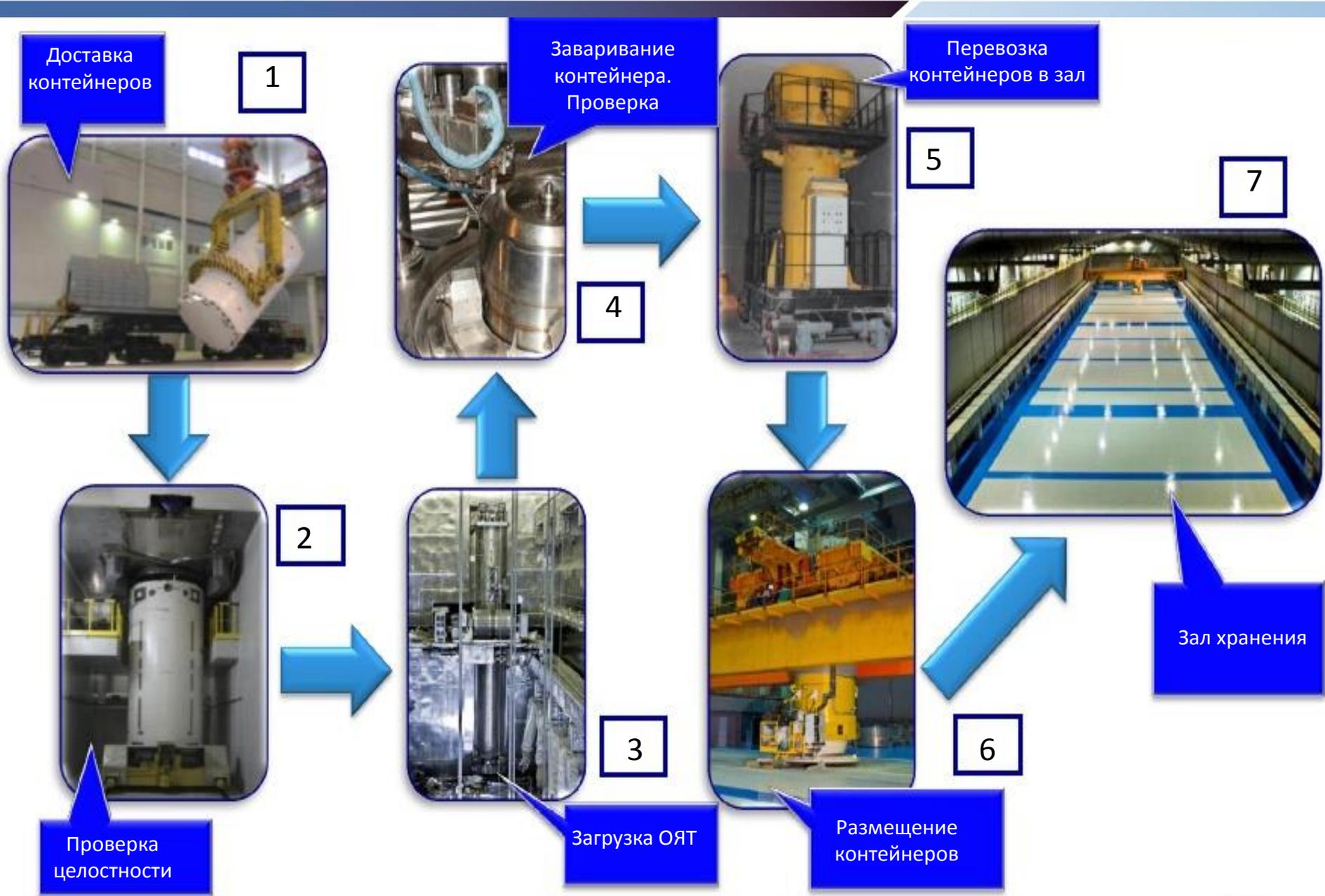
1. Разработка технологии контроля сварных соединений и основного материала контейнеров с отработавшим ядерным топливом.
2. Разработка методики оценки остаточного ресурса контейнеров с отработанным ядерным топливом на основе томографической реконструкции.
3. Разработка роботизированной системы контроля сварных соединений и основного материала контейнеров с отработавшим ядерным топливом.
4. Подготовка задания на выполнение ОКР.



**Рис. 1 - SKODA VPVR/M  
контейнер для сухого хранения  
и транспортировки ОЯТ**



**Рис. 2 - Контейнер RU 2435239 сухого  
хранения ОЯТ на ГХК**



\* Safety of SNF “wet” and “dry” storage facilities, Petr M. Gavrilov, Director General of FSUE “Mining and Chemical Combine”

# Работы, проведенные в 2014 г.

Традиционно зарубежный опыт контроля сварных соединений контейнеров с ОЯТ основывается на применении рентгеновского и ультразвукового контроля .

Рентген	Ультразвук
Легкость интерпретации результатов	Выявление «схлопнувшихся» трещин
Разработанные стандарты проведения контроля	Низкие эксплуатационные затраты
Дозовая нагрузка на персонал	Необходимость высокой квалификации инспектора

Интенсивное развитие технологий ультразвуковой диагностики привело к внедрению способов трехмерной визуализации и расширению возможностей для автоматизации контроля.

Вследствие появления новых конкурентных преимуществ ультразвуковые методы контроля все чаще заменяют рентген.

## Современные методики реконструкции и визуализации

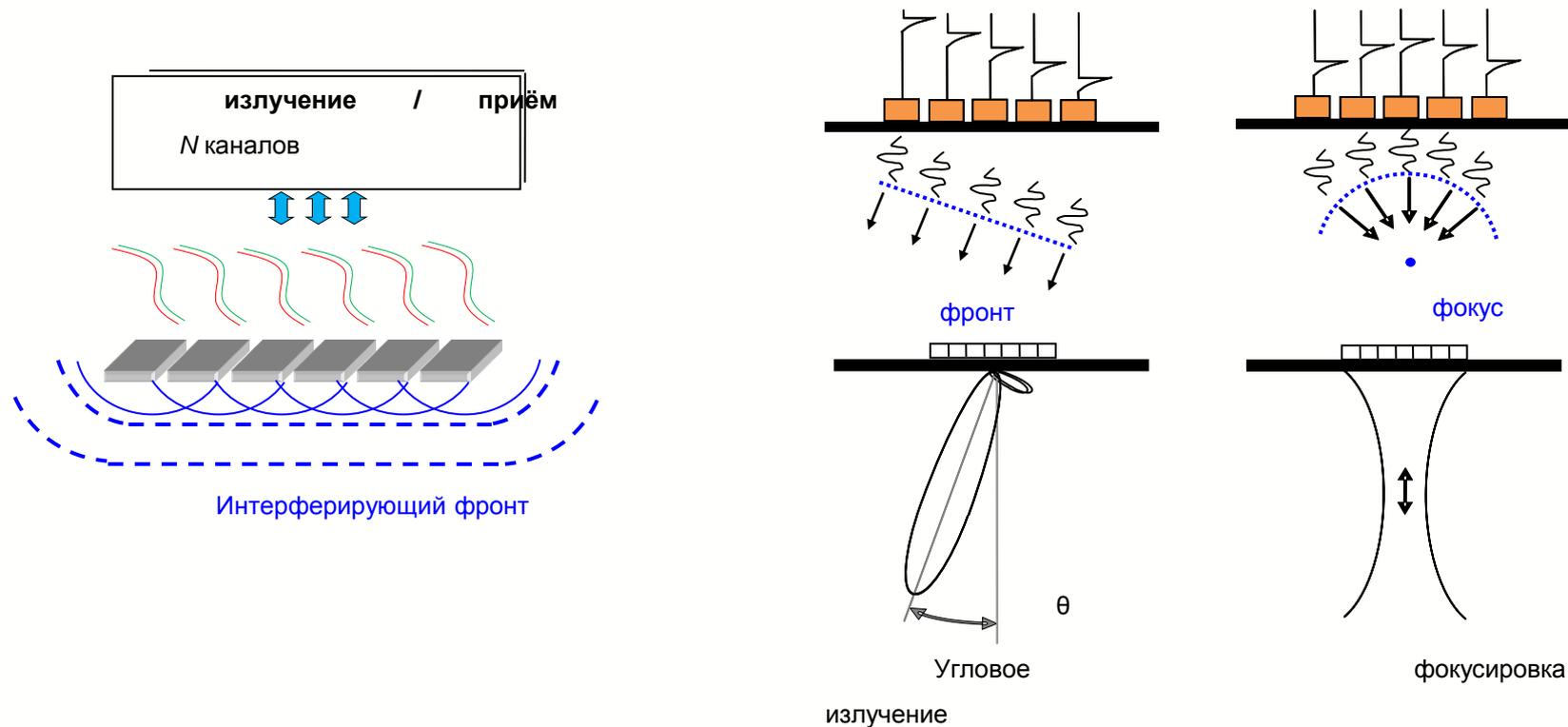
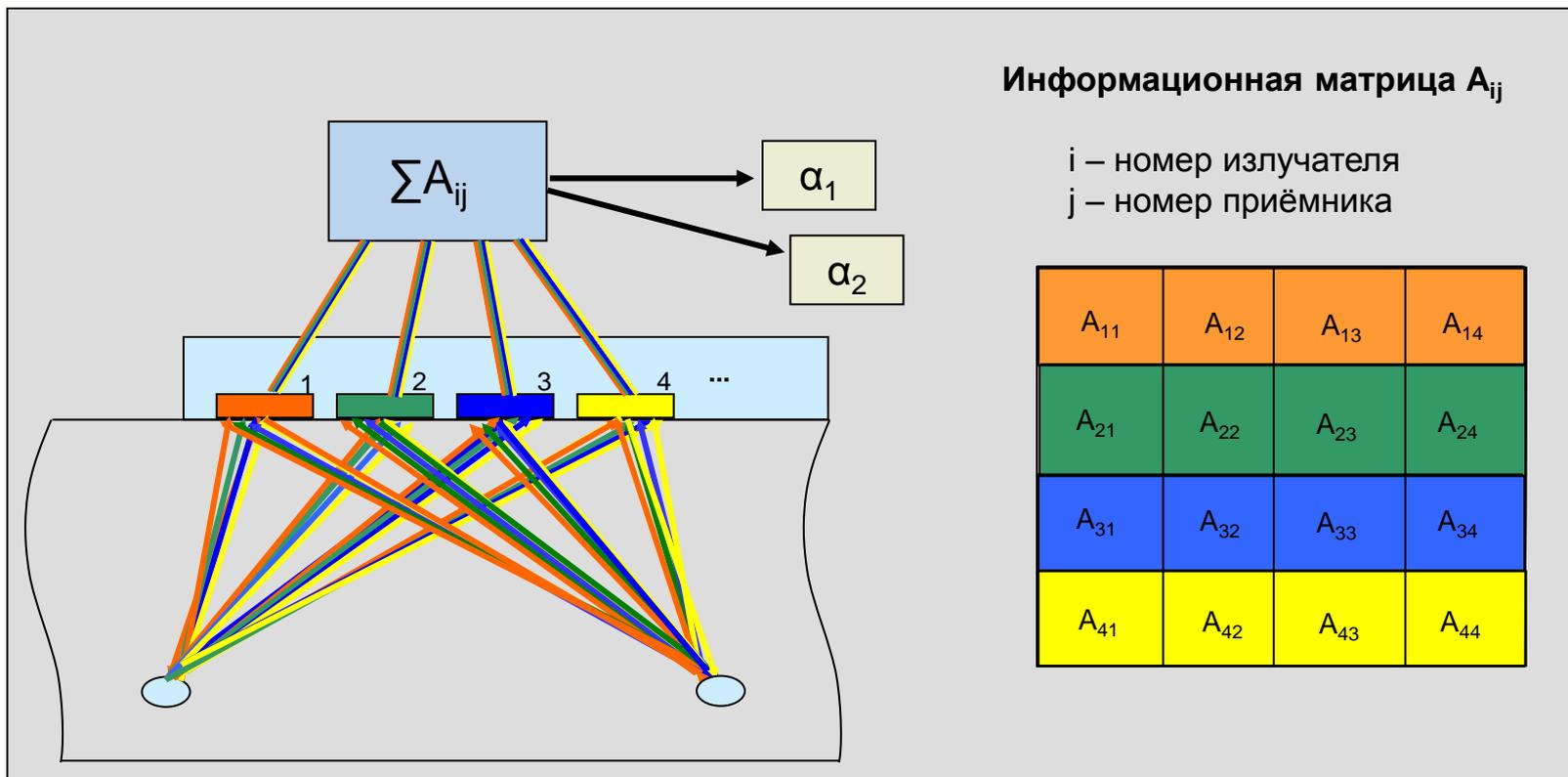


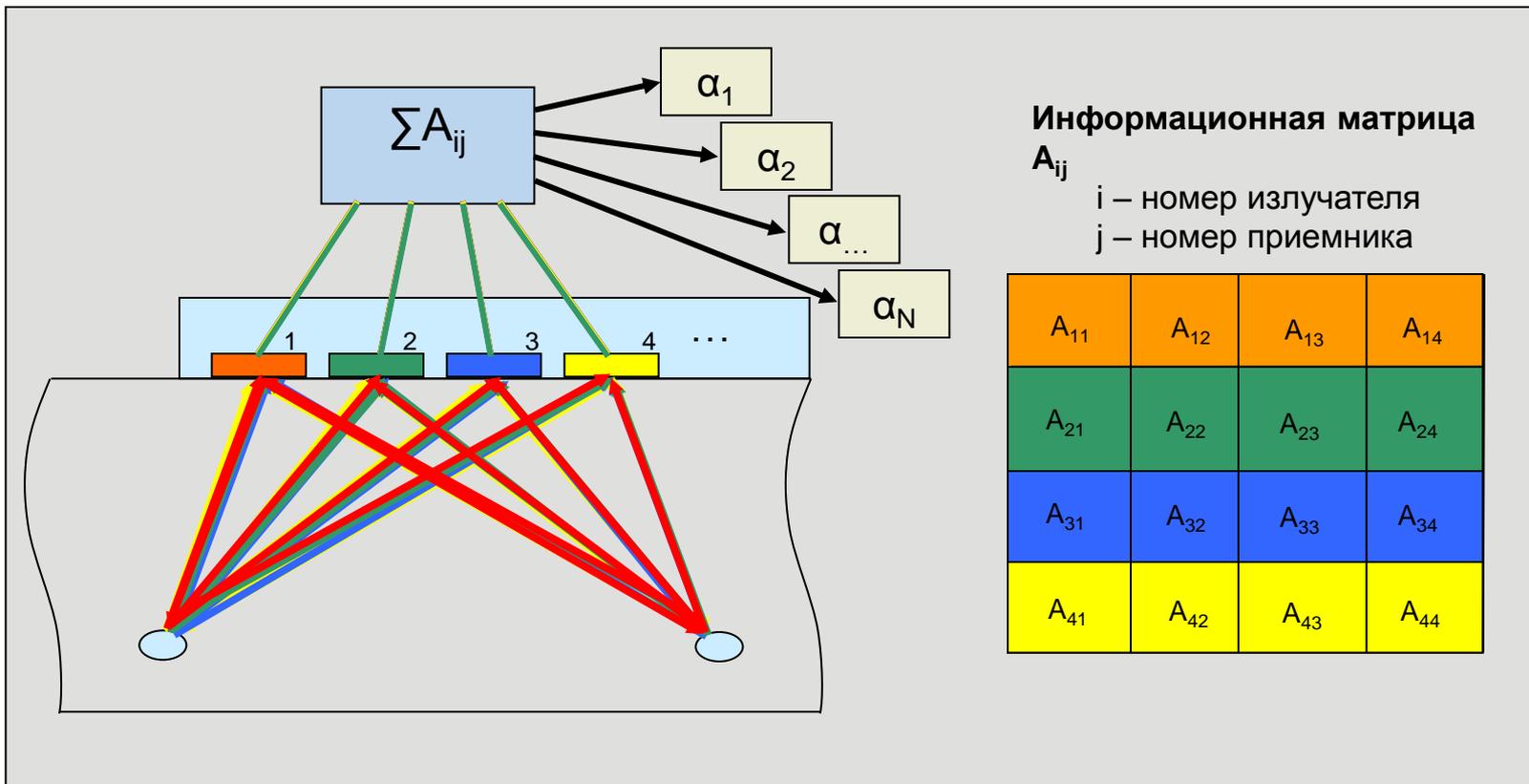
Рис. 3 - Режимы работы многоэлементного преобразователя

- „Обычная “ фазированная решётка
- Информационное содержание



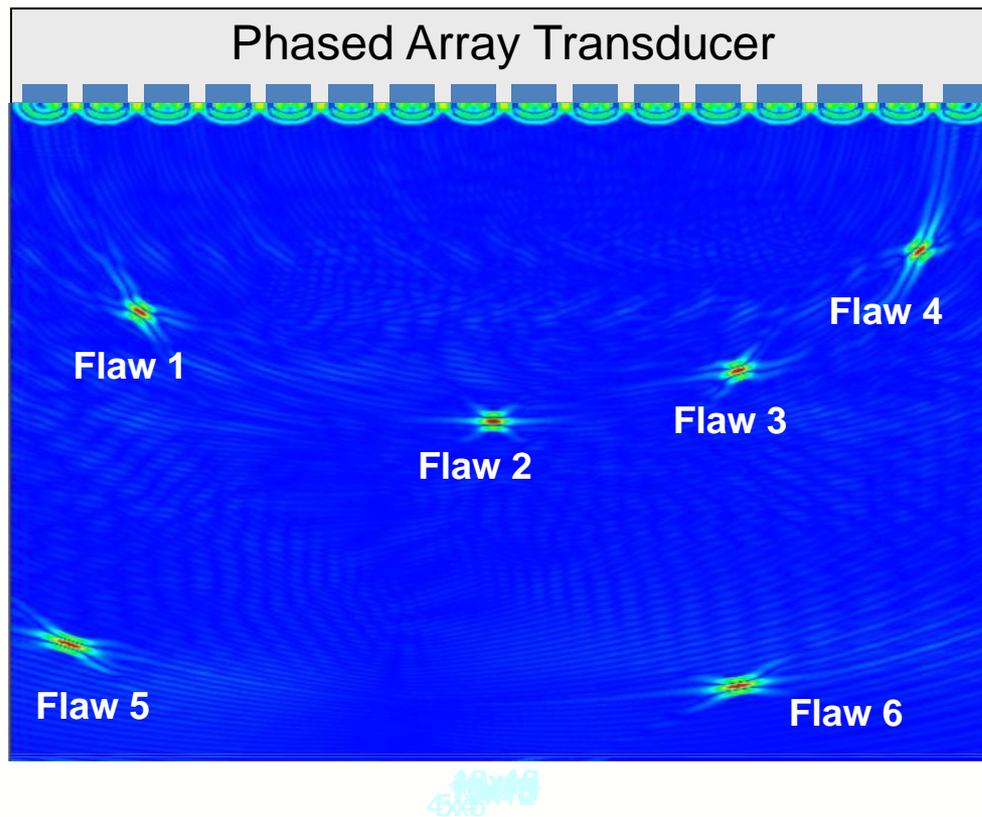
## Digital Focus Array (N x N)

Информационное содержание

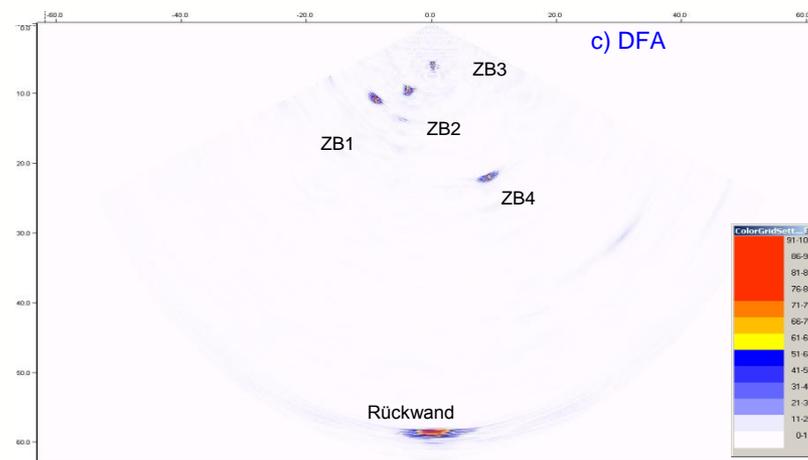
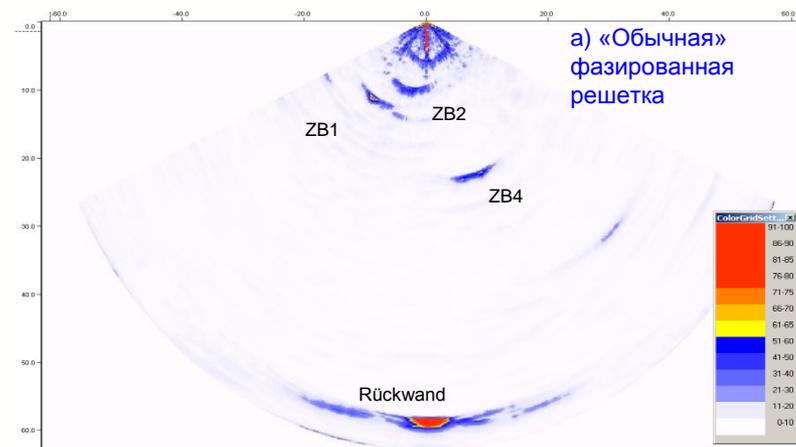
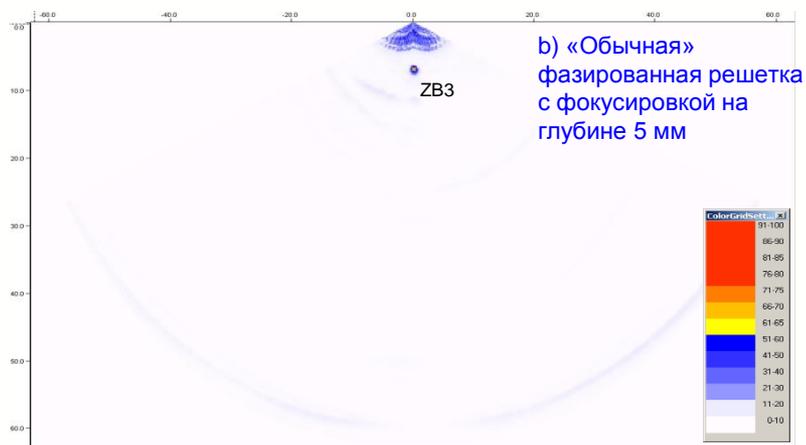


## Digital Focus Array

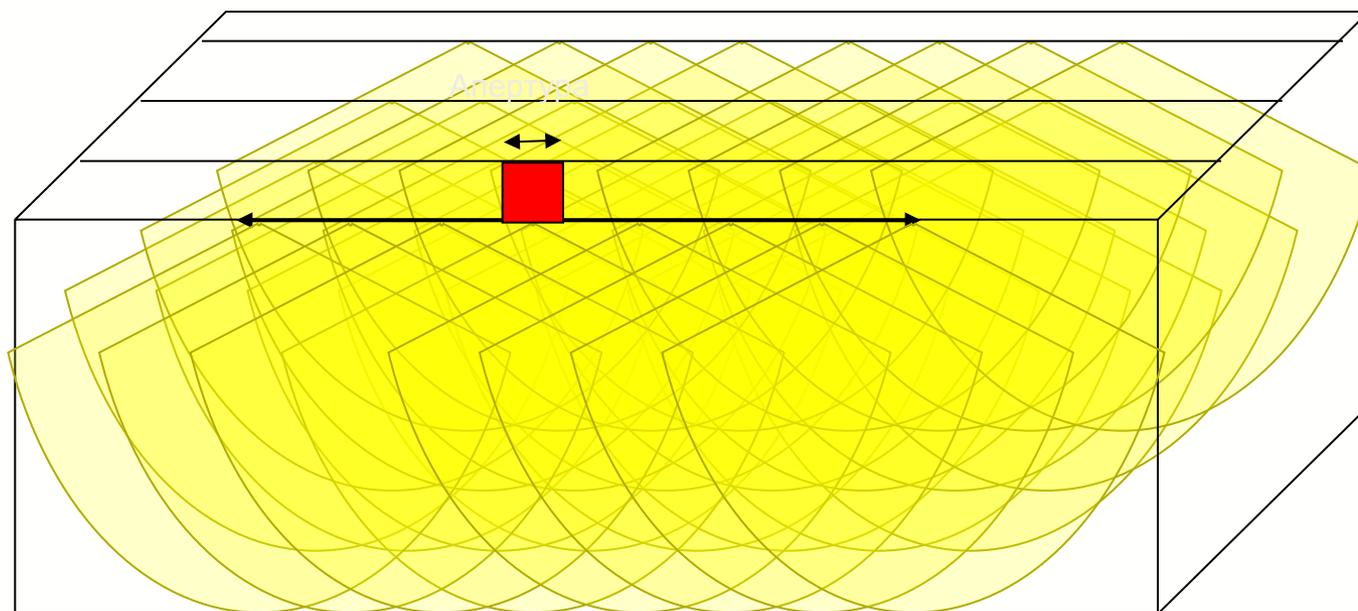
Процесс излучения / приема



## Digital Focus Array



## Наращивание синтетической апертуры сканированием



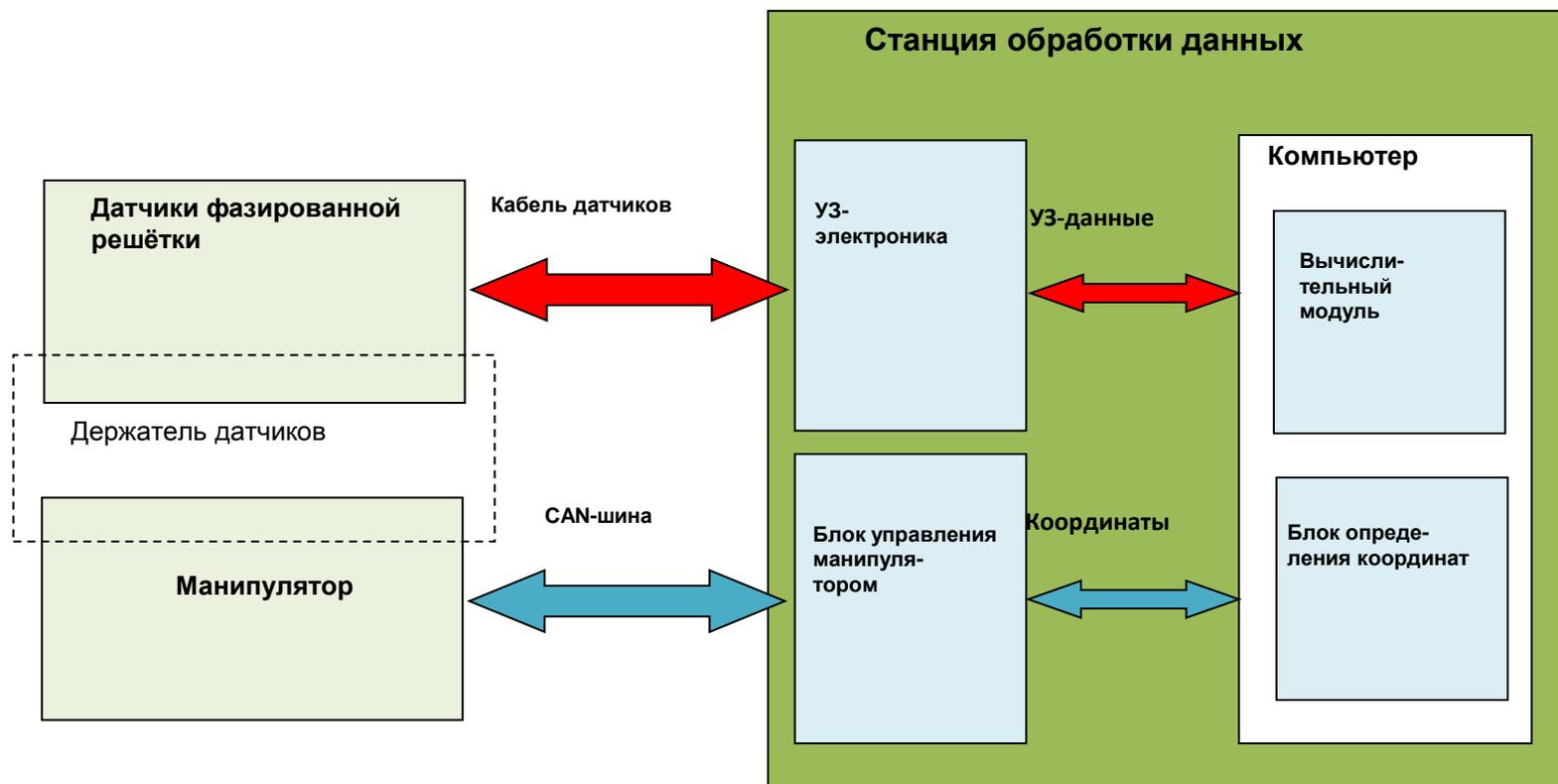
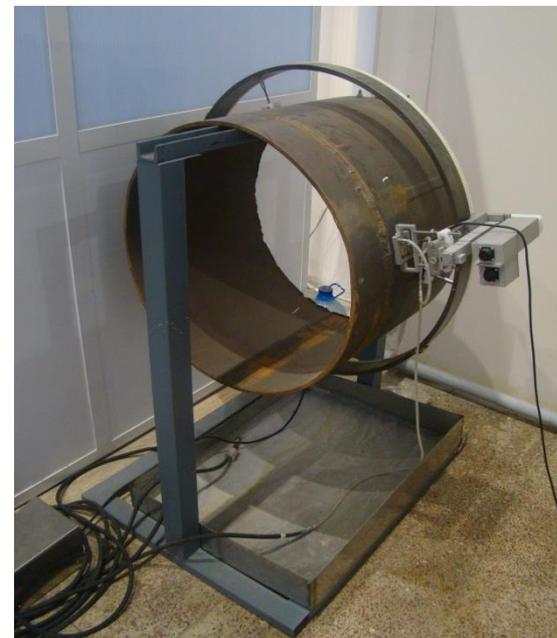
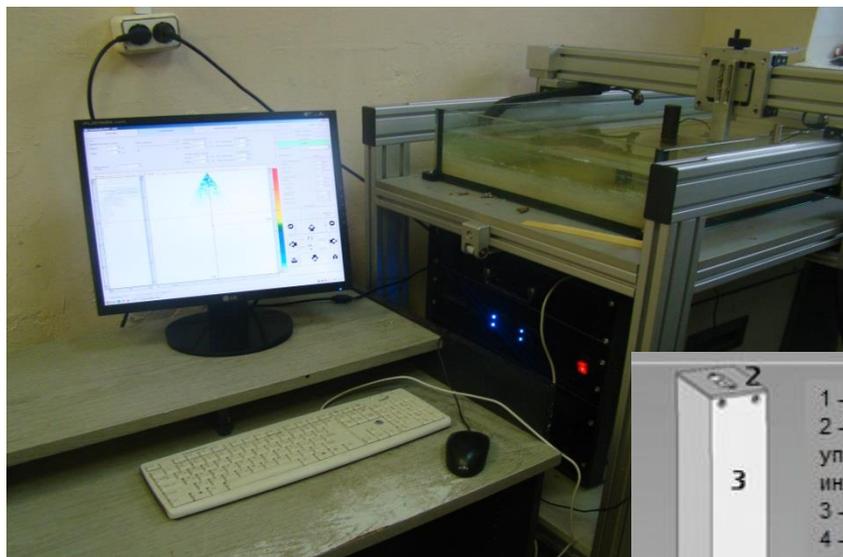


Рис. 7 - Структурная схема лабораторной установки для УЗК сварных швов



**Рис. 8 - Лабораторные установки для УЗК сварных швов**

# Работы, проведенные в 2014 г.

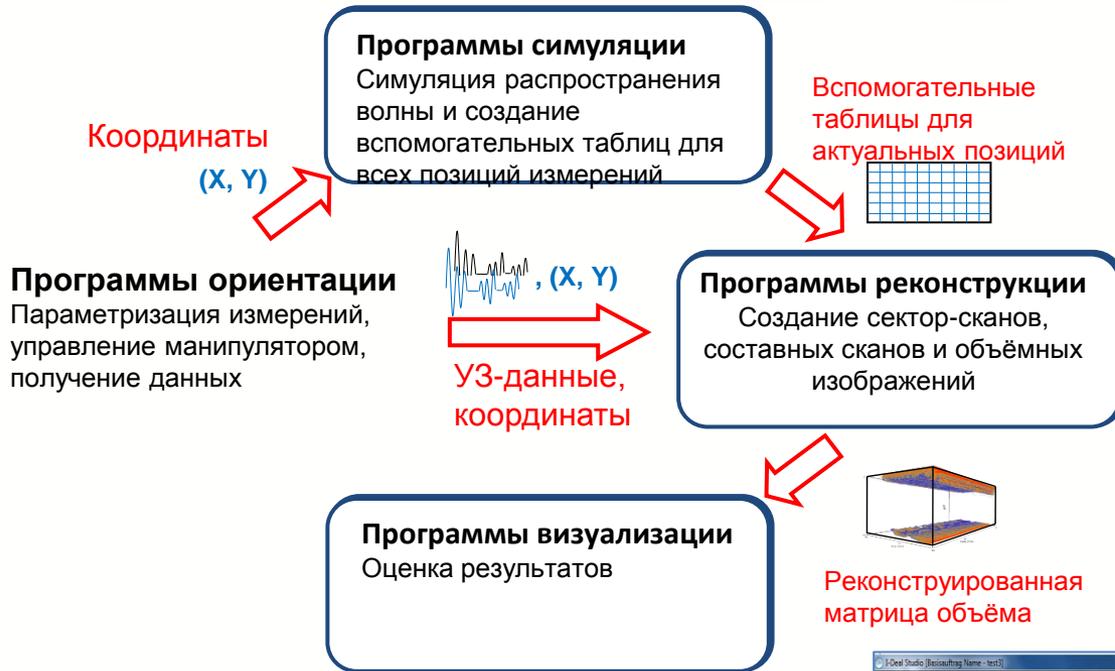
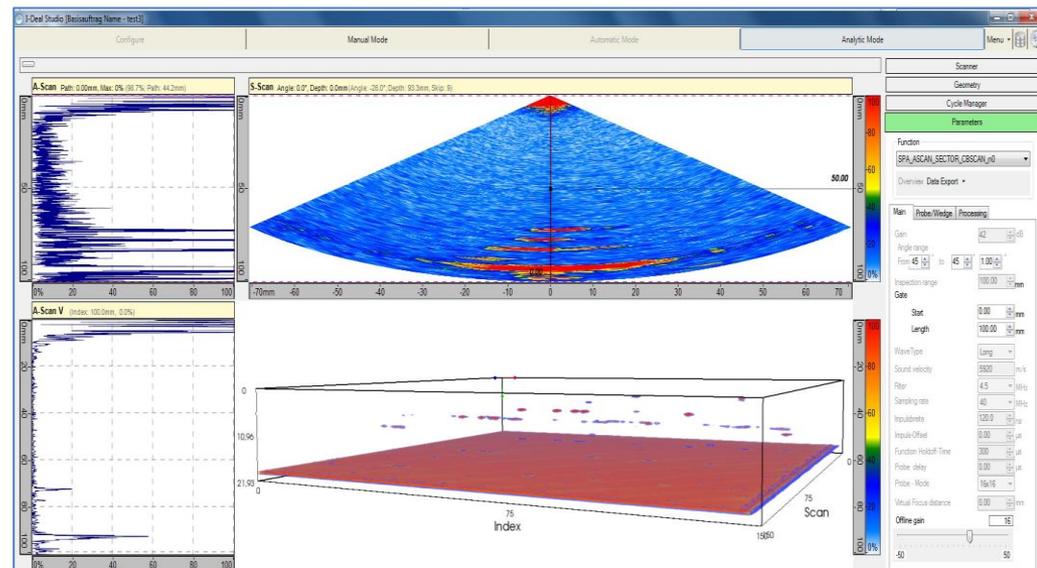


Рис. 9 - Взаимодействие модулей программного обеспечения

Рис. 10 - 3D- визуализация результатов УЗ- исследований с помощью метода DFA





**Рис. 11 - Образцы для исследований**

**Рис. 12 -  
Схематическое  
изображение позиций  
измерения для  
плоского образца**

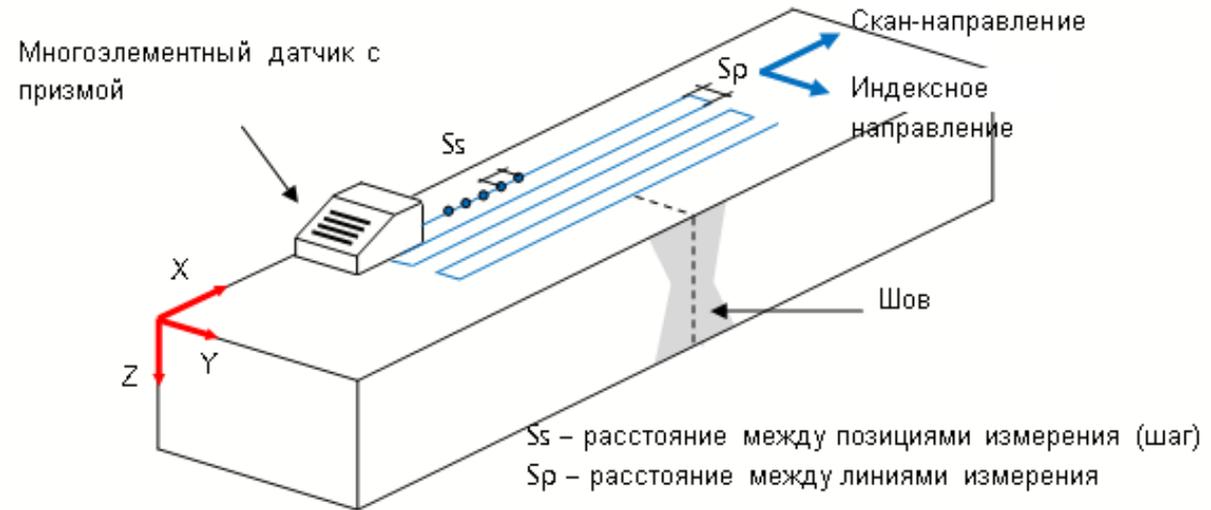
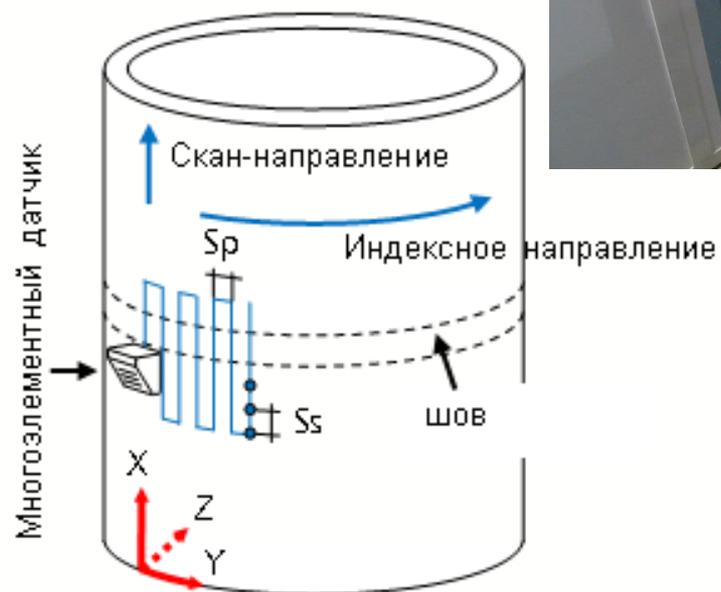
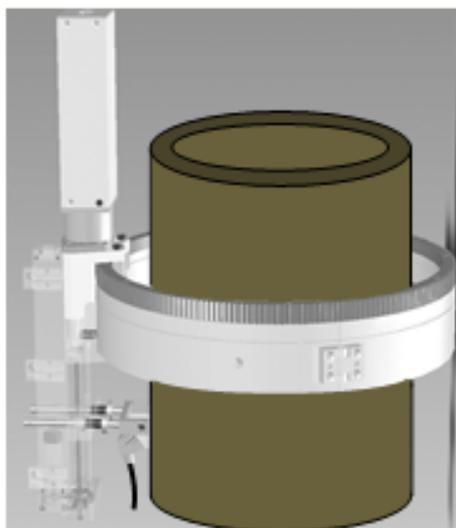


Рис. 13 - Образцы для исследований



$S_s$  – расстояние между позициями измерения (шаг)  
 $S_p$  – расстояние между линиями измерения

Рис. 61 - Схематичное изображение позиций измерения на трубе со сварным соединением



Рис. 14 - Составной-B-скан образца P1/50

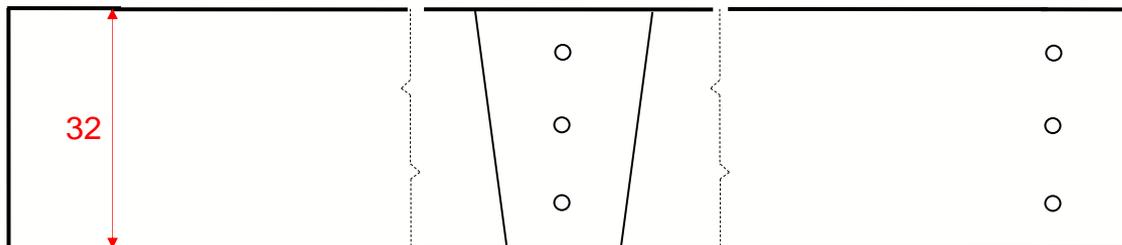
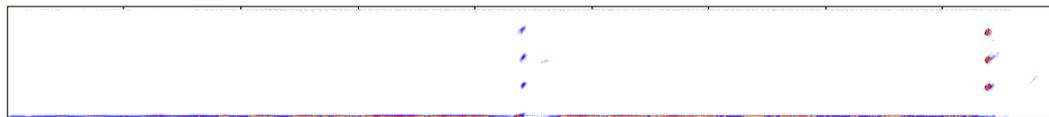
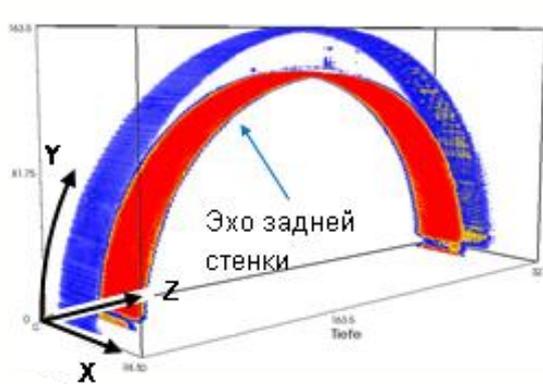


Рис. Чертёж образца

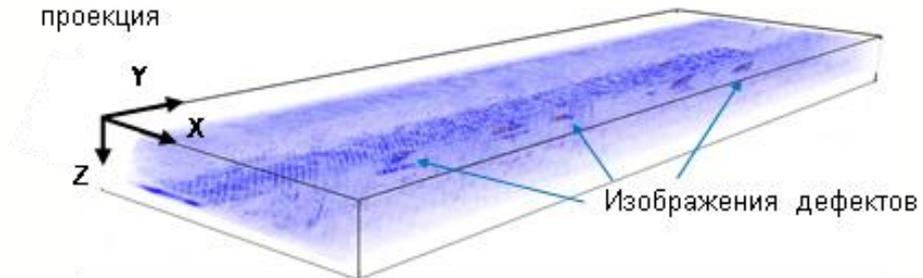


**Рис. 15 - Составной В-скан образца R33**

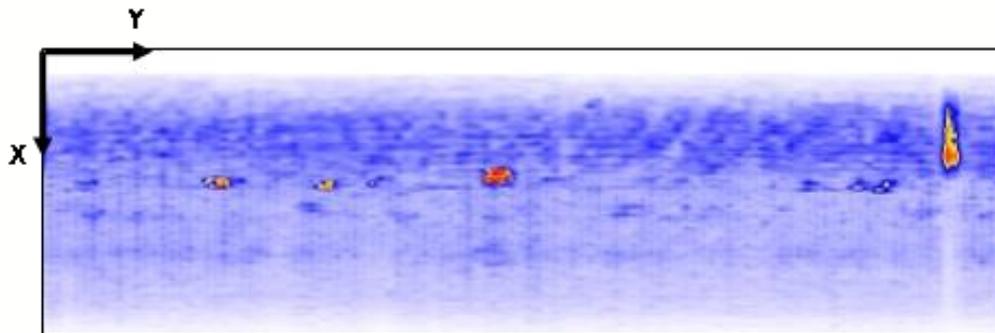
# Работы, проведенные в 2014 г.



Представления фактической геометрии трубы: Объемное изображение и проекция



«Развёртка» объемного изображения



C-скан образца в форме трубы

## Перечень работ, выполненных за счет средств Субсидии:

1. Проведен аналитического обзора современной научно-технической, нормативной, методической литературы.
2. Сделан выбор и обоснование методов, средств, направления исследований и способы решения поставленных задач в области ультразвуковой томографии с целью оценки остаточного ресурса контейнера с ОЯТ.
3. Проведены патентные исследования.
4. Разработана программы и методики (ПМ) проведения лабораторных исследований по УЗК экспериментальных образцов, переданных индустриальным партнером.
5. Проведены лабораторные исследования по УЗК экспериментальных образцов, переданных индустриальным партнером.
6. Проведена обработка первичных данных экспериментальных исследований по УЗК экспериментальных образцов, переданных индустриальным партнером.
7. Опубликована статья «Closure Welds Identification by Means of Ultrasonic Testing» // Advanced Materials Research. - Vol. 1040 (2014) pp 933-936.

## Перечень работ, выполненных за счет внебюджетных средств:

1. Проведена сравнительная оценка вариантов возможных решений исследуемой проблемы с учетом результатов прогнозных исследований, проводившихся по аналогичной тематике.
2. Создана лабораторная установка для УЗК экспериментальных образцов, переданных индустриальным партнером.

## Перечень работ, выполненных за счет внебюджетных средств индустриального партнера:

1. Разработка эскизной документации на экспериментальные образцы сварных швов со стандартизированными дефектами.
2. Изготовление экспериментальных образцов сварных швов со стандартизированными дефектами при участии потенциального заказчика.

## Способы и действенность поддержки проекта Индустриальным партнером ООО «ИнТех»

- Согласно календарному плану проекта ООО «ИнТех» разработало и изготовило экспериментальные образцы
- Образцы были разработаны при участии ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ФГУП ГХК и I-Deal Technologies GmbH. Координатором работ и финансирующей стороной выступало ООО «ИнТех»
- Разработанные образцы переданы в ТПУ для проведения экспериментов по проекту и дальнейших исследований.
- ООО «ИнТех» ведет активный мониторинг отечественного и зарубежного рынка на предмет коммерциализации результатов ПНИ.
- Первые результаты проекта будут представлены на профильных выставках при участии и софинансировании ООО «Интех » в 2015 году.

Спасибо за  
внимание!

<http://tolmi.tpu.ru/>