



Международная конференция МНТК Москва – Май 2014

Обзор блоков ВВЭР Концерна ЭДФ Меры после аварии на АЭС Фукусима Практическое выполнение и трудности

Мишель Дебес \
Концерн ЭДФ – Подразделение по выработке электроэнергии и проектированию
michel.debes@edf.fr

План

- **ЭДФ – мировой энергетический лидер**

- **Выработка ЯЭ во Франции:**

опыт и трудности

длительная эксплуатация

строительство блока Фламманвиль 3 с европейским энергетическим реактором EPR

- **Меры безопасности после аварии на АЭС Фукусима**

Результаты стресс-тестов а реакторах EPR

Дополнительные ключевые меры

Основные этапы внедрения

Заключение

Ключевые цифры 2013 – мировые показатели

- 39,1 миллион заказчиков
- **653,9 ТВт*э** –выработка эл. энерг.
- 158 467 рабочих

- **Sales:** 75,6 bEu 53% France; **47% abroad**
- **Ebitda:** 16,7 bEu 64% France; **36% abroad**
- **CO2 emissions** : EDF Group **123 g/kwh**; EDF France **30 g/kwh**

- **Выработка энергии нетто в ЭДФ: 140,4 ГВт*э => 653,9 ТВт 85% без CO2**

Ядерная 74,8 ГВт*э => 487,2 ТВт*ч (74%); Традиционное топливо: 37,7 ГВт*э => 97,4 ТВт*ч (15%);

Гидро- и иные возобновляемые источники 27,9 ГВт*э => 69,3 ТВт*ч (11%)

- **Выработка энергии нетто в ЭДФ: 98,2 ГВт*э => 461,9 TWh 95% CO2 free**

Ядерная : 63,1 ГВт*э => **403,7 ТВт*ч** (87,4%); Традиционное топливо : 15 ГВт*э => **15,6 ТВт*ч** (3,4%);

Гидро- и иные возобновляемые источники : 20 ГВт*э => **42,6 ТВт*ч** (9,2%) (+7 ТВт*ч с учётом подкачки)

(важно: общая производительность во Франции 550,9 ТВт*ч, доля EDF 85%, 74% ядерной энергии)

- **Эл. энергия: покрывает все области, исследования и разработки**

по проектированию, конструированию, эксплуатации, трансформированию, распределению и поставке..

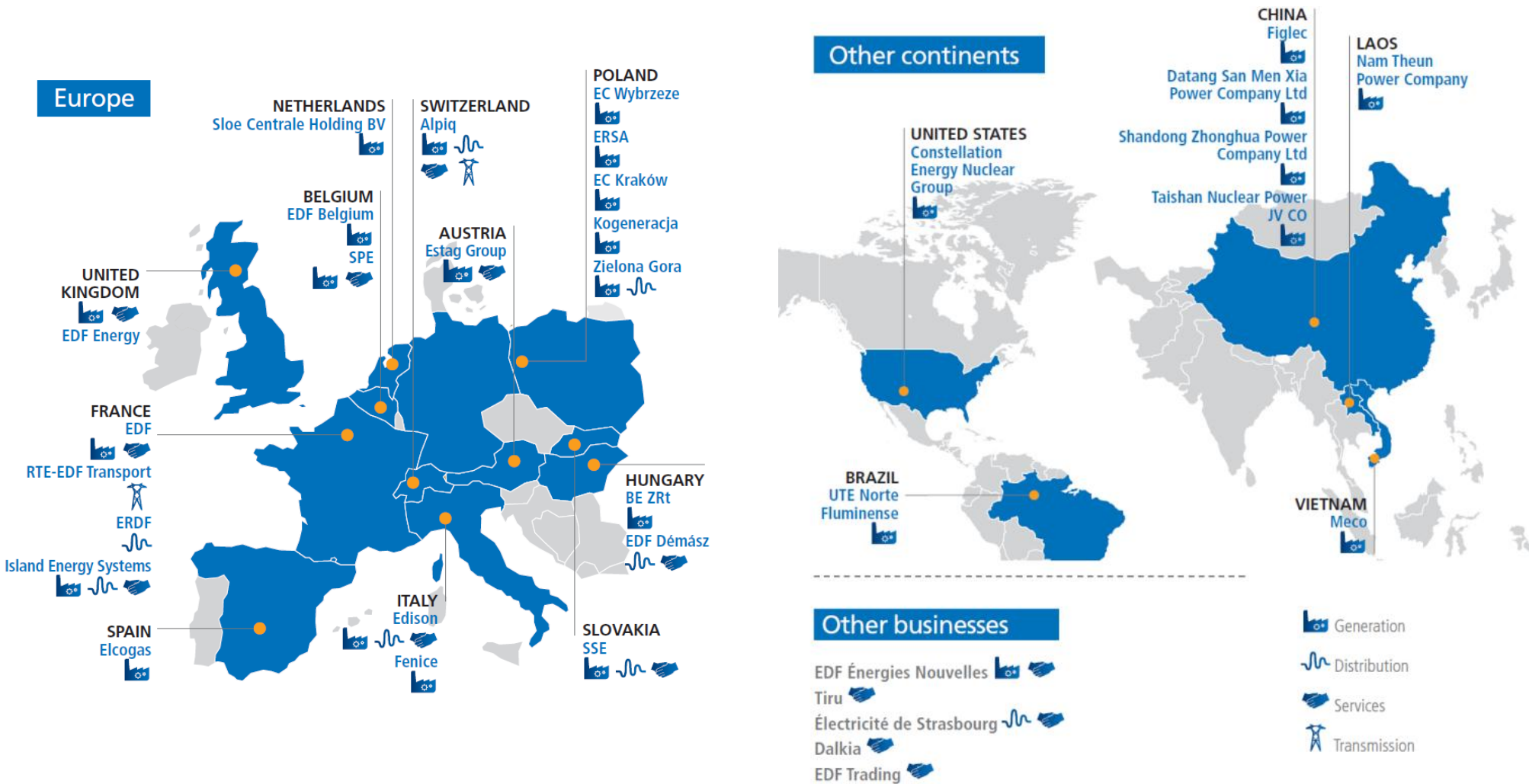
- **Ядерный опыт ЭДФ:** более чем 30000 персонала (Эксплуатация: 25000; Инжиниринг: 5000; исследования и разработки ≈ 1000)

- **Крупнейший в Европе** (Франция, Италия, Польша, Великобритания...); **Промышленные подразделения в Китае, Бразилии и в США**

- **Возобновляемые источники:** развитие (> 4 ГВт; Ветровая энергия: 11,3 ТВт*ч в 2013)

- **Природный газ:** продажа > 245 ТВт*ч Франция: 22 ТВт*ч (4,4% доля рынка); Италия: 15,7 млрд м³ или 176 ТВт*ч (22,5%); Великобритания: 31 ТВт*ч (5%); Бельгия: 16 ТВт*ч (18%)

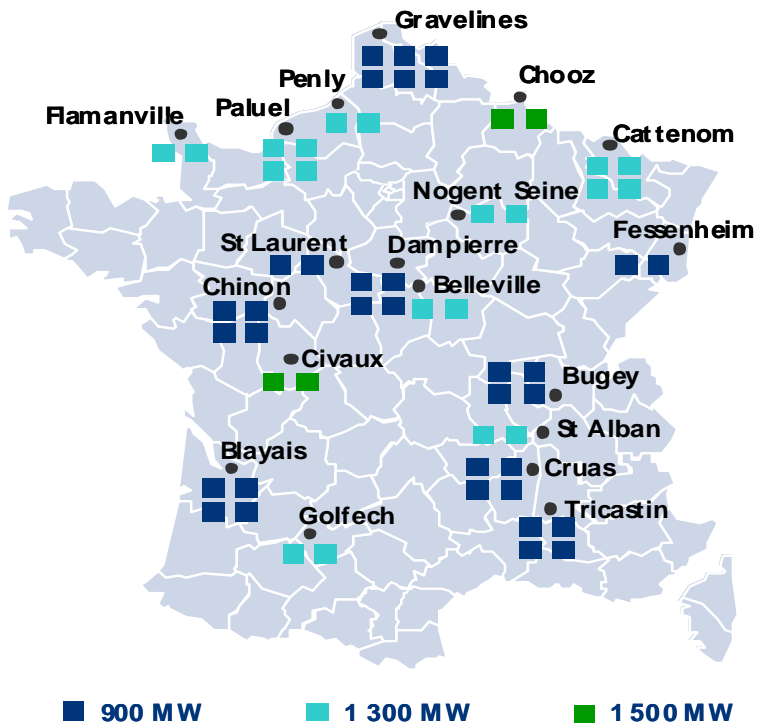
Эксплуатируемые станции ЭДФ на карте мира



Атомная энергетика во Франции

Опыт и трудности

Ядерные объекты ЭДФ во Франции



58 реакторов с водой под давлением (PWR) на 19 площадках: 63,13 ГВт

Три типовые категории мощности:

=> Наиболее безопасные и экономически выгодные

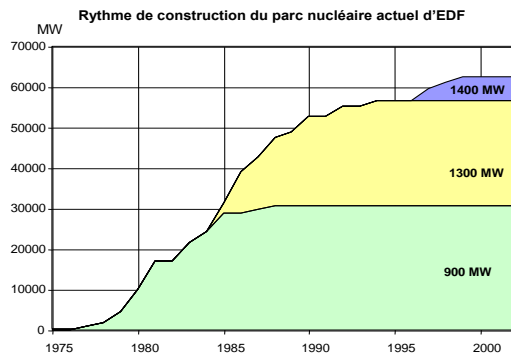
- 900 МВт: 34 блока, 31 ГВт
- 1300 МВт: 20 блоков, 26 ГВт
- 1500 МВт (N4): 4 блока, 6 ГВт

Опыт в области архитектурного проектирования/ строительства и эксплуатации французского атомно-энергетического комплекса, уникального во всём мире

- безопасность и прозрачность – приоритет
- среднее время эксплуатации: 28 лет (от 12 до 36 лет)
- опыт эксплуатации: ~ 1600 реакторных лет
- периодическая оценка безопасности каждые 10 лет

=> Длительная эксплуатация: техническая цель – до 60 лет

Стоительство европейского реактора EPR:
Фламанвилль 3



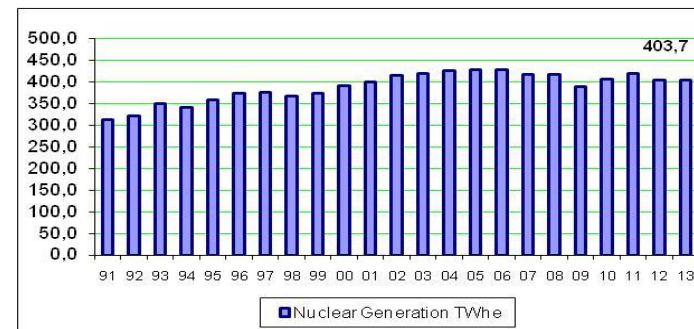
Ядерная энергетика ЭДФ во Франции и за рубежом

- **ЭДФ во Франции: 63,13 ГВт*э => 403,7 ТВт*ч**

kd : среднее 78% (верхние 10: 91 до 99,5%); kif: 2,6%

ku : 93,6% (контроль частоты, нагрузка..)

Load rejection success rate: 88% (average)



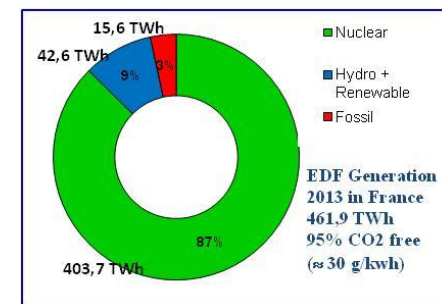
Устойчивый топливный цикл: переработка, утилизация

Применение топлива МОХ на 22 блоках 900 МВт (30% активной зоны)

Управление отходами: витрификация, хранение, будущее захоронение..

Основные недавние технические проблемы:

- Политика замены парогенераторов (ПГ заменены в кол-ве 23 единиц)
- Статоры генераторов, основные трансформаторы ...
- Техническое обслуживание, управление отключение



- **Группа EDF за рубежом атомная энергетика):**

- Великобритания: EDF Energy: 8,74 ГВт ядерной => 60,5 млрд. кВт-ч (14 СМА, 1 PWR на Сайзуэлле)

- Другое международное участие в выработка атомной энергии: □ 2,89 ГВт => □ 22,9 млрд. кВт-ч
5 реакторов (49,99%) в США с CEng: Calvert Cliffs 1/2, Джинна, Nine Mile 1 & 2 (82% - реакторов BWR)

Тианж 1 (50%) в Бельгии, представительство в Бельгии (EDF LUMINUS) и Швейцария (Alpicq)

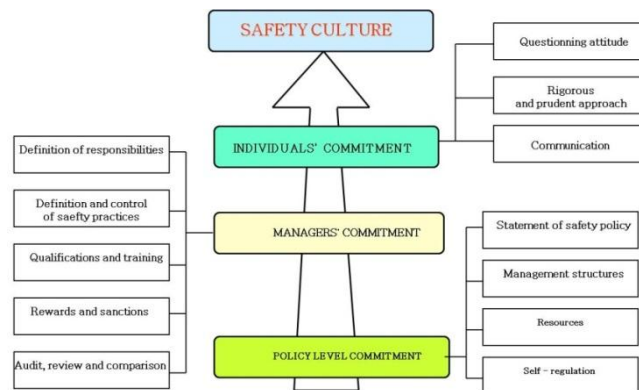
Безопасность – приоритете – основные показатели и действия

• Безопасность и качество - первостепенные задачи эксплуатации

- EDF Политика безопасности Группы: культура безопасности и прозрачность
- Стабильные результаты в сфере безопасности и радиационной защиты
- Повышение безопасности: опыт эксплуатации, периодический процесс переоценки ...

Внутренние независимые управляющие структуры:

- => Генеральная инспекция по ядерной безопасности в управлении EDF
- => Ядерный Инспекторат в Отделении выработки ядерной энергии
- => Миссия качества и безопасности на каждой АЭС



Международные оценки и партнерские проверки:

МАГАТЭ ОСАРТ (1/yr), ВАО АЭС –партнёрские проверки (от 2 до 3 лет)

Международные контролирующие организации (Евроатом): гарантии, учёт материалов ...

• Что предстоит:

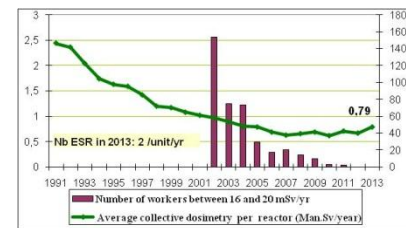
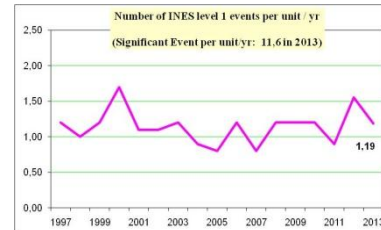
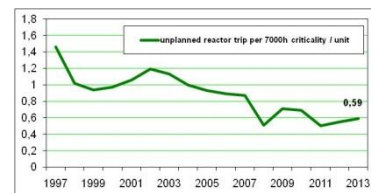
- 30-40-летняя инспекция и переоценка безопасности для длительной эксплуатации (> 40 лет)

Внедрение технических условий в целях обеспечения эксплуатации на период до 60 лет :

. Рпоиск улучшений в области безопасности с использованием обратной связи и периодических оценок безопасности

. Размещение плана действий ФКН для работы с серьёзными рисками («твёрдая активная зона», быстродействующая сила...);

. Предотвращение старения и устаревания материалов



- Блока Фламманвилль 3 EPR будет пущен в 2016 году;

EDF post FKN Action plan: Highlights and Challenges - May 2014 - Copyright EDF
Строительство EPR в Тайшань 1/2 (30% EDF совместно с CGNPC)

Стратегия EDF для устойчивой выработки атомной энергии

Ключевые достижения и проблемы

Образец ядерной энергетики в мире

- Ядерная безопасность и культура безопасности в качестве основного приоритета на всех уровнях
- Обратная связь Опыт и эффективность защиты глубоководной, готовность к чрезвычайным ситуациям,
сообщение ФКН Учет опыта: Дополнительная оценка безопасности, быстрые действия ...
- Конкурентоспособность, доступность и эксплуатационные характеристики ...

Управление долгосрочной эксплуатацией АЭС

- Периодические оценки раз в 10 лет: **техническая цель – эксплуатация до 60 лет**

Эффективность использования топливного цикла, переработка и утилизация МОХ, витрификация ЖРО и обращение с отходами

- Главный актив для устойчивого развития ядерной энергии

Успех в проекте Flamanville-3 по строительству EPR, с учётом обратной связи по опыту эксплуатации

- Общественное обсуждение и принятие; безопасность, качество, график, стоимость и т. д..

Крупнейший игрок на рынке развития ядерной энергетики

- Международное сотрудничество: МАГАТЭ, ВАО АЭС, WNA, ЭНЭФ, R & D (EPRI, ..)
- Новые проекты строительства: Китай (2 EPR), Великобритания (EPR GDA), США (лицензирование в США блоков EPR),
- Перспективы в Польше, Саудовской Аравии, ЮАР ...
- Оптимизация EPR, разработка GEN 3 реактора (1000/1100 МВт) с Areva и CGNPC

Периодические оценки безопасности: ключ в управлении сроком эксплуатации АЭС

Оценка безопасности раз в 10 лет для каждого блока

- Переоценка безопасности и соответствия
 - Учёт опыта эксплуатации и лучших мировых практик
 - Внедрение модификаций: компоненты, структуры, системы, документация
 - Анализ механизмов старения для управления готовностью к ЛТО
- => Непрерывный процесс ТОиР, подготовки, принятия стратегических решений, исследований, внедрения

	VD1 10 years	VD2 20 years	VD3 30 years	VD4 40 years
900 MWe 3 loops (34)	Done	Done	2009 to 2020	2019 to 2030
1300 MWe 4 loops (20)	Done	2005 to 2014	2015 to 2024	2025 to 2034
1500 MWe	Done	2019 to 2022	2029 to 2032	2039 to 2042

Длительность эксплуатации 40 лет- технически выполнима для имеющихся блоков

- Работы по исследованиям и разработкам в области длительного поведения основных компонентов и их старения
- Создание Института старения материалов, партнёрство с крупными ЭО (включая РЭА) и лабораториями
- Согласие Управления по ядерной безопасности Франции на 40-летнюю эксплуатацию первых блоков 900 МВт (Фессенхайм 1/2, Бугей 2/4, TRI 1..), при соблюдении ряда условий

Задача ЭДФ – преследовать возможность продления сроков эксплуатации АЭС вплоть до 60 лет под контролем Управления по ядерной безопасности Франции

- Глобальная программа восстановительного ремонта до 2015 года и впоследствии по плану мероприятий после аварии на АЭС Фукусима
- Обеспечение стабильного уровня безопасности и защиты окружающей среды;
- Программа преждевременного выявления старения материалов и устаревания оборудования

Проект EPR на блоке Фламманвилль 3



Значительные этапы :

Первый бетон, 2007, декабрь

Главная строительные работы, купол здания реактора установлен, корпуса реактора установлен

Конвергенция обсуждений по системам цифровой автоматики с УЯБФ

Прочность конструкции, включая тяжёлые аварии

некоторые нововведения после Фукусимы: запас воды для увеличения автономности, усиленная герметичность, более длительная автономность энергоснабжения (дизельное топливо, аккумуляторы ...), подключения для мобильных средств ...

График пуска в 2016 :

Строительство: наладка электромеханического оборудования и первого контура, завершения строительства внешнего купола

Поставка топлива: 2015

Результаты стресс-тестов на блоках ЭДФ

Основные этапы

Результаты стресс-тестов на блоках ЭДФ и EPR

Методология определена Управлением ядерной безопасности Франции, соответствует требованиям ЕС с двухступенчатым подходом:

(1) Переоценка существующих средств и границ в соответствии с действующими проектными основами (текущий стандарты _ безопасности)

(2) Анализ запроектых аварий; при необходимости реализации дополнительных мер

6 областей: сейсмостойкость, затопление, потеря подачи охлаждающей воды, потеря энергоснабжения; управления тяжёлыми авариями; подрядчики

==> По результатам этой работы определён текущий положительный уровень безопасности с адекватными пределами для всех атомных объектов

Большинство полученных уроков были предсказуемы в рамках 10-летней оценки безопасности, особенно по части риска затопления (пример – событие на АЭС Блайэй в 1999).

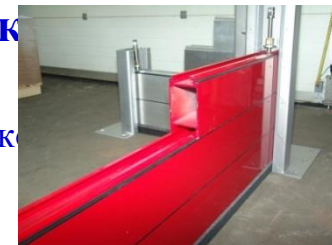
==> Новый анализ подтолкнул ЭДФ к принятию дополнительных мер, рассматривая потенциальные ситуации более серьёзно



Мероприятия по улучшению на действующих блоках

• Укрепление некоторых систем, обеспечивающих защиту ключевых функций обеспечения безопасности против рисков (землетрясения, наводнения)

- наводнения: защита оборудования и материалов (дамбы или плотины, строительство герметичных конструкций)
- Дополнительная защита электрических ОРУ от затопления
- Землетрясение: укрепление опор и креплений, электрооборудование, автоматический останов ...



• Увеличение объёма питающей воды и энергоснабжения для охлаждения реактора и во избежание понижения уровня воды в реакторе и бассейне выдержки

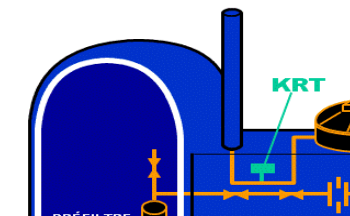
- дополнительный водный запас (бассейн, подземный стол ...)
- укрепление резерва питающей охлаждающей воды (бак...)
- внедрение одного дополнительного резервного дизель-генератора на каждом блоке: резерв насосов АFW, питательная вода к ГЦН и бассейну выдержки, тепловой насос для питания ГЦН
- эксплуатация бассейна выдержки: автоматика (уровень, температура), системы питания, управление топливом



• Защитные меры на случай расплава активной зоны, минимизация радиоактивных выбросов

во избежание значительного длительного загрязнения окружающей среды

- надежность и эффективность фильтра контейнента U5, чтобы ограничить внешние выбросы (цезий...), сейсмостойкость, улучшение фильтрования (йод),
- едкий натр в прямке реактора (для связывания йода)



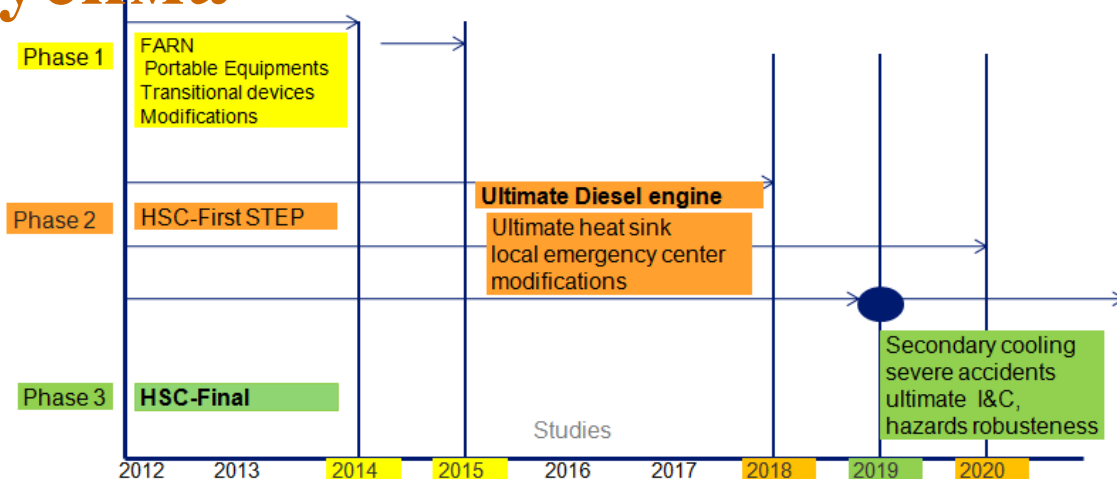
• Укрепление площадки и работа с национальными организациями по аварийной готовности:

- Персонал и оборудование, многоблочные станции



План действий после аварии на АЭС Фукусима

**Выполнение обязательств ЭДФ и реализация задачи по безопасности:
Избегать крупных выбросов с длительным загрязнением обширных территорий
(CNS - МАГАТЭ - август 2012)**



Ведутся обширные работы и производятся крупные инвестиции для выполнения этой задачи ЭДФ в экстремальных и аварийных ситуациях

Основные работы выполнены в соответствии с требованиями УЯБФ:

Генераторы низкой и средней мощности установлены на каждом блоке – июнь 2013

Дополнительные переносные насосы, конец 2013

Система FARN на 2 блока на площадке (2013)

Аварийная готовность : средства коммуникации, организация, обучение аварийной ГОТОВНОСТИ

Основные дополнительные меры

- Внедрение «Укреплённой активной зоны» - комплекса систем, компонентов, структур для предотвращения крупных радиоактивных выбросов в окружающую среду в аварийных ситуациях в соответствии с рекомендациями оценки ECS.

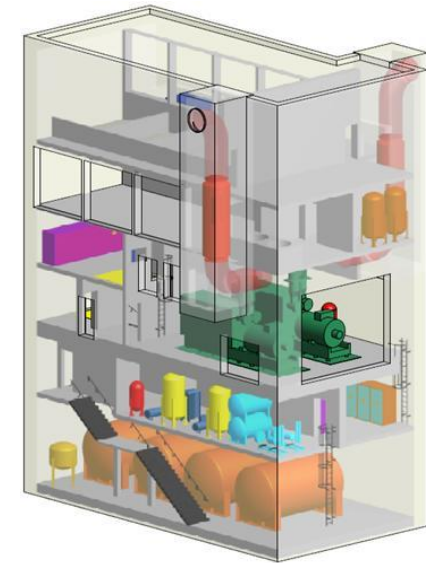
- Защита против экстремальных внешних условий, превышающих объём текущих проектных основ,

- Снижение последствий запроектных аварий

- Силы быстрого ядерного реагирования (FARN)

- Формирование дополнительной устойчивой линии защиты посредством национальных сил быстрого ядерного реагирования (FARN), которые готовы оказать поддержку площадке в случае аварии в течение 24 часов (для многоблочных станций), с чётко разработанной логистикой,

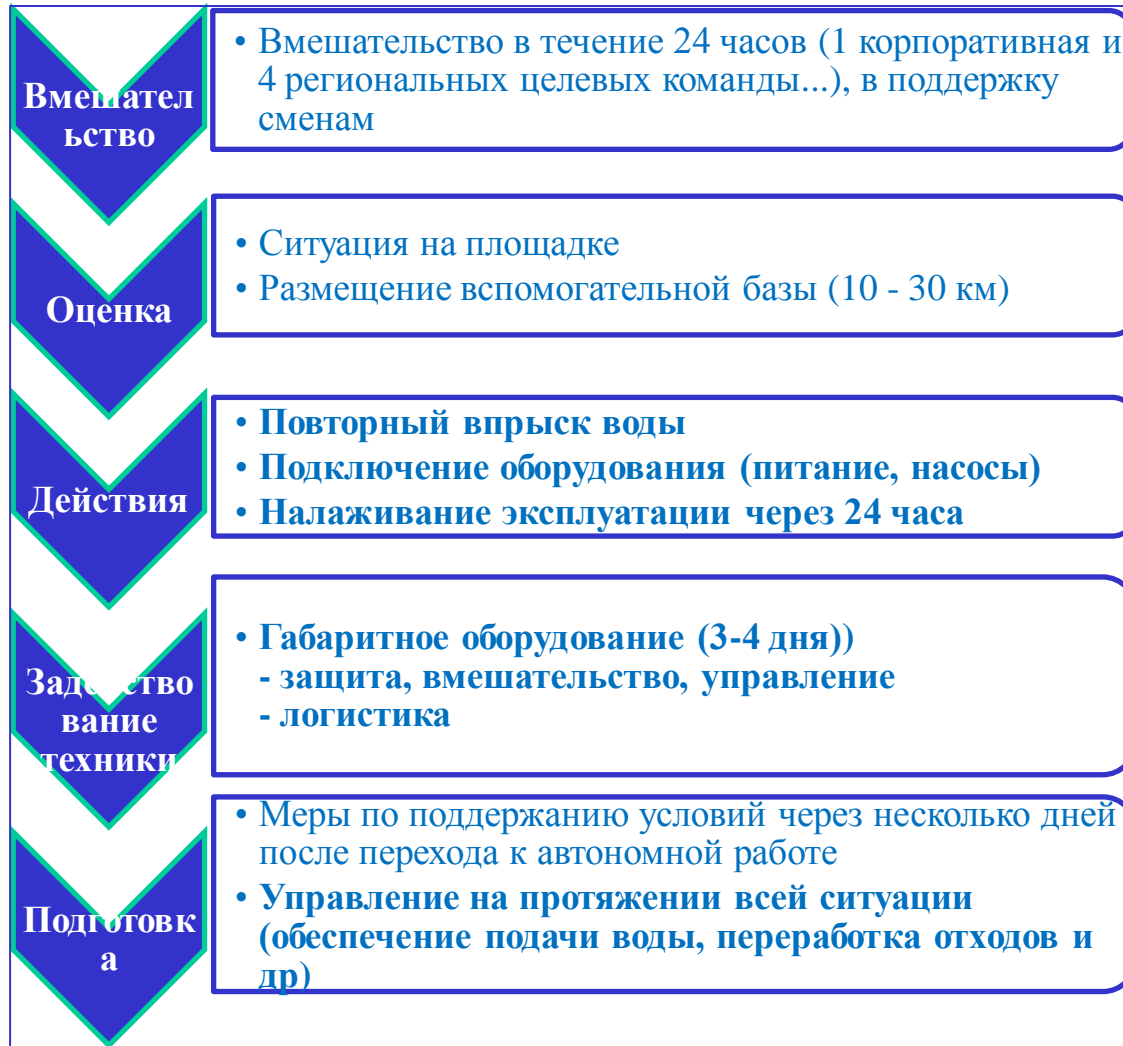
- Укрепление помещений для управления кризисными



Силы быстрого ядерного реагирования

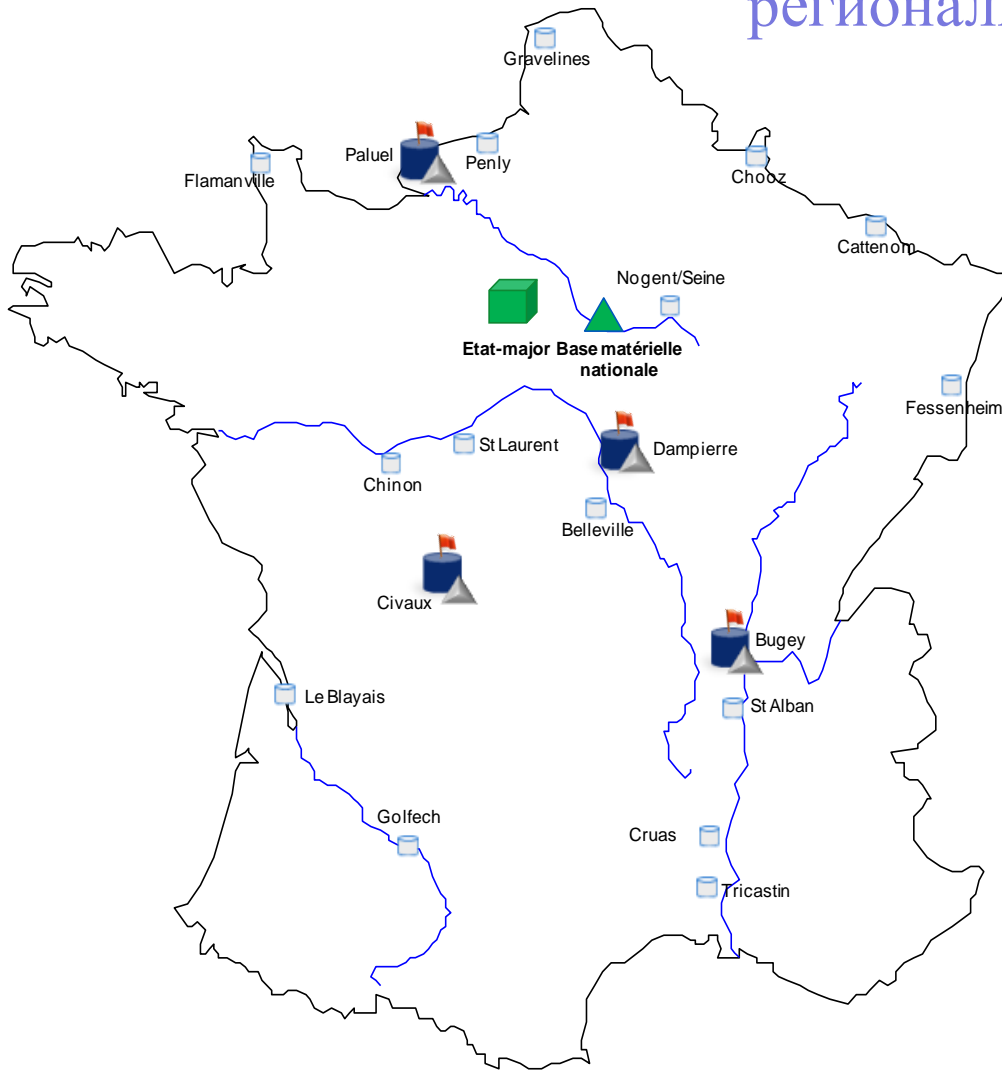
Задачи: воссоздать или поддержать охлаждение реактора с целью предупредить распад активной зоны или крупные выбросы

Миссия:



Организация взаимодействия FARN- EDF

Организация двух уровней – национальная и региональная



1 национальный штаб FARN

(разведывательный отряд, приблизительно 30 человек, 5 команд по вызову, действие на территории всей страны)

1 экипировка

(средне- и долгосрочное оборудование, резервные модули)

4 региональные базы FARN с базами оборудования, расположенными рядом

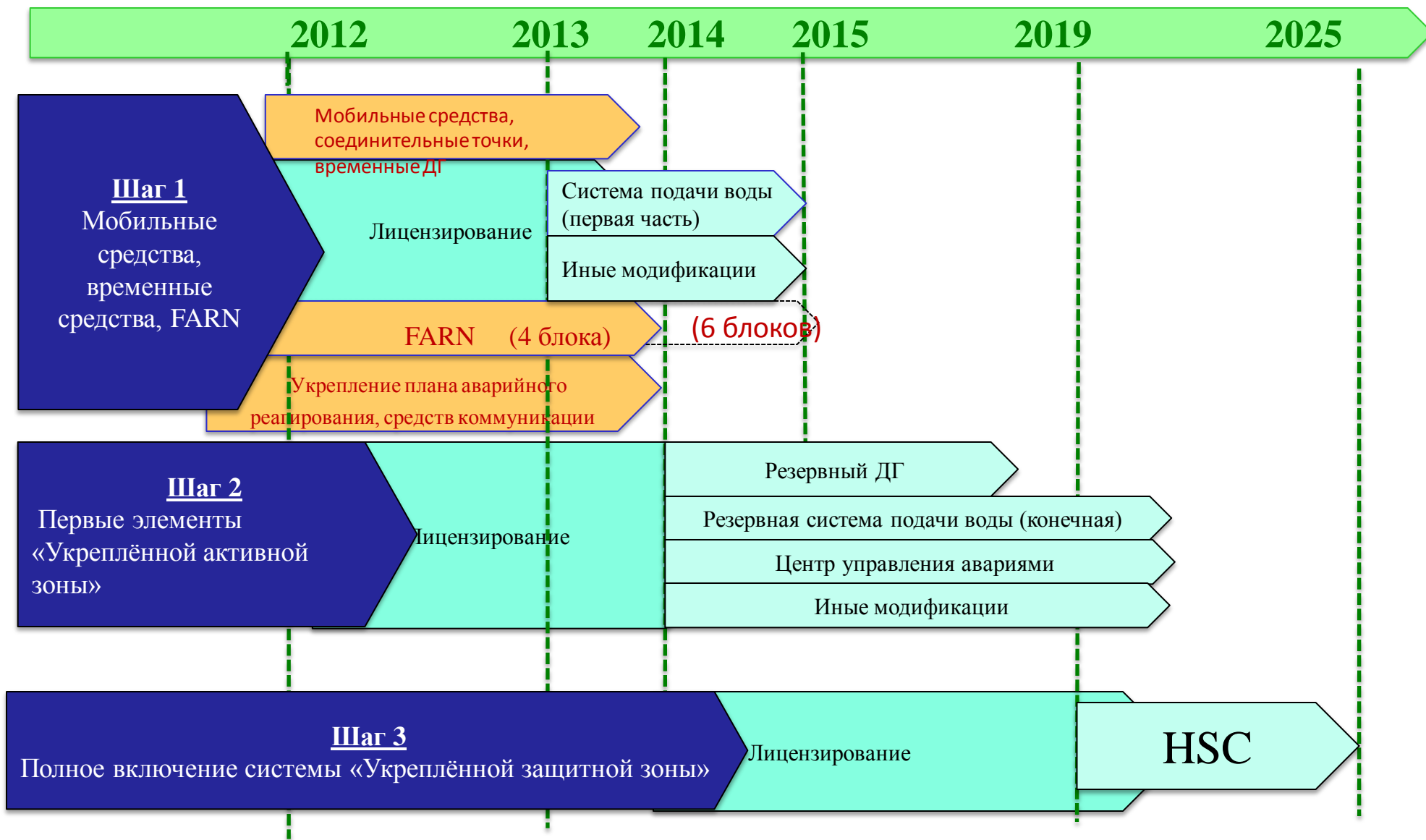
Принадлежат 4-м АЭС, взаимодействующим с FARN
(Сиво, Дампьер, Палуэль, Бугей)
(около 4 x 70 человек в 5 командах из 14 дежурных, на территории всей страны)

4 локальные тыловые базы

Определены для каждой из 19 АЭС

(база активизируется по запросу префекта в случае возникновения аварийной ситуации на АЭС)

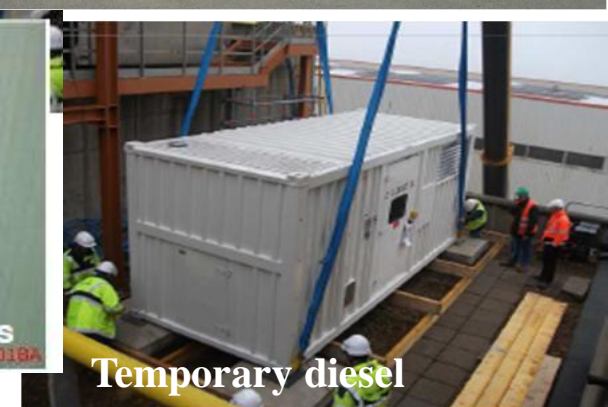
Три основные этапа внедрения модификаций



Шаг1: 2012-2015

Мобильные средства, временные средства, FARN

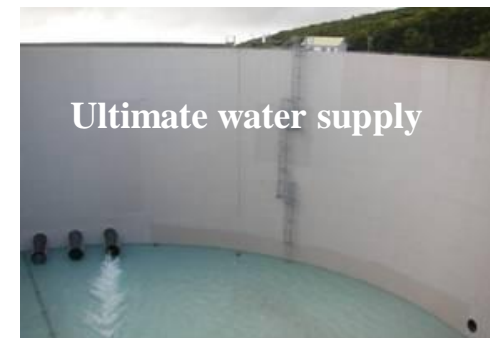
- Краткосрочная защита аварийными средствами и временными модификациями в случае запроектных аварий SBO и потери конечного теплоносителя (многоблочная АЭС , большой продолжительности):
 - Мобильные устройства (насосы, трубы, генераторы, ...)
 - Временные средства (дизель-генератор, ...)
 - Модернизация кризисной организации
 - Автоматическое отключение реактора в случае землетрясения
 - Усиление защиты от землетрясения и наводнения



Шаг 2 : 2015 – 2019

Первые элементы системы «Укреплённой активной зоны»

- Меры на случай обесточивания станции и LUHS:
- Прогрессивное применение системы «Укреплённой активной зоны» :
 - Сооружение резервной дизельной станции (резервный дизель)
 - Выполнение конечного водоснабжения
 - Защита от экстремального наводнения
 - Строительство центров управления кризисными ситуациями (ECC)
 - Укрепление системы вентиляции контейнента с фильтром против землетрясения
 - Пассивные жесткие уплотнения для основных насосов охлаждения
 - Укрепление смен на АЭС (способность управлять событиями, аналогичными Фукусиме самостоятельно)



Шаг 3: 2019 - ...

Полное включение системы «Укреплённой защитной зоны»

- **Завершение реализации системы «Укреплённой активной зоны» по программе продления сроков эксплуатации**
 - Внедрение последнего этапа системы до 2019 :
 - Различные средства конечного теплоотвода от ПГ (выделенный питательный насос, бак ПГ, клапаны питающей воды и сброса пара)
 - Насосы впрыска в первый контур
 - Независимая автоматика и панель управления
 - Остаточное тепловыделение в контейнменте
 - Система затопления реактора
- **Соответствие современным стандартам безопасности с учётом полученных уроков в результате аварии на АЭС Фукусима**

Технические вопросы и проблемы

Система «Укреплённой активной зоны» – планируется на 58 блоках

Задачи системы

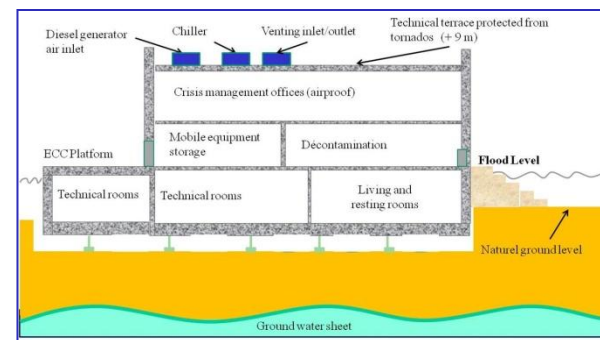
- Предотвратить или снизить риск развития аварии с расплавом активной топлива
- Избегать крупных выбросов
- Обеспечить оператору возможность выполнить мероприятия по управлению аварийной ситуацией

Комплекс независимого и разнообразного оборудования, которое способно функционировать в экстремальных природных условиях

Землетрясения, затопления, другие риски

Укреплённое оборудование, которое включает

- Дополнительный ДГ для каждого блока
- Разнообразные меры подачи охлаждающей воды каждому реактору
- Новый центр аварийного управления на каждой площадке, пригодный к обитанию на случай длительных работ по аварийному управлению
- Мобильные средства и средства коммуникации
- Технические средства и приборы контроля состояния окружающей среды



Соблюдение мер безопасности в системе «Укреплённой активной зоны»

- **Высокий уровень устойчивости против внешних рисков: значительные пределы по проектным уровням**
 - Сейсмический уровень $\geq 1,5$ x безопасный останов при землетрясении с периодом повтора $> 20\ 000$ лет
 - Уровень затопления $>$ проектный уровень + 1м (уровень моря) или + 30% (уровень реки) с повреждением дамбы
 - Молнии, град, грозы, торнадо
- **Функционирует в течение 24ч после события независимо до задействования команды FARN**
 - Требования классификации безопасности для ядерных компонентов (IPS-NC)
 - Исследование, спецификации и производство согласно нормам и обеспечению качества
 - Высокий уровень устойчивости, по определению проектных основ для нового SSC
 - Высокий уровень сопротивления для проверки существующей SSC, методологии обсуждается
 - Техническое обслуживание, периодические испытания, процедуры, которым необходимо следовать в случае неработоспособности системы укреплённой активной зоны

Ограничение радиологических последствий

Задача – предотвратить крупные выбросы и длительное загрязнение, включая начальную фазу аварии:

- Фильтруемая система вентиляции контейнмента (FCVS)

Необходимость улучшить текущую систему вентиляции в части: сейсмостойкости, повышения эффективности в отношении выбросов органического йода

Замена песчаного фильтра новым скрубберным фильтром: промышленная выгода, затраты

=> Текущие исследования: проект новой системы для отвода остаточного тепловыделения реактора

Во избежание вскрытия системы вентиляции даже в случае тяжёлой аварии с применение различных средств конечного поглощения тепловыделения

Существующая вент. система не демонтирована, но не является частью системы укрепления активной зоны (изучение ограниченных возможностей защиты против внешних рисков и модификации)

Укрепление активной зоны



January 2014

1 : reactor cooling system 2 : fuel pool cooling system 3 : reactor containment cooling system

1. Охлаждение активной зоны 2. Система охлаждения бассейна выдержки

3. Система охлаждения контейнента

Заключение: мероприятия, реализованные на французских АЭС после аварии на АЭС Фукусима Дайичи, привели к повышению их безопасности и подготовке Программы долгосрочной эксплуатации АЭС

Выполнение дополнительной оценки безопасности показало необходимость и преимущества периодической оценки безопасности

- Периодическая оценка правильности и прочности проектных и запроектных основ (возможность предотвращать и смягчать последствия аварий)
- Необходимость принимать во внимание опыт эксплуатации и новые знания с целью непрерывного повышения безопасности
- Операторы смогут контролировать и поддерживать проектную целостность и проектные изменения станций посредством интеграции исследований и разработок, инжиниринга и опыта эксплуатации
- Преимущества наличия типовых станций: однородность усовершенствований

Совершенствование дополнительной оценки безопасности будет реализовано посредством мер, запланированных в программе долгосрочной эксплуатации французских энергоблоков АЭС

- Основные модификации после Фукусимы (снабжение охлаждающей водой, резервные генераторы) являлись частью программы ЭДФ до событий на АЭС Фукусима
- Добавлены новые концепции: «твердое ядро безопасности» и силы быстрого ядерного реагирования (FARN)

Реализация дополнительной оценки безопасности является перспективой для ядерного сектора Для ЭДФ (Конструкторских и эксплуатационных дивизионов), а также для поставщиков – это необходимость поставлять услуги и сооружать в сроки, отдавая приоритет качеству и обеспечению безопасности

Спасибо за внимание!
Вопросы?