

Конференция МНТК

Москва – 23 мая 2012

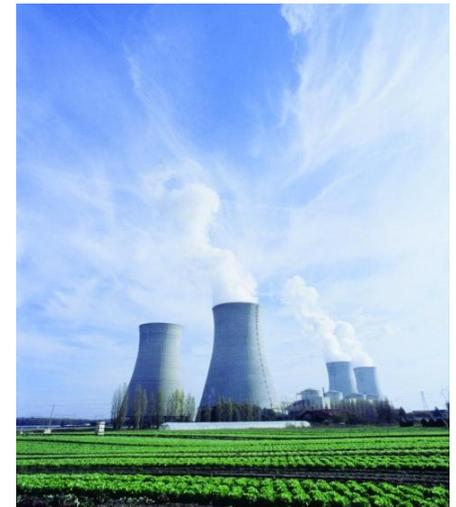
Учет опыта аварии на АЭС Фукусима в EDF

Мишель Дебес

Electricité de France – Отделение Производства и инжиниринга
michel.debes@edf.fr

СОДЕРЖАНИЕ

- EDF с первого взгляда
- Практический опыт EDF в ядерной энергетике
- Главные задачи:
 - Долгосрочная эксплуатация
 - Сооружение EPR FLA 3
- Результаты стресс-тестов на реакторах EDF
 - Дополнительные Оценки Безопасности
 - Улучшения для имеющихся АЭС



EDF с первого взгляда

37,7 МИЛЛИОНОВ

клиентов по всему миру (2011)

156,168

сотрудников по всему миру
(2011)

€65,3 МИЛЛИАРДОВ

с продаж (2011)

628,2 млрд.КВтч

энергии произведено по всему миру (2011)

99,6 г (EDF Group)

CO₂ на КВтч (2011)

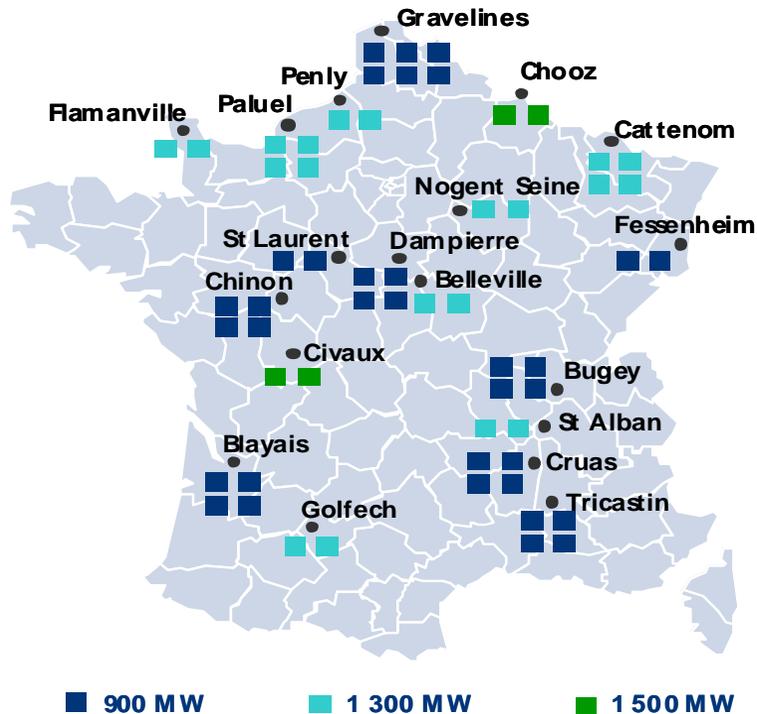
30,4 г (EDF во Франции)

CO₂ на КВтч (2011)

- **Чистая выработка электроэнергии по всему миру: всего 134,6 ГВтэ => 628,2 млрд.КВтч**
Атомная энергетика 74,8 ГВтэ; ископаемое топливо: 34,4 ГВтэ; гидроэнергетика & возобновляемые виды топлива: 25,4 ГВтэ
- **Производство EDF во Франции: всего 97,4 ГВтэ => 459,7 млрд.КВт ч э**
85% производства электроэнергии во Франции (541,9 млрд.КВт ч э)
Атомная энергетика : 63,13 ГВтэ => 421,1 млрд.КВтч э (91,6%) ; ископаемое топливо: 14,27 ГВтэ => 11,8 млрд.КВтч э(2,6%);
Гидроэнергетика: 20 ГВтэ => 26,8 млрд.КВтч э (5,8%)
- **Электричество: охватывает всю цепочку, от проектирования, выработки до передачи, распределения и поставки.**
- **Прочная позиция в Европе и основных европейских странах, таких как Франция, Италия, Польша и Великобритания.**
- **Промышленная деятельность в Азии, Бразилии и Соединенных Штатах**
- **Природный газ: главный игрок (Франция:18 млрд.КВтч; Италия 40 млрд.КВтч; Великобритания: 26 млрд.КВтч; Бельгия16млрд.КВтч)**

Ядерные установки EDF во Франции

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



Три стандартизованные серии:

=> Более высокая безопасность и экономическая выгода

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

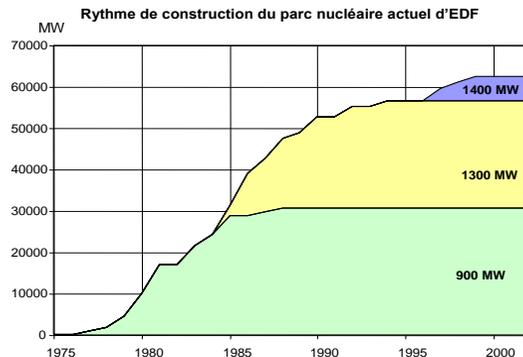
Опыт в качестве инженера-архитектора/ строителя и оператора французского ядерного парка является уникальным в мире

- безопасность и открытость - основной приоритет
- средний срок эксплуатации: 26 лет (от 10 до 34 лет)
- Обратная связь по опыту эксплуатации: ~ 1500 реакторо-лет
- Процесс периодической повторной оценки безопасности каждые 10 лет

==> долгосрочная эксплуатация: цель – до 60 лет

EPR на этапе строительства: Flamanville 3,
Планы по Penly 3

Программа вывода из эксплуатации: 9 реакторов (6GGR - газоохлаждаемых графитовых реакторов, HWGCR Brennilis (газоохлаждаемый реактор на тяжелой воде), SFR Creys Malville (реактор на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением), PWR Chooz A)



Атомный энергетический парк

EDF в Европе

- Производство атомной энергии EDF(2011):

=> 421,1 млрд.КВтч (+3,2%)

Мощность 63,13 ГВт

Высоко конкурентоспособный энергетический

МИКС:

Выработка EDF во Франции: 97,4 ГВтэ =>459,7 млрд.КВтч

Атомная энергетика: 63,13 ГВтэ => 421,1 млрд.КВтч (91,6%) ;

Органическое топливо: 14,27 ГВтэ => 11,8 млрд.КВтч (2,6%);

Гидроэнергетика: 20,00 ГВтэ => 26,8 млрд.КВтч (5,8%)

- **Совокупность разных видов производства электроэнергии чистое, с низким содержанием углерода , 95% - без CO2**

Атомная энергетика: \approx 4 г/КВтч;

EDF France \approx 30,4 г/КВтч

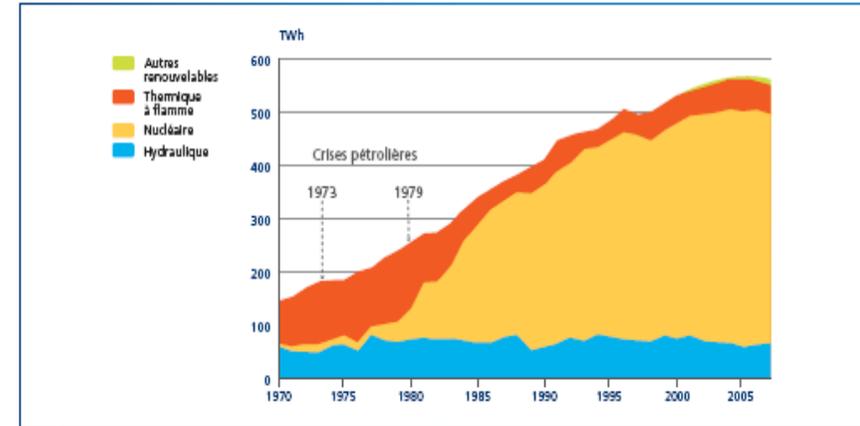
в среднем по ЕС: 337,3 г/КВтч

- EDF Energy (Великобритания)

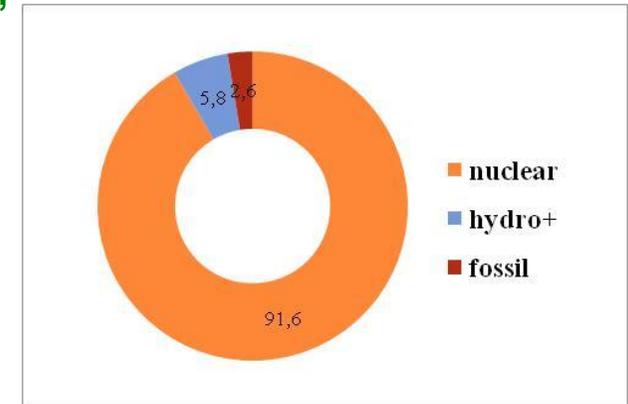
8.7 ГВт атомная энергетика (14 AGR-усовершенствованных реакторов с

газовым охлаждением, 1 PWR) => **55,8 млрд.КВтч (+ 15,5%)**

Répartition de l'électricité produite en France par type d'énergie

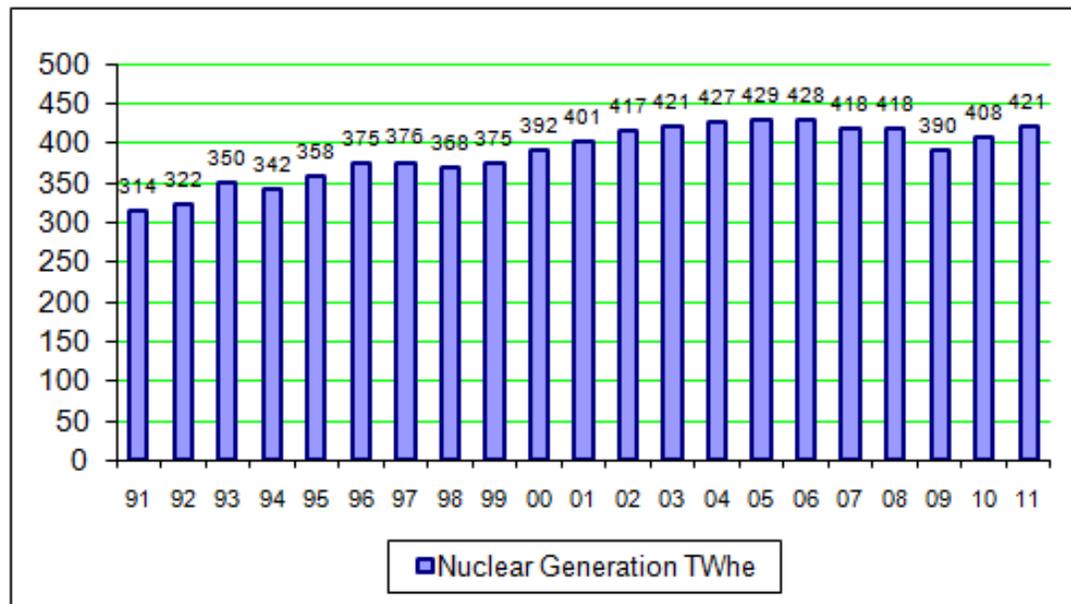


Source : RTE.



Производственные показатели:

Повышение готовности атомного парка остается приоритетом



Выработка атомной энергии :
421,1 млрд.КВтч в 2011 (+ 3,2%)

- Load factor K_p : 76,1 % (= $k_d \times k_u$);
- Коэффициент готовности K_d : 80,7 %;
- Коэффициент использования K_u : 94,3 %
(стабилизация частоты, изменение нагрузки по заданному графику...)
- Использование MOX-топлива на 22 блоках
10 лучших блоков:
Коэффициент готовности k_d : от 89% до 98 %
Случайная неготовность : 2,2%

- Средне-срочная цель: совершенствование технических характеристик для достижения 85% с учетом специфики структуры энергетики Франции (микс длины цикла: 12-ти и 18-тимесячная основа), визиты каждые 10 лет
- Важные последние технические моменты:
 - программа очистки и замены парогенераторов (выполнена на 21 блоке)
 - статоры генератора, блочные трансформаторы ...
 - управление ремонтом, управление ППР
- Влияние визитов периодичностью в 10 лет (ППР 90 суток): 9 в 2011 (5 в 2010), влияние на k_d : 1,5%

Безопасность: приоритет на всех уровнях

• Показатели безопасности (/ блоков / год):

аварийный автоматический останов ректора : $\approx 0,5$ (0 на 38 блоков)

события, сообщаемые в ASN: ≈ 9 – уровня 0 и ≈ 1 уровня 1

уровень 2: - засорение водозабора на Cguas 4 (2009)

- дизель-генераторы на Трикастин (износ внутренних частей) (2011)

• Радиационная защита:

Продолжение подхода ALARA, средняя коллективная доза : 0,7 чел-Зв /блок/год

• Внутренние независимые структуры контроля

=> Генеральный инспекторат по ядерной безопасности в руководящем совете EDF

=> Ядерный инспекторат в Отделении атомного производства

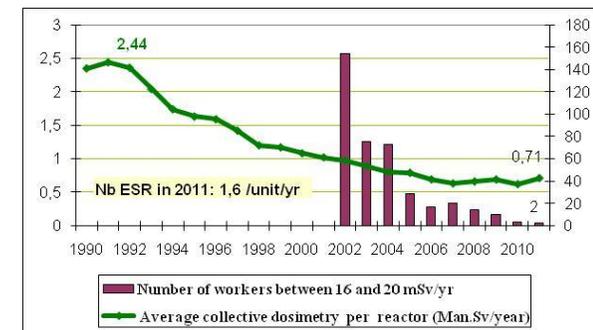
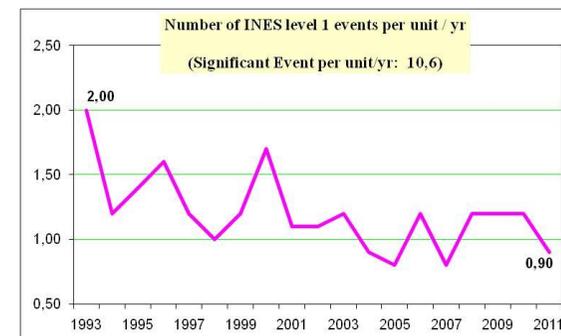
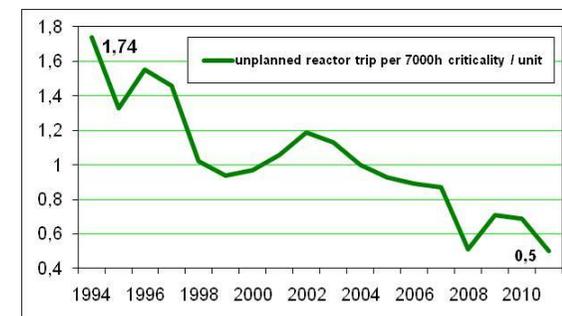
=> миссия по качеству безопасности на каждой станции

• Международная оценка и партнерские проверки:

Osart МАГАТЭ (1/год), Партнерские проверки ВАО АЭС (2 - 3 /год)

• **Международный контроль (Euratom):** меры безопасности, учет материалов...

==> Под контролем Надзорного органа в области атомной безопасности (ASN) (13 июне 2006 –Закон о ядерной безопасности и прозрачности)



Стратегия EDF надежной выработки атомной энергии

Ход выполнения и трудности

Оставаться примером для мировой атомной промышленности

- Ядерная безопасность и культура безопасности являются первоочередным приоритетом на всех уровнях
- Обратная связь по опыту эксплуатации и эффективность глубоко-эшелонированной защиты, аварийная готовность,
- Обратная связь после аварии на АЭС Фукусима : дополнительная оценка безопасности, силы быстрого реагирования...
- Конкурентоспособность, готовность и эксплуатационные характеристики ; исследования повышения мощности ...

Управление долгосрочной эксплуатацией станции

- периодическая повторная оценка безопасности каждые 10 лет: цель – до 60 лет

Эффективность топливного цикла, переработка / утилизация и управление высокоактивными отходами

- Основной актив для надежной атомной энергии

Успешная реализация проекта сооружения EPR Flamanville-3, в то же время получая обратную связь

- Общественные обсуждения и одобрение
- Безопасность, качество, график, стоимость и т.д

Являться главным игроком в международном развитии атомной энергетики

- Международное сотрудничество
- Проекты строительства новых атомных блоков: Китай (2 EPR), Великобритания (EPR GDA), США (лицензирование американского EPR), Польша, RSA
- Исследования по разработке реактора 3 поколения 100 МВт

Развитие навыков и компетенций, необходимых для достижения этих целей

- Международный Мастер в атомной энергетике

Продление срока эксплуатации атомных станций: Повторная оценка безопасности, модернизация и переоснащение

Каждые 10 лет выполняется процесс повторной оценки безопасности для каждой стандартной серии АЭС

- Повторная оценка разрешительной базы, опыта эксплуатации, новых знаний или разработок,
- внутренние/внешние события: землетрясения, затопление, электропитание, охлаждающая вода, промышленная среда...
- Предотвращение тяжелых аварий и ограничение их последствий
- Вероятностные исследования, модификации (анализ затрат/выгод),
- оценка соответствия и проверка, оценка старения, НИОКР

=> В результате, на рассмотрение ASN предложена новая основа безопасности и программа улучшения Текущий процесс: подготовка, стратегическое решение, техническое обоснование, реализация

- 900 МВт: первый VD3 на Трикастин 1 и FSN 1: разрешение ASN о продлении срока службы до 40 лет
- 1300 МВт: подготовка VD3 (ФОАК в 2015)...
- Включая Дополнительную оценку безопасности после аварии на АЭС Фукусима

40-летний срок эксплуатации технически может быть достигнут для действующих станций

- Внедрение систематической программы ТОиР и регулярного усовершенствования блоков с точки зрения безопасности;
- Непрерывное проведение НИОКР, сосредоточенное на долгосрочном поведении основных компонентов и возможности их старения,
- создание института старения материалов на базе НИОКР EDF , с участием крупнейших компаний, СЕА и исследовательских лабораторий

Цель EDF: увеличение срок эксплуатации для всего атомного парка до 60 лет под контролем ASN

- Постоянное соблюдение надлежащего уровня безопасности и программы совершенствования защиты окружающей среды;
- Прогнозная программа воздействия старения или морального старения компонентов

Проект строительства реактора EPR

«Надежный и
эволюционный проект
С учетом имеющегося
опыта эксплуатации

В настоящее время
Flamanville находится на
стадии выполнения
строительных работ

Проводятся исследования
для Penly 3



Запуск 2-ого EPR на площадке Penly
(в партнерстве) для обеспечения
бесперебойности поставок электроэнергии
во Франции и Европе в последующие года

Публичные обсуждения завершены в 2010

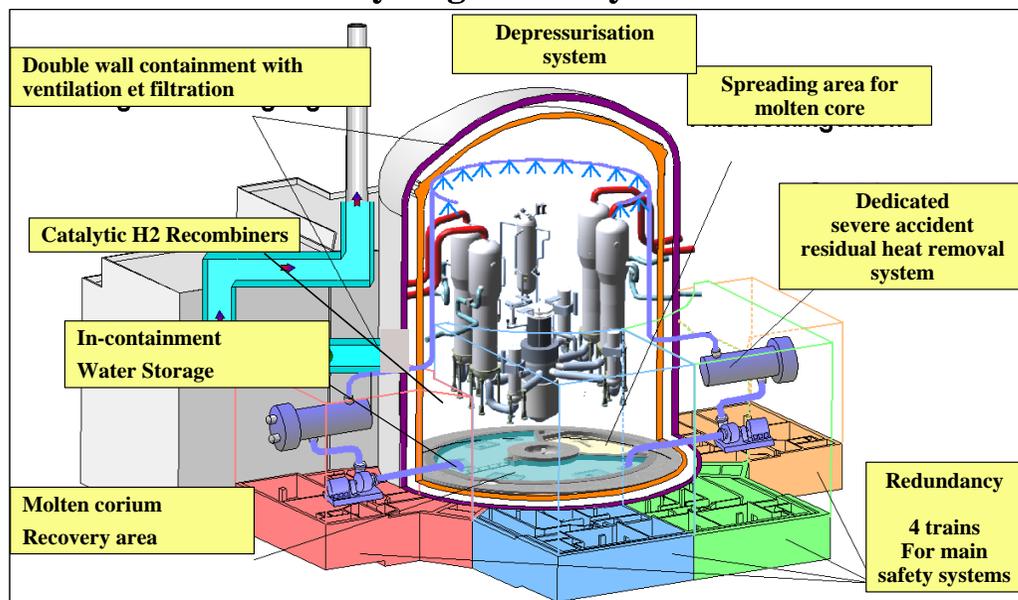
EPR : строительство идет полным ходом на Flamanville 3 и Taishan (Китай)

Эволюционный и обоснованный проект, включающий усовершенствования, возникшие в результате опыта эксплуатации и Франко-немецкое сотрудничество в течение более чем 10 лет

- Локализация тяжелых аварий предусмотрена в проекте
- Устойчивость к внешним воздействиям (падение самолета)
- Текущий процесс оценки безопасности надзорным органом ASN:

Например: КИП, человеко-машинный интерфейс...

Main Safety Engineered systems



- Выбор площадки: октябрь 2004
- Первый бетон: конец 2007
- 98% заключены договора (конец 2011);
- Строительные работы & возведение здания реактора: 88%
- Электро-механические работы : 20%
- Продолжительность строительства: 100 месяцев;
- Инвестиции 6 млрд Евро;
- Начало производства электроэнергии: 2016

=> Опыт для будущих блоков с реактором EPR

(Flamanville 3, Taishan 1/2 China, OL3 Finland, Hinkley Point UK, Penly 3..)

Результаты стресс-тестов

Дополнительная оценка безопасности

На реакторах EDF

Пост-Фукусимский план действий

Законодательная база во Франции и ЕС

После аварии на АЭС Фукусима, вызванной сильным цунами, премьер-министр Франции обратился 23 марта 2011 года к ASN с требованием о проведении дополнительной оценки безопасности с предоставлением в конце 2011 года доклада о состоянии каждой АЭС по пяти направлениям :

- ◆ наводнение
- ◆ Землетрясение
- ◆ Потеря электроснабжения
- ◆ Потеря поглотителей тепла
- ◆ Управление тяжелыми авариями

Европейская Комиссия также запросила проведение стресс-тестов на европейских АЭС



- ◆ Во Франции ASN включила все европейские требования к стресс-тестам в собственные требования о Дополнительной оценке безопасности, т.о. Гарантируя полное соответствие с требованиями от included all the European « stress tests » requirements Совета ЕС.
- ◆ Кроме того было выдвинуто требование о включении оценки принципов и правил заключения договоров подряда на АЭС.

Пост-Фукусимский план действий EDF предоставила свой отчет в ASN

Методология определена ASN, с полным соблюдением требований ЕС. 19 отчетов EDF (по действующим площадкам и находящимся на стадии строительства) были предоставлены в ASN 15 сентября 2011 года, как и требовалось (7,000 страниц - опубликованы на вебсайте ASN: www.asn.fr)

- Согласно проделанной работе EDF подтверждает хороший текущий уровень безопасности и достаточные запасы для всех ядерных установок.

- Большинство извлеченных уроков были предвосхищены в ходе периодической переоценки безопасности, которая проводится 1 раз в 10 лет, в частности в отношении риска наводнения.

- Новые анализы привели к тому, что EDF предложила ASN дополнительные меры, рассматривая потенциальные ситуации даже дальше чем прежние гипотезы

- Эти анализы позволят повысить еще больше и так хороший уровень безопасности на АЭС EDF

=> ASN опубликовала общий отчет с собственной оценкой и требованиями: конец 2011

=> сравнительный анализ запущен на уровне ЕС (ENSREG)

=> готовится отчет для внеочередного собрания КЯБ МАГАТЭ в августе 2012

- EDF проверила, что условия выполнения работ по субподрядам соответствуют их ответственности в отношении безопасности и радиационной защите



Выводы Французского надзорного органа

- ◆ 3 января 2012 года ASN представил заключения своего отчета в отношении дополнительных оценок безопасности
- ◆ Действующие АЭС EDF эксплуатируются на удовлетворительном уровне безопасности.
- ◆ Имеющиеся пределы по сейсмике на АЭС EDF адекватные и удовлетворительные.
- ◆ Тщательная повторная оценка, выполненная на площадках после затопления на АЭС BLAYAIS в 1999 году, привела к тому, что на всех АЭС высокий уровень защиты от затопления.
- ◆ Передовой и надежный проект EPR обеспечивает наперед повышенную защиту в случае тяжелой аварии.



Дополнительная оценка безопасности : двухэтапная методология

1

Глубокая оценка текущего уровня безопасности в соответствии с текущими техническими условиями на проектирование:

- Физическая защита, такая как дамбы, плотины, анкерные крепления, водные ресурсы,...
- Управление проектными авариями
- Все системы важные с точки зрения безопасности

2

Новый анализ выходящая за рамки текущих технических условий на проектирование в отношении:

- Эффективности защит
- Учета экстремальных ситуаций
- « Основное ядро » систем и оборудования, позволяющее избежать выхода радиоактивности с серьезными длительными последствиями

=> При необходимости внедрение дополнительных средств

- оборудование
- Человеческие ресурсы
- местные/государственные организации



Дополнительная оценка безопасности : двухэтапная методология

Области оценки согласно требованиям ASN

- Землетресение
- наводнение
- Потеря поглотителей тепла
- Потеря электроснабжения
- Управление тяжелыми авариями



Совершенствование действующих АЭС после выполнения дополнительной оценки безопасности

• Повышение жизнеспособности (надежности) систем, предусмотренных для защиты основных функций безопасности от внешних угроз (землетрясения, затопление.)

- затопление : защита оборудования и материалов (дамбы или плотины, герметичность зданий...)
- Дополнительная защита электрических распределительных устройств от затопления
- сейсмостойкость: укрепление опор и анкерных креплений, электро-техническое оборудование..



• Повышение возможностей подпитки и электроснабжения для охлаждения реактора и предотвращения обнажения топлива (активная зона, бассейн отработанного топлива)

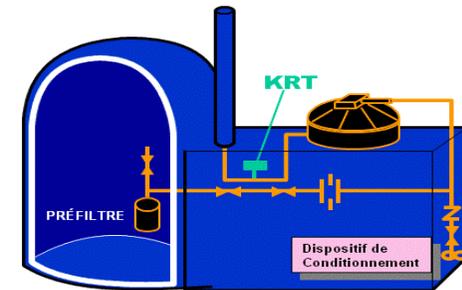
- Дополнительный запас воды (водоем, горизонт грунтовых вод...)
- Укрепление подачи питающей воды (цистерна..)
- Внедрение одного дополнительного резервного дизель генератора на каждом блоке: резервное питание аварийными питательными насосами,
 - подпитка систем охлаждения реактора и бассейна хранения ОЯТ, тепловой насос подачи воды в систему охлаждения реактора
- Операции в бассейне ОЯТ: измерительные приборы (уровень, температура), системы питания, обращение с топливом..



• Защитные меры в случае расплавления активной зоны , минимизация радиоактивных выбросов

для предотвращения значительного долгосрочного радиационного загрязнения окружающей территории

- Надежность и эффективность фильтра контейнерного U5 для ограничения выхода радиоактивных веществ (цезий..), сейсмостойкость, улучшение производительности фильтров (йод),
- Каустическая сода в приемках реакторного здания (ловушка йода)
- studies of countermeasures to avoid contamination of the water table (in case of basement melt through)



• Усиление организаций аварийной готовности на площадке и национальных организаций аварийной готовности: персонал и оборудование

Главные дополнительные меры

- Внедрение “защищенного ядра” систем, конструкций и компонентов, предназначенных для предотвращения крупных радиационных выбросов в окружающую среду в экстремальных условиях, учтенных при рассмотрении рассмотренных ECS.
 - Защита от экстремальных внешних воздействий за пределами действующих условий проектирования,
 - Повышение смягчения последствий и жизнеспособность в случае ЗПА
- Силы быстрого реагирования (FARN)
 - Организация дополнительной жизнеспособной линии защиты через государственную Группу быстрого реагирования (FARN), готовую оказать поддержку площадке, находящаяся в тяжелой ситуации, в течение 24 часов, и необходимое обеспечение,
 - Усиление помещений управления кризисом на площадке



EPR и дополнительная оценка безопасности

Большая надежность проекта :

4 независимых канала безопасности по 100%

6 дизелей : 4 основных дизеля + 2 аварийных дизеля, в двух отдельных зданиях

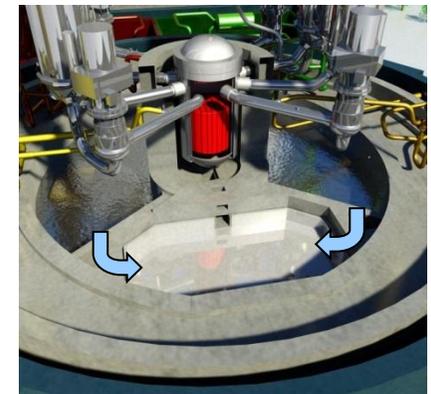
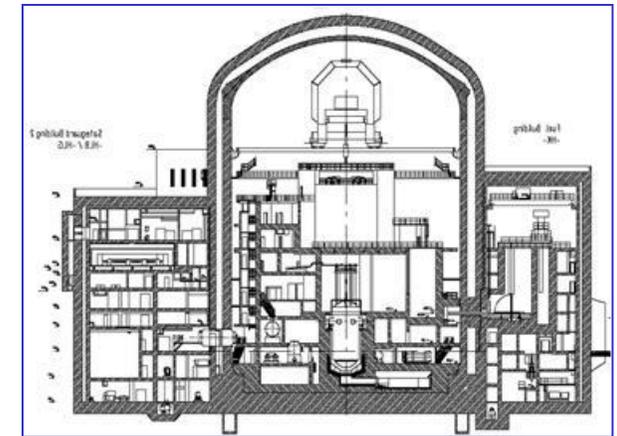
Большие запасы аварийной питательной воды,

диверсификация систем для подпитки морской водой,

Ловушка радиоактивных материалов активной зоны и затопление коря для предотвращения расплавления основания насквозь

Защитная оболочка реактора: высокой сопротивлению давлению, двойные стены со стальной облицовкой

Контроль и ограничение по давлению в защитной оболочке применяя последние средства защиты системы охлаждения.



ЕРР и дополнительная оценка безопасности

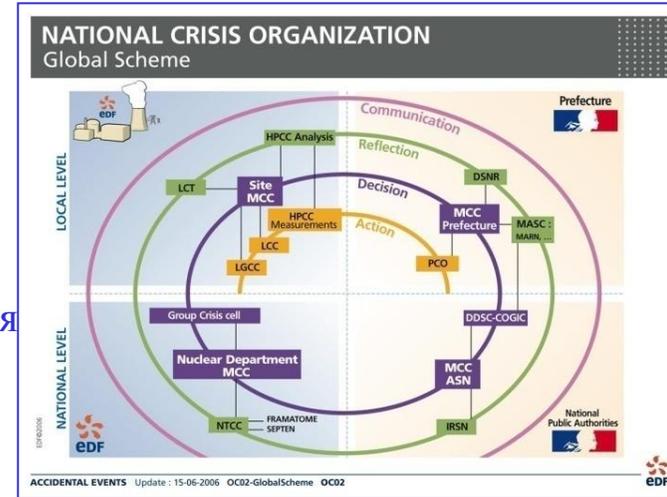
Согласно требованиям Дополнительной оценки безопасности необходимо выполнить оценку всех ситуаций с потерей всех средств аварийной защиты

Предложение по дополнительным контрмерам :

- Повысить надежность имеющихся аварийных дизелей,
- Для FLA3 & PEN3, использовать существующие водоемы, находящиеся на вершине Нормандских скал и соединить их с системой, предназначенной для отвода остаточного тепла,
- Добавить мобильные средства водоснабжения для основной системы охлаждения защитной оболочки.

Усиление аварийной Кризисной Организации и аварийных средств на площадке

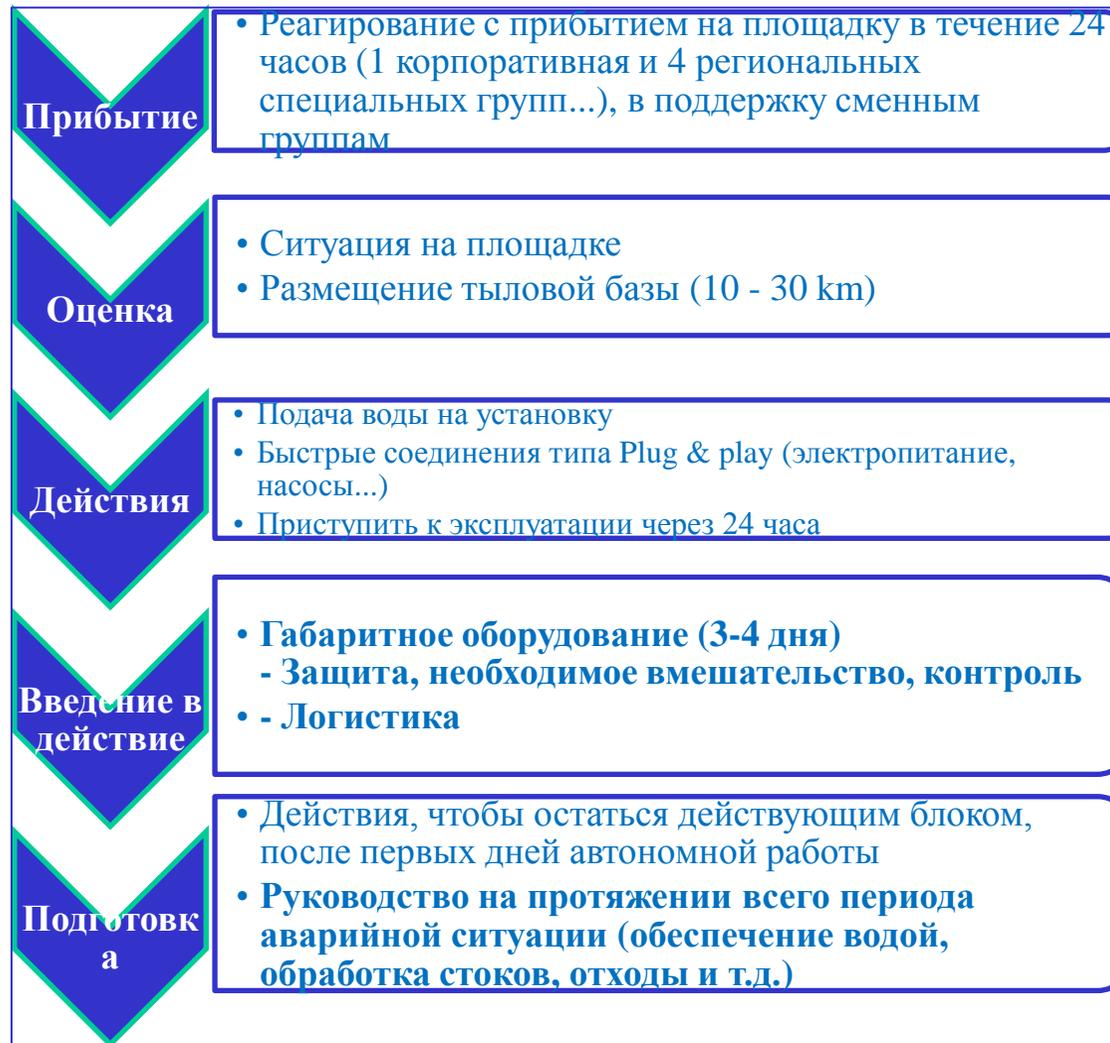
- Усиление практических навыков на площадке,
- Оптимизация организации и процедур :
 - Обучение и семинары,
 - Усиление работоспособности и надежности аварийного оборудования
- Ядерные Силы быстрого реагирования (FARN)
- Местные противоаварийные средства – Региональные и Национальные противоаварийные средства,
- Электрические разъемы и разъемы для подачи воды, обеспечивающие оперативное подключение (plug & play)
- Аварийный кризисный центр на площадке :
 - Более надежное антикризисное управление на месте,
 - Возможность справиться с аварийной ситуацией на всей площадке (многоблочный)



Ядерные Силы быстрого реагирования (FARN)

Цель: восстановить и/или поддерживать охлаждение реактора с целью предотвращения расплавления активной зоны или значительного выброса радиации

Миссии:



FARN: ЦЕЛИ, ПРЕДПОСЫЛКИ & ОСОБЕННОСТИ

Цели FARN

«вмешательство» в область эксплуатации, ремонта и логистических услуг на площадке возникновения аварии в целях восстановления электроснабжения и водоснабжения в течение 24 часов :

- Прекратить ухудшение ситуации
- Обеспечить удержание жидких и/или твердых радиоактивных отходов (например обратная закачка ЖРО в реакторное здание.
- Где возможно , предотвратить расплавление активной зоны, сначала в помощь затем принять на себя обязанности ща сменного персонала, предпринявшего первые ответные действия на площадке.

Предпосылки FARN

- Только одна площадка находится в аварийных условиях (крупнейшая...)
- Важная ликвидация инфраструктуры (включая доступ на площадку)
- Команды, действующие по вызову, потенциально отсутствуют
- Возможность кумулятивных рисков (радиологического и/или химического)
- Мобилизация FARN по корпоративному решению по запросу Директора площадки
- Директор площадки остается оператором ядерной установки
- Действия FARN' осуществляются в рамках Государственной Аварийной Кризисной организации

Основные характеристики вмешательства FARN

- Связь с государственным кризисным центром и руководством станции
- Специально выделенный персонал EDF (обладающий разносторонними навыками..)
- Действия персонала FARN выполняются в полном соблюдении требований охраны труда и радиационной защиты, установленных для подобных ситуаций
- 2-х этапная организация i) разведка & краткосрочная и ii) среднесрочная & долгосрочная)
- Возможность работать автономно в течение нескольких дней на частично поврежденной площадке.

Фукусима продемонстрировала важность сильного владельца/ оператора

Ядерная программа –это не только выбор ядерного поставщика и строительство.

Возможность эффективного управления на протяжении всего жизненного срока станции:

- Нормальная эксплуатация, происшествия и аварийные ситуации;
- Периодические проверки безопасности и длительный срок эксплуатации (60 лет..) имеют исключительную важность для стейкхолдеров...

EDF твердо убеждена, что :

Совершенствование безопасной и эффективной эксплуатации атомных станций достигается, если оператор :

- **Вовлечен в проектирование и строительство станции,**
- **Остается постоянно вовлеченным в технические и проектные вопросы посредством обратной связи из опыта эксплуатации и процесса периодической повторной оценки безопасности.**
- В контексте пост-Фукусимы, банки и инвесторы все больше ценят качество и репутацию оператора-владельца, что является главным условием финансирования новых проектов в области атомной энергетики.

Влияние Фукусимы на строительство новых атомных мощностей

- Фукусима продемонстрировала, что владелец станции/оператор находится на передовой линии для гарантирования ядерной безопасности,

- Устрожение требований к безопасности (WENRA цели безопасности, MDER...):

=> Эталоном сейчас являются реакторы поколения III и III+;

=> В Европе: Целевые показатели безопасности для новых реакторов, предписанных WENRA

=> Безопасность – это первый приоритет, который тем не менее не мешает атомным энергетическим проектам быть конкурентоспособными.

=> Подчеркивается аргумент в пользу укрепления и гармонизации требований безопасности (WENRA цели безопасности, MDER...), с тем чтобы способствовать разработке стандартизованных проектов с совершенствованием обратной связи по опыту эксплуатации

- **Независимость регулирующего органа** (от лицензиата или какого-либо другого органа...) является ключевым фактором для эффективности проекта.

- **Возрастающая роль международных институтов** (МАГАТЭ, OECD/NEA итд.) в разработке новых программ в области атомной энергетики способствует продвижению высоких стандартов безопасности и подчеркивает роль ВАО АЭС в повышении ответственности оператора на международном уровне.

Спасибо за внимание!

Вопросы? ...