



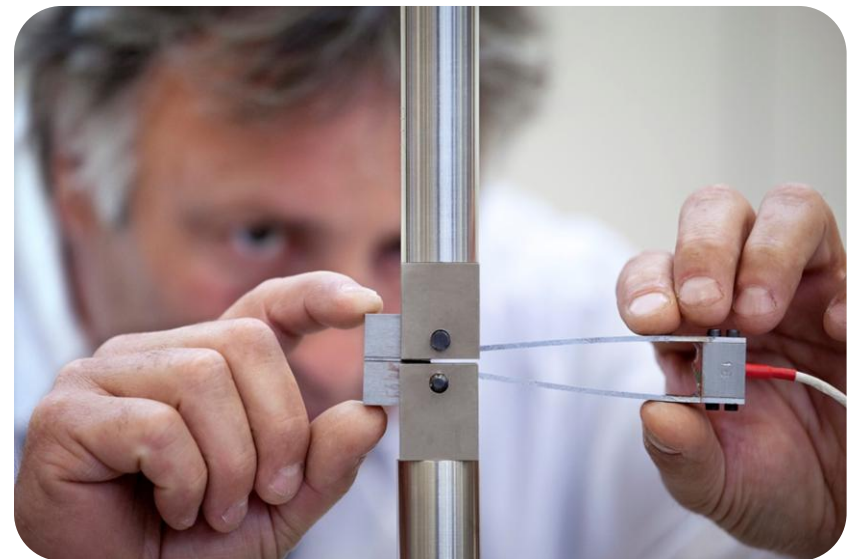
the materials ageing institute

# Институт старения материалов

## Международная инициатива в целях поддержки долгосрочной эксплуатации

МНТК, Май 21-23, 2014

Др. Ян ван дер Ли  
Др. Мишель Дебес  
EDF, Франция

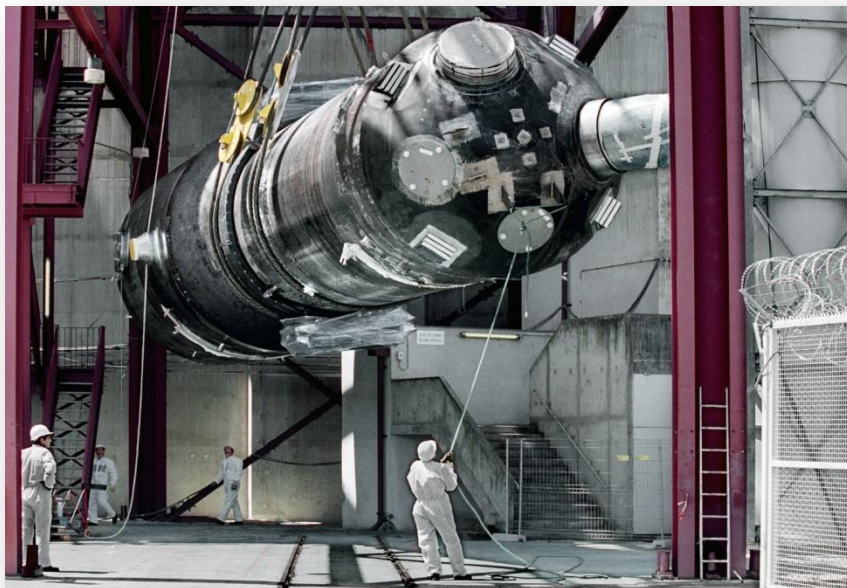


# Что делает эксплуатирующая организация

## Управление старением

- Инспекции
- Смягчение
- Замена

Пример: коррозионное растрескивание под напряжением ПГ



- Инспекция труб (ЕС)
- Снижение скорости
- Закрытие и/или вытягивание трубок
- Замена ПГ

Ключевые вопросы к ЭО:

- Какие трубки инспектировать?
- Когда производить замену?

# Что в идеале необходимо эксплуатирующей организации

## Прогностические возможности для

- Инспектирования
- Уменьшения последствий
- Замены



## Механистическое понимание процесса старения материалов

- Обратная связь
- Эксперименты
- Моделирование

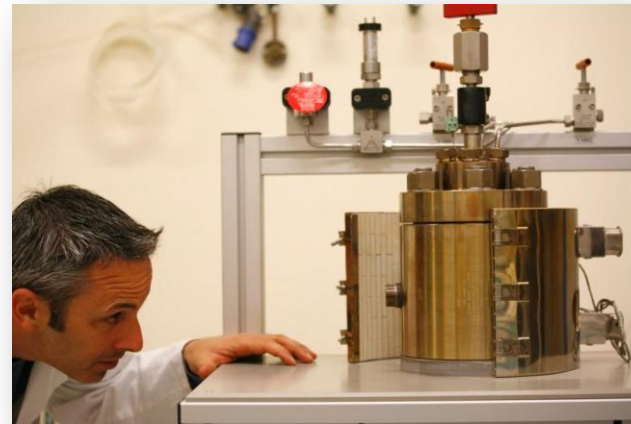
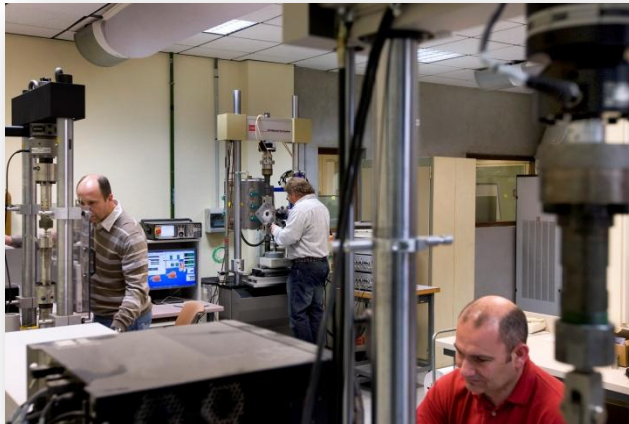
# Что в идеале необходимо эксплуатирующей организации

## Прогностические возможности для

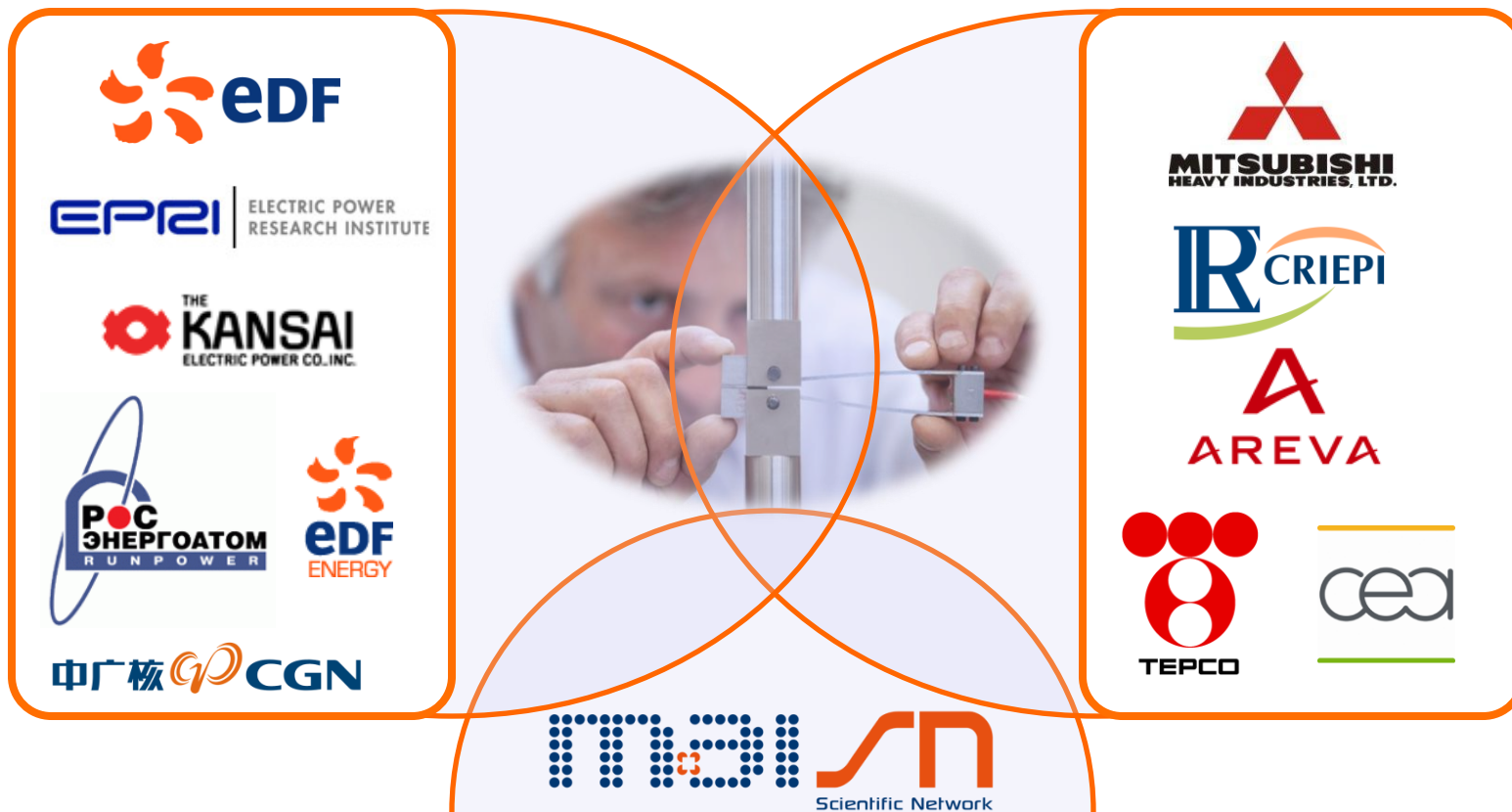
- Инспектирования
- Уменьшения последствий
- Замены



## Институт старения материалов



# Об Институте Старения Материалов МАИ

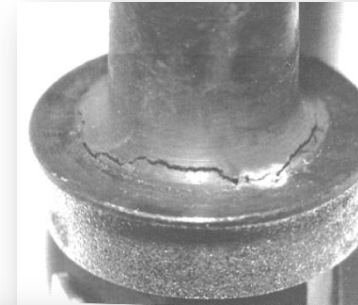


Университеты (Мичиганский, Массачусетский технологический, Тохоку, Университет манчестерского института науки и техники, Императорские университеты в Японии, Оксфорд, Руанский, Лилльский, Парижский...), Парижский технологический институт (факультеты: горный, мостовых конструкций, химический, Национальная высшая школа искусств и художеств), Технологический институт Гренобля, Национальный институт прикладных наук Лиона...

# Области исследований МАИ

- **Металлы**

Стали и сплавы корпуса реактора, внутренних компонентов, структур, компенсатора объёма, ПГ, труб, сварных швов ...



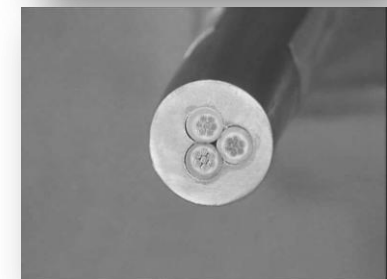
- **Бетон**

Конструкция контейнмента, градирен, труб, бассейн выдержки ...



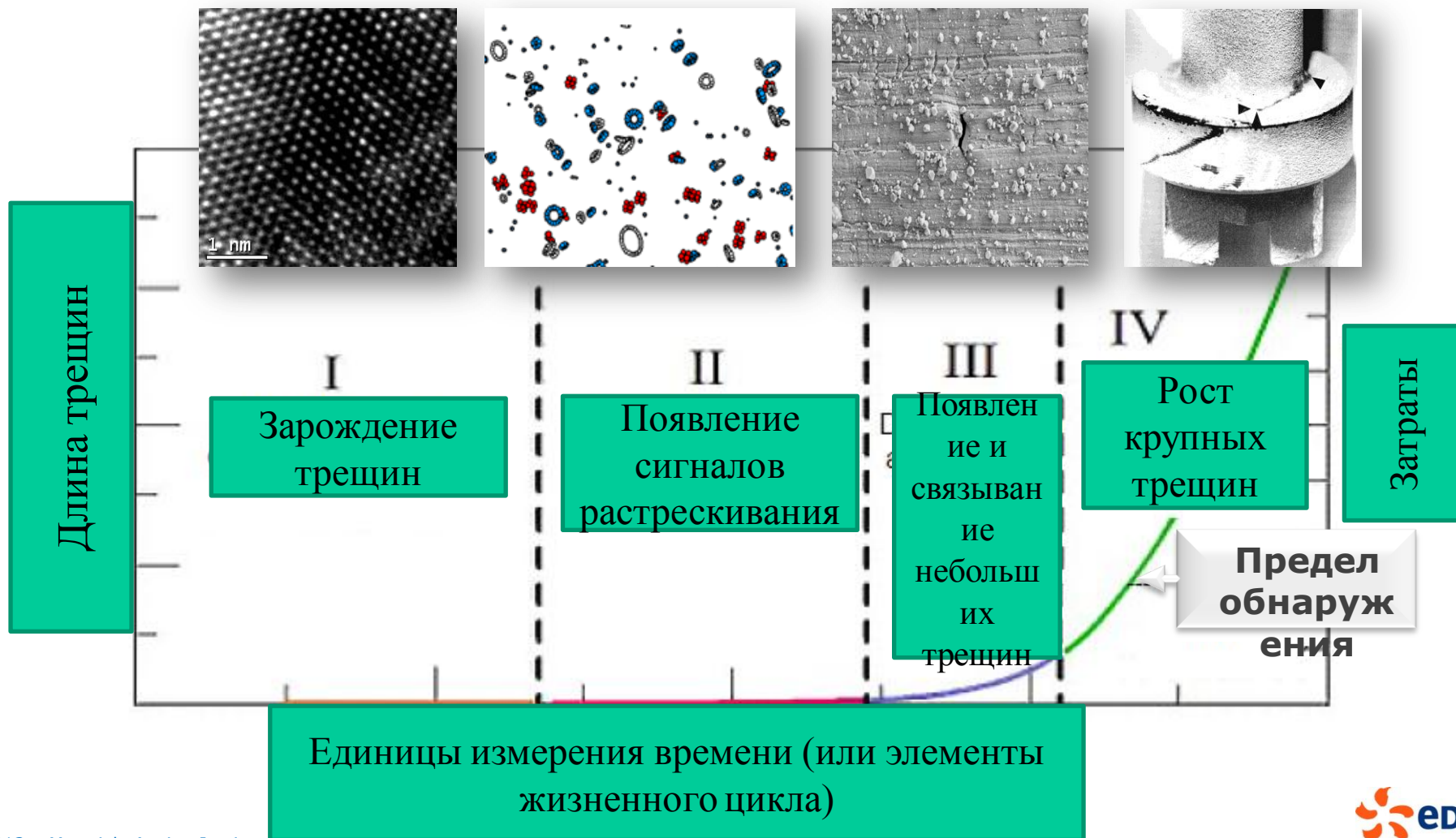
- **Полимеры**

Кабели, изоляция, платы...



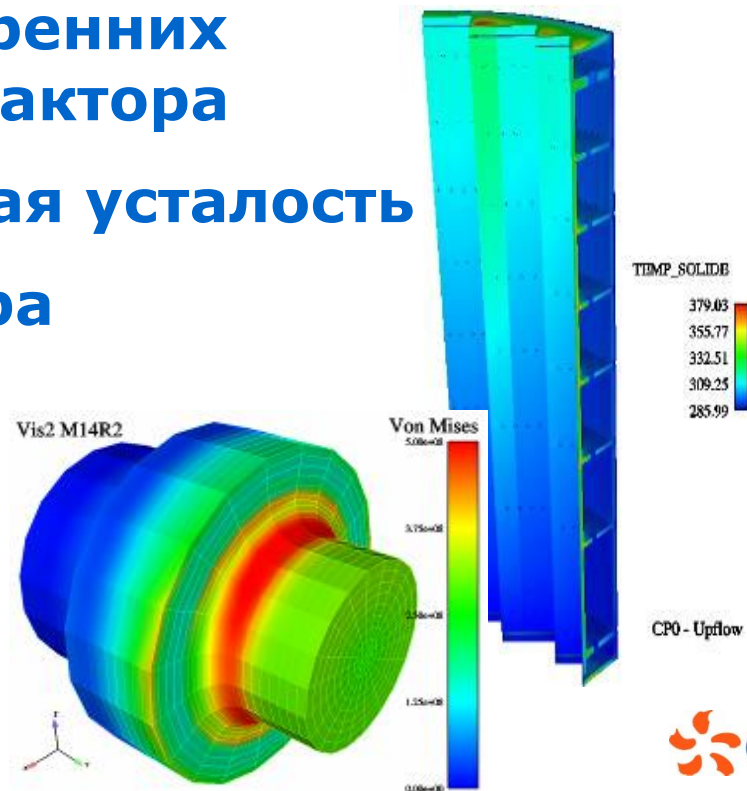
# Области исследований МАИ

## Пример: коррозия стали



# Программа МАИ 2014

- Срок эксплуатации корпуса реактора (RPV)
- Коррозия под напряжением в первом контуре
- Срок эксплуатации внутренних компонентов корпуса реактора
- Тепловая и экологическая усталость
- Контроль второго контура
- Ухудшение бетона
- Вибрационный износ
- Старение кабелей
- Метод неразрушающих





# Экспериментальные возможности



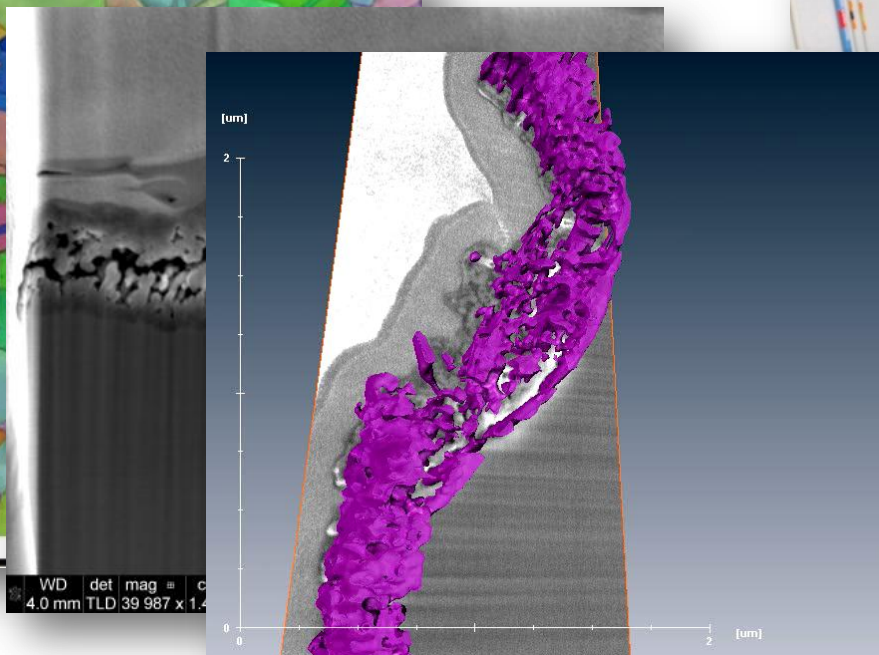
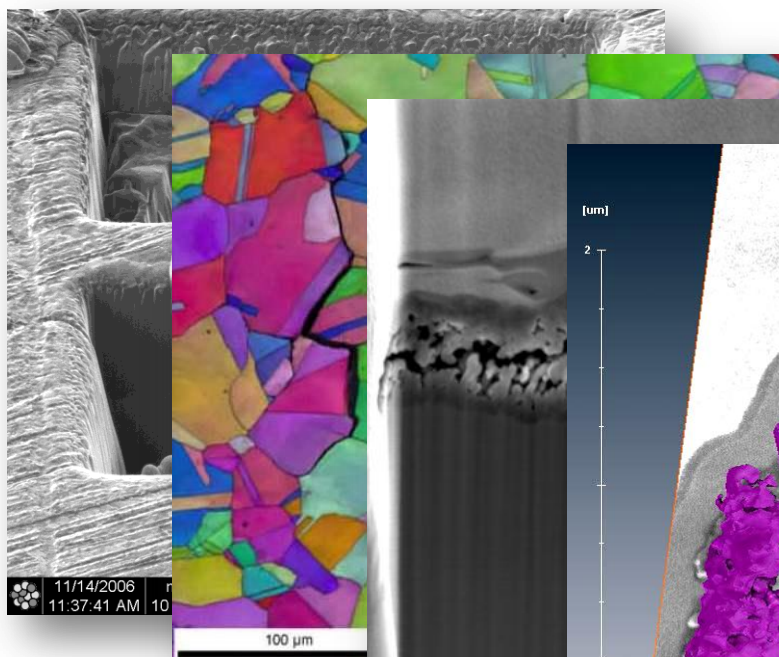
**Установка BOREAL для изучения образования продуктов коррозии в условиях, приближенных к первому контуру ссу.**

**Установка FORTRAND для изучения формирования и переноса продуктов коррозии во втором контуре**



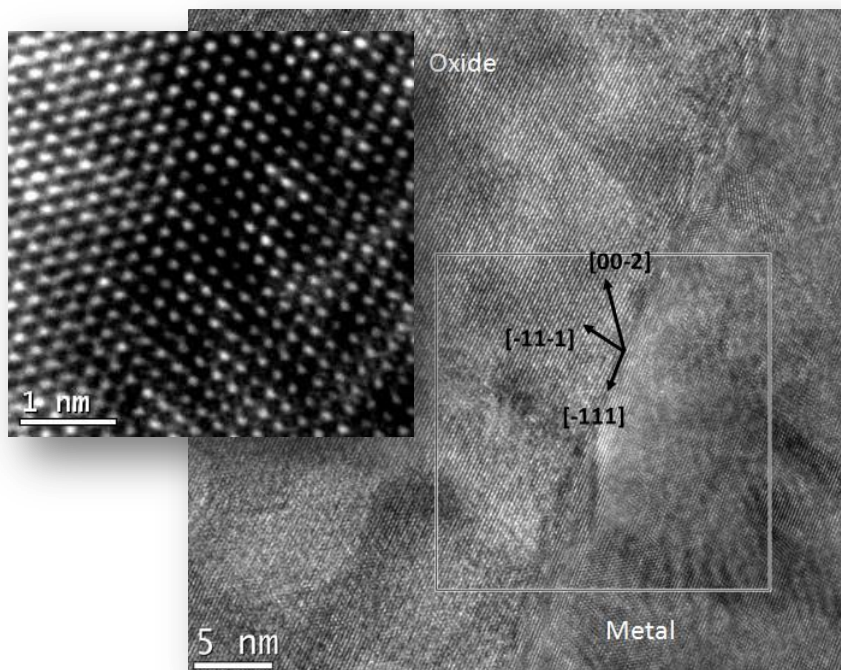
# Экспериментальные возможности

- Ионный пучок с двойным фокусом**  
*FEI Helios FIB Nanolab*  
 Разрешение растрового эл. микроскопа < 1 нм  
 3D EBSD, EBX, Omniprobe, ...



# Экспериментальные возможности

- TITAN STEM**  
**FEI TEM 80-300 kV**  
 Корректор-монохроматор с  
 детекторами EDX HAADF  
 $\Delta E < 0.08 \text{ эВ}$   
 разрешение: **70 пм**



Система TITAN STEM позволяет определять в атомном масштабе точную природу оксидных плёнок, сформированных на поверхности 600 сплавов в условиях, близких к первому контуру ВВЭР

# Рабочие встречи и семинары

## Задачи

- Стимулировать обмен техническими знаниями (рабочие встречи, семинары)
- Помогать в обучении магистров и кандидатов наук
- Обогащать знания инженеров ядерной отрасли в области старения материалов и управления старением
- Популяризировать МАИ и его участников (коммуникация)

Пример: семинар МАИ по теме «Инспектирование и управление износом бетонных структур в ядерной отрасли» в сентябре 2011. Следующий семинар – в октябре 2015



# Рабочие встречи и семинары

## Международный симпозиум по управлению старением кабельных систем на АЭС

- 17 – 19 сентября 2013, в МАИ
- ~90 участников из 19 стран, с 5 континентов
- В основном отраслевые предприятия (ЭО, поставщики) и заинтересованные предприятия (МАГАТЭ, Комиссия по ядерному регулированию, Институт радиационной защиты и ядерной безопасности, Электроэнергетический научно-исследовательский институт, SCK-CEN, ...)
- Масштабное коллективное обсуждение проблем с использованием имеющихся данных, методов неразрушающего контроля, практического подхода, используемых на АЭС



# Рабочие встречи и семинары

## Семинар МАИ-CGN , 9 – 12 апреля, 2013

- Экспериментальные возможности и подходы (презентации и обход по лаборатории) в исследовательском институте ядерной энергии SNPI (Сучжоу); обмен опытом в подходах LTO; вклад и сотрудничество МАИ, критерии окончательной приёмки, усталость...



## Семинар МАИ-РЭА , Москва, 19-20 июня 2013

- РЭА/ВНИИАЭС/Курчатовский институт/МАИ – обмен опытом по процессам в материалах внутренних компонентов нижней части корпуса реактора – облучение, тепловое старение, коррозия; эрозия – коррозия, критериям приёмки; охрупчение и оценка жизненного цикла внутренних компонентов корпуса реактора



# Рабочие встречи и семинары



- **Формирование, перенос и отложение оксидов**  
*МАИ (Море-сюр-Луан): 17 – 18 марта, 2014 закрытая встреча (МАИ и приглашённые участники)*
- **Оптимизация концентрации водорода в первом контуре**  
*МАИ (Море-сюр-Луан): 20 – 21 марта, 2014 закрытая встреча (МАИ и приглашённые участники)*
- **Курс по старению материалов для инженеров атомной энергетики**  
*Сучжоу (Китай): 22 – 25 апреля, 2014, совместно организовано с Институтом ядерной энергии, открытое совещание*
- **Управление погрешностями при компьютерном проектировании материалов** *МАИ (Море-сюр-Луан): 12 – 14 мая, 2014 (МАИ и приглашённые участники)*
- **Ядерные материалы и компоненты – старение**  
**Технологический институт Гренобля/МАИ, сентябрь-декабрь 2014:**
  - Проект реактора и выбор материалов
  - Внутренние компоненты и корпус – вопросы облучения
  - Старение компонентов

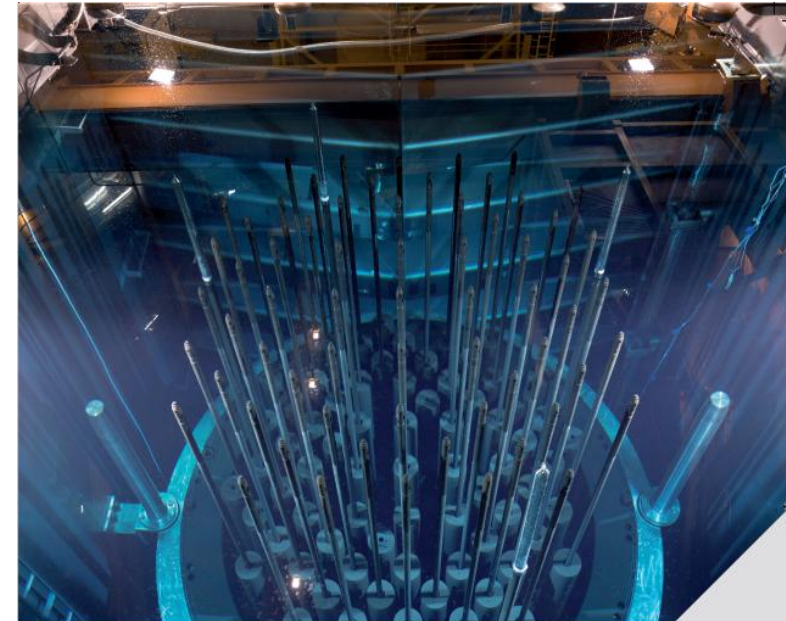
Основные принципы и примеры (МАИ)

# Руководство по разрушающим методам контроля

Франсуа Каттан

Это руководство основано на наблюдениях. Оно представляет полную коллекцию уникальных фотографий, подробные схемы с кратким анализом, точными измерениями и рекомендациями.

Книга организована таким образом, что инженеры и ученые могут использовать описанные наблюдения для достижения собственного понимания, обучения и впоследствии улучшения своих знаний по конкретным вопросам старения материалов



François Cattant

**MATERIALS AGEING  
IN LIGHT WATER REACTORS**  
HANDBOOK OF DESTRUCTIVE ASSAYS

  
materials ageing institute

Lavoisier

Книгу можно посмотреть на сайте MAI, [www.themai.org](http://www.themai.org)



# МАІ в цифрах

**35 М€** Общие инвестиции EDF (2008 – 2016)

**11 М€** Годовой бюджет в 2013

**80** Исследователей, технологов

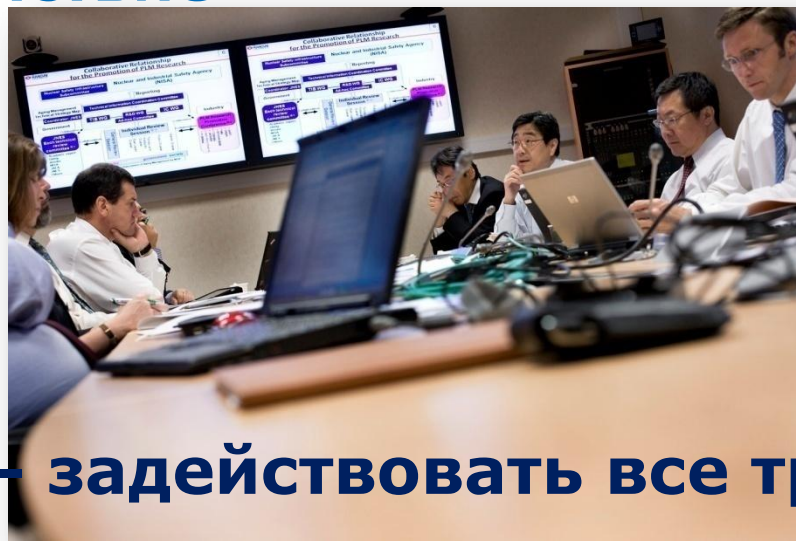
**20** Университетов и институтов

**11** Участников от 66% АЭС

**250** Участников программы обучения и подготовки ежегодно

## Итог

- Проблемы материалов имеют на сегодняшний день наибольшее влияние на безопасность, надёжность и экономику
- Чем больше опыта мы изучаем, тем лучше мы справляемся с этими проблемами
- Важно международное сотрудничество и взаимодействие





**Спасибо за внимание**

**Используйте материалы по максимуму!**

<http://www.themai.org>