



РОСАТОМ

СЛУШАНИЯ ЯДЕРНОГО ОБЩЕСТВА РОССИИ:
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗАВАРИЙНОЙ РАБОТЫ ОТЧЕСТВЕННОЙ ЯДЕРНОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

Атомная энергетика России: эффективность и безопасность

**Докладчик: Советник Генерального директора
Госкорпорации «Росатом»**

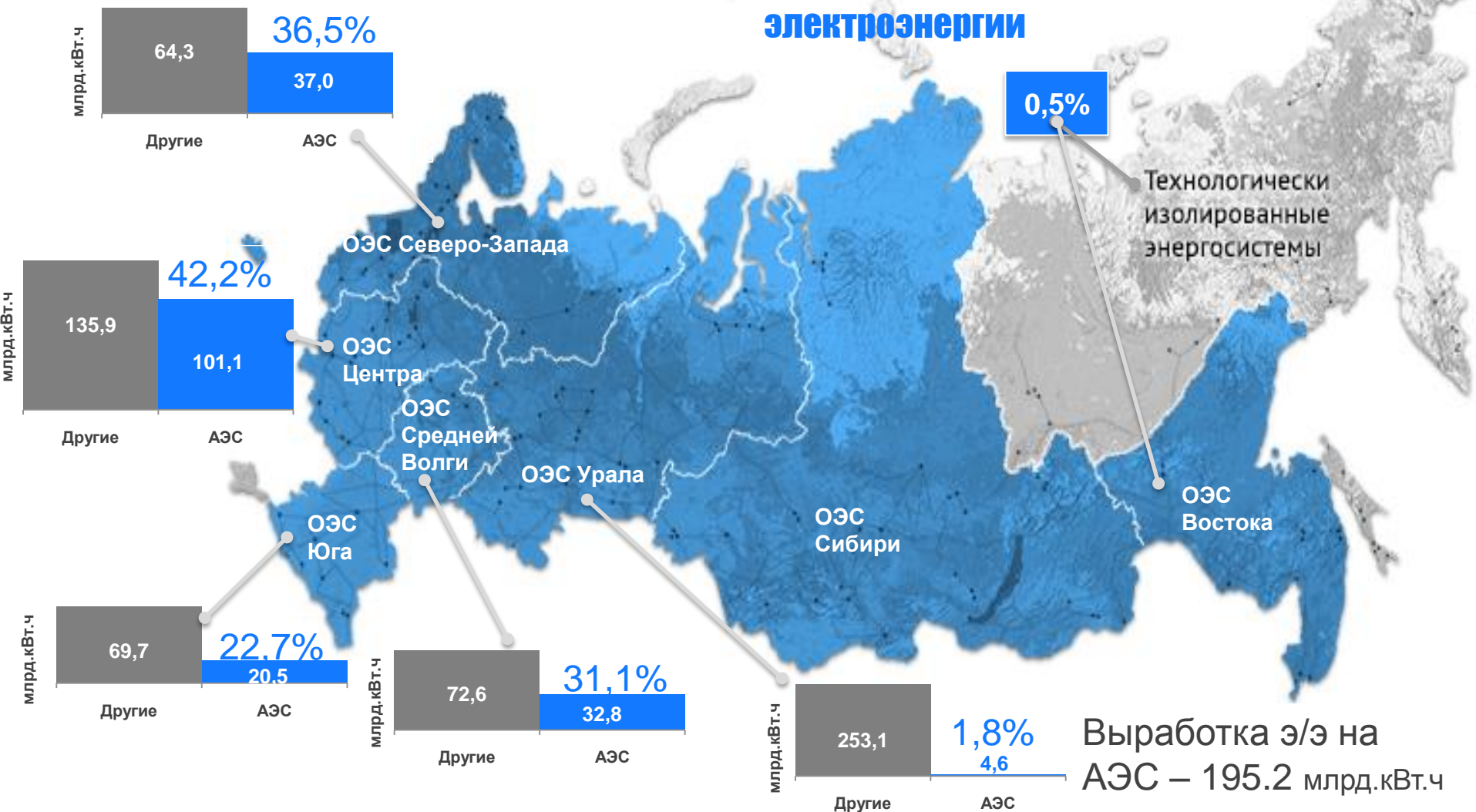
Владимир Григорьевич Асмолов
д.т.н., профессор

25 апреля 2016, Москва

Доля выработки АЭС от выработки электроэнергии по регионам в 2015 г.



Доля АЭС России – **18.6%** от выработанной в России в 2015 году электроэнергии

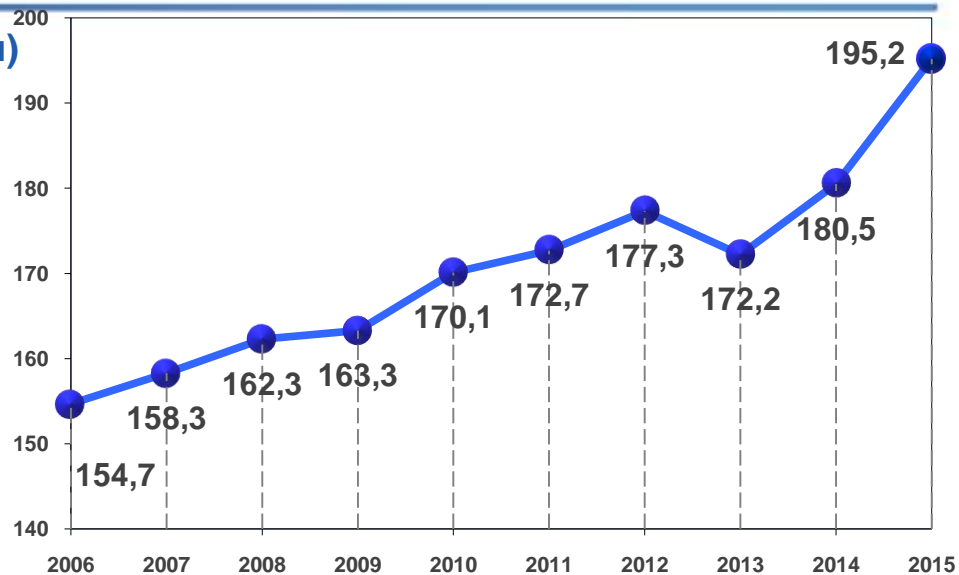


Основные показатели работы АЭС России

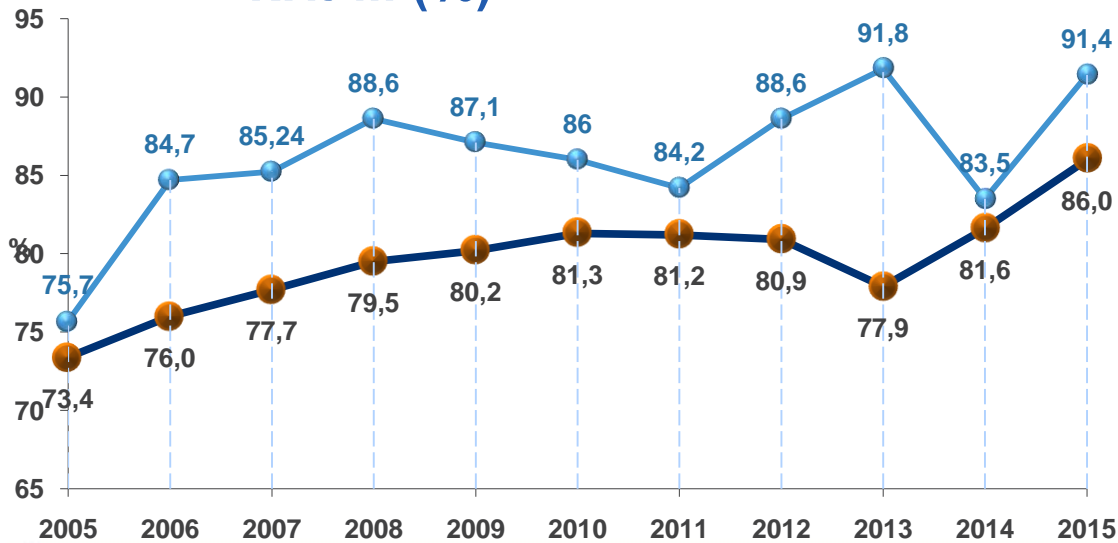


РОСАТОМ

Выработка электроэнергии (млрд.кВт.ч)



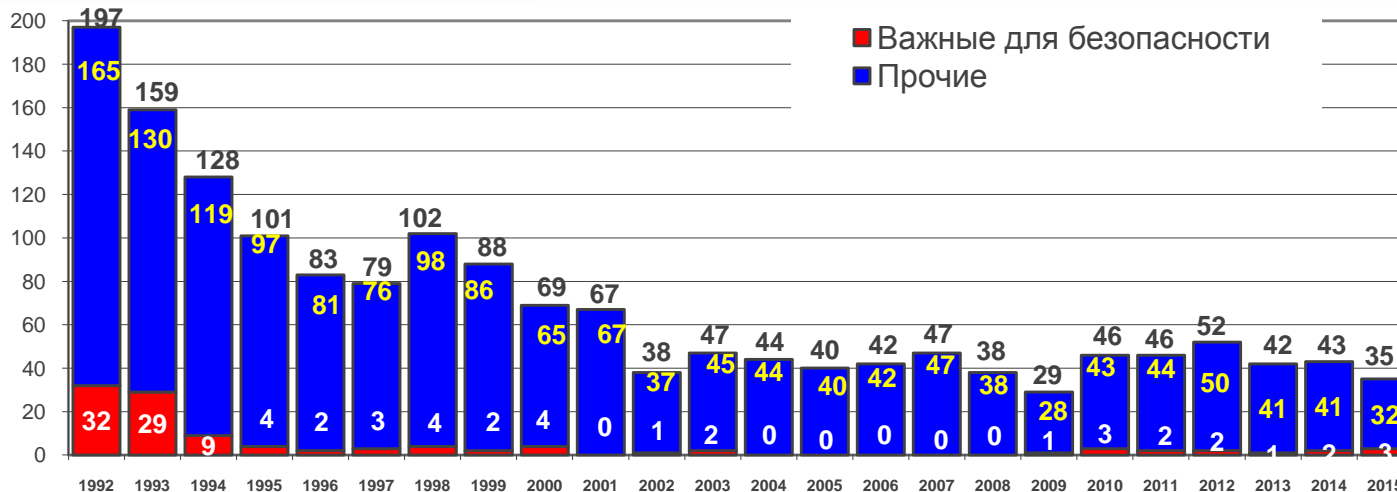
КИУМ (%)



● Все АЭС

● АЭС с ВВЭР-1000

Основные показатели работы АЭС России

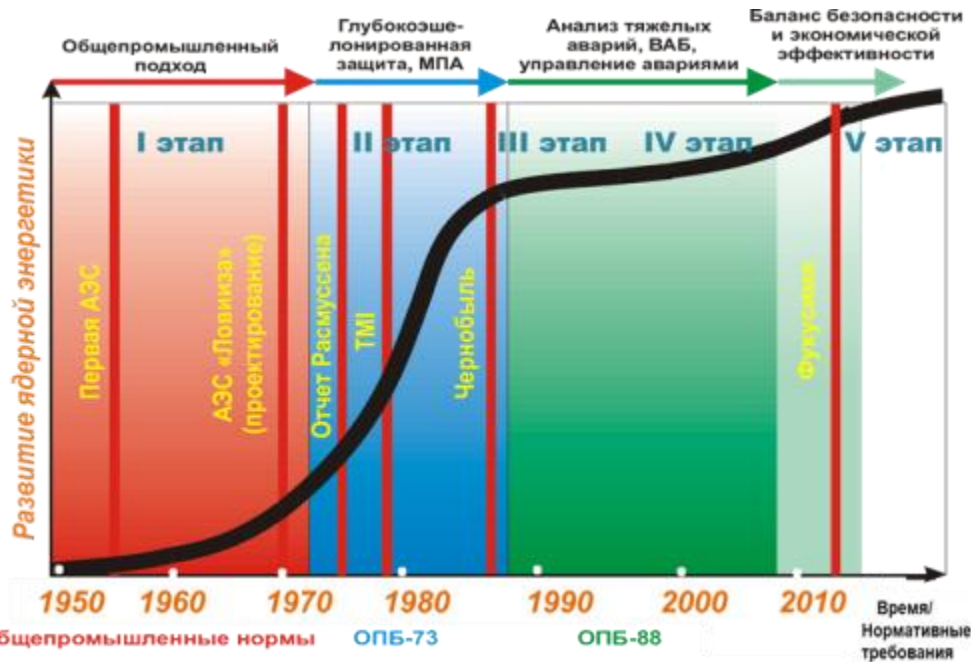


Динамика нарушений

Динамика автоматических остановов реакторов из критического состояния



Ядерная энергетика. Сквозь огонь, воду и медные трубы



I этап:

- Технологический успех, демонстрация возможности создания нового энергоисточника

II этап:

- Ускоренное развитие ЯЭ, опережающее запрос общества, демонстрация конкурентоспособности, переоценка «зрелости» технологии

III этап:

- Тяжелые аварии на АЭС, резкий спад роста

IV этап:

- Второе рождение — демонстрация реальной «зрелости» технологии: гарантированная безопасность и экономическая эффективность

V этап:

- Постфукусимский синдром

Крупные аварии на объектах ЯЭ и ЯТЦ



1952

- Чок-Ривер, Канада (частичное расплавление АЗ)

1955

- EBR-1 (расплавление 45% АЗ)

1957

- Windscale, пожар графитовой кладки

1957

- Челябинск – 70, Кыштымская авария

1979

- ТМ1 -2 – плавление топлива

1986

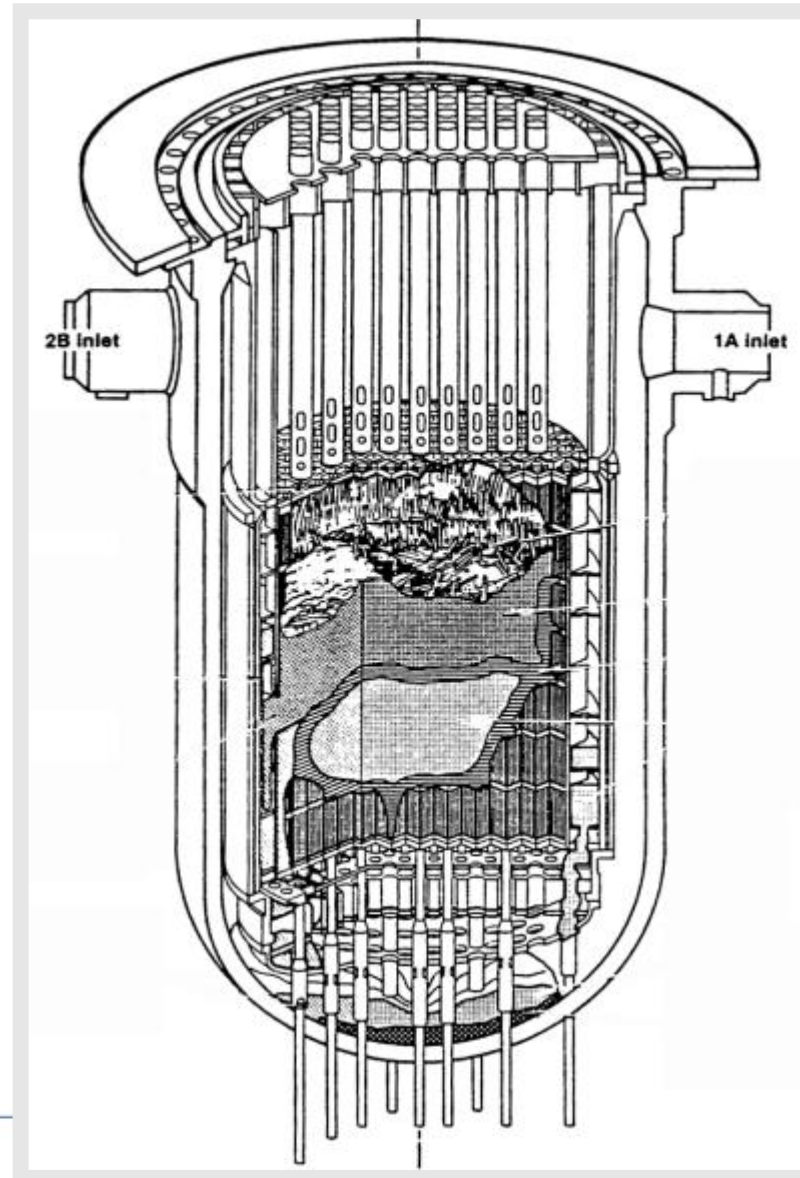
- ЧАЭС – разгон реактора на мгновенных нейтронах

2011

- Фукусима, плавление топлива на 3-х энергоблоках

Авария на 2-ом энергоблоке АЭС ТМ1 в Пенсильвании 1979 год

авария с потерей
охлаждения активной
зоны



До аварии на ТМІ

- Программы исследований по обоснованию эксплуатационных режимов, по кризису теплоотдачи, по переходным процессам и по проектным авариям;
- Развитие ВАБ. WASH-1400 «Reactor Safety Study», доклад Рассмусна 1975.

После аварии на ТМІ

- Разворот программ НИР по исследованию процессов, сопровождающих тяжелые аварии (США, Германия, Франция, Япония, Швеция и т.д.);
- NUREG – 1150 « Severe Accident Risks : An Assessment for Five US NPP», 1990;
- В СССР первые предложения по организации работ по анализу риска и исследованию тяжелых аварий (Сидоренко В.А., Ермаков Н.И., Асмолов В.Г.), 1983-1985 г.г.



РОСАТОМ

Авария на 4 энергоблоке Чернобыльской АЭС

1986 год

(авария с неконтролируемым ростом
мощности)



Чернобыльская авария – совокупность человеческих ошибок

Ошибки эксплуатационного
персонала

Неполное знание физики
реактора (РНЦ КИ, НИКИЭТ)

Ошибки в конструкции органов
регулирования СУЗ (НИКИЭТ)

Что изменилось после аварий на ТМІ и ЧАЭС



Изменение концепции безопасности, разработка базовых принципов безопасности и их детализация в НТД (INSAG «Основные принципы безопасности», серия документов МАГАТЭ, СППНАЭ-87 СССР)



Консолидация и развитие баз знаний по тяжелым авариям на АЭС. Развертывание отечественной Программы исследований



Разработка и внедрение в практику интегральных и сквозных детальных компьютерных программ



Сбалансированное применение вероятностных и детерминистских методов анализа безопасности



Разработка методологии оценки и обоснования безопасности

Изменения концепции безопасности в НТД России (INSAG-3)



**СТАРАЯ
КОНЦЕПЦИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ**

Глубина рассмотрения -
проектные аварии и
постулированные
исходные события.

Число учитываемых
отказов в процессе
развития проектных
аварий **ограничено**
принципом единичного
отказа

**НОВАЯ
КОНЦЕПЦИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ**

Рассмотрение
запроектных аварий с
возможным тяжелым
повреждением активной
зоны вплоть до ее
полного расплавления

При рассмотрении
запроектных аварий
снимается ограничение
принципа единичного
отказа



Усиление требования независимости различных уровней защиты, минимизация возможности развития аварии на следующих уровнях;



Радиационный риск во всех состояниях и режимах должен быть сопоставим с риском от других промышленных установок, используемых для аналогичных целей;



Не должно возникать необходимости эвакуации за пределы промплощадки;



Требования по размещению ядерных установок не должны содержать дополнительных ограничений по сравнению с другими промышленными объектами

Детерминистские критерии приемлемого уровня безопасности



Обоснование самозащищенности за счет внутренних свойств безопасности

Установление требований к эксплуатационным пределам, пределам безопасной эксплуатации и проектным пределам для проектных аварий

Полный мощностной коэффициент реактивности и его составляющие (по удельному объему теплоносителя и температуре, по топливу) не может быть положительными во всем диапазоне параметров реактора, включая проектные аварии

Требование непревышения порогового значения удельной пиковой энтальпии разрушения топлива для реактивных аварий



ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ПРОГРАММЫ В РОССИИ с участием западных партнеров

Теплогидравлика- интегральные эксперименты

Водород (горение, детонация)

Расплав, Маска

Взаимодействие расплав-бетон

Термомеханика твэла

Термомеханика корпуса реактора

Реактивные аварии

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ПРОГРАММЫ на западных установках совместно с Россией

Теплогидравлика – РМК (Венгрия), RASTEL (Финляндия)

Разрушение активной зоны CORA (Германия)

Водород – HDR (Германия)

Взаимодействие расплав-бетон: ВЕТА (Германия), ACE (США)

Фильтры при сбросе давления из защитной оболочки: ACE (США), TYRHOON (Германия)

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПРОГРАММЫ (банки данных, коды)

Теплогидравлика: CAMP, ICAP NEA, OECD Программы ЕС, МАГАТЭ

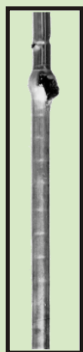
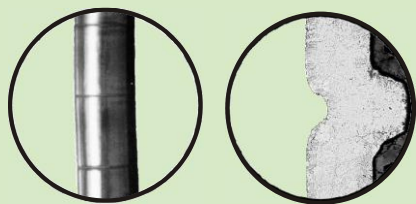
Тяжелые аварии CSARP NEA, OECD Программы ЕС, МАГАТЭ

РАСЧЕТНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

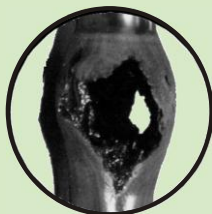
РЕАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

РАЗРУШЕНИЕ ОБОЛОЧКИ ТВЭЛА

Обжатие оболочки по границе топливных таблеток



Специфическое вздутие с разрушением оболочки



ТВЭЛ с топливом высокого выгорания (слева) и со свежим топливом (справа)



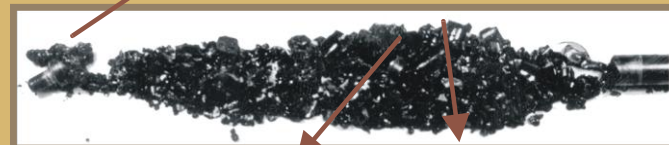
Поперечное сечение твэла в месте максимальной деформации



ФРАГМЕНТАЦИЯ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА



Нижняя заглушка с застывшим расплавом



Фрагменты топливных таблеток с выплавленной центральной частью

Базы знаний: реактивностные аварии



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВ РАЗРУШЕНИЯ ТВЭЛОВ ВВЭР

Испытания
свежих и выгоревших
ТВЭЛОВ ВВЭР
на импульсных реакторах
ГИДРА, ИГР, БИГР

БАЗА ДАННЫХ
по порогам
разрушения

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ ВВЭР С ВЫСОКИМ ВЫГОРАНИЕМ

Механические
испытания образцов
в горячих камерах

БАЗА ДАННЫХ
по механическим
свойствам

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНЫХ ВЕЛИЧИН ВЛОЖЕННОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ РЕАКТИВНОСТНЫХ АВАРИЯХ НА АЭС

- Разработка расчетного инструмента для динамических режимов:
 - нейтронная физика совместно с теплогидравликой;
 - термомеханика ТВЭЛА.
- Анализ возможных сценариев аварий

КАТАЛОГ
расчетных
сценариев

ОБОСНОВАНИЕ
БЕЗОПАСНОСТИ АЭС
ПРИ РЕАКТИВНОСТНЫХ АВАРИЯХ

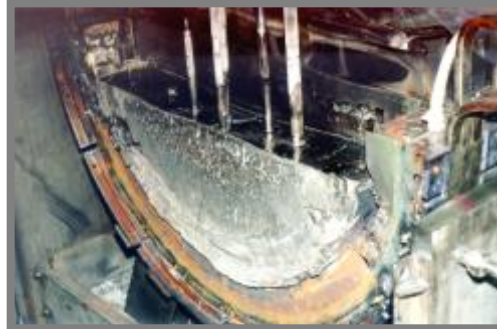
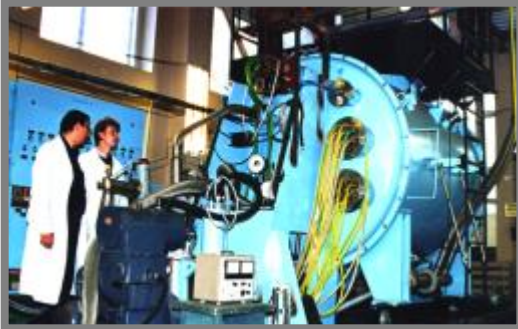
База знаний: ПРОГРАММА CORA - ВВЭР



КЛЮЧЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ

- осушение и перегрев АЗ
- высокотемпературное окисление оболочек ТВЭЛ
- взаимодействие топливо – оболочка
- выход водорода
- плавление и стекание материалов АЗ
- образование блокад

РАСПЛАВ



МАСКА



- Получена база данных по теплофизическим свойствам расплава при температурах до 3100К;
- Создана база данных, описывающая ключевые параметры поведения бассейна расплава;
- Создан расчетный инструмент



База знаний: обоснование устройства локализации расплава

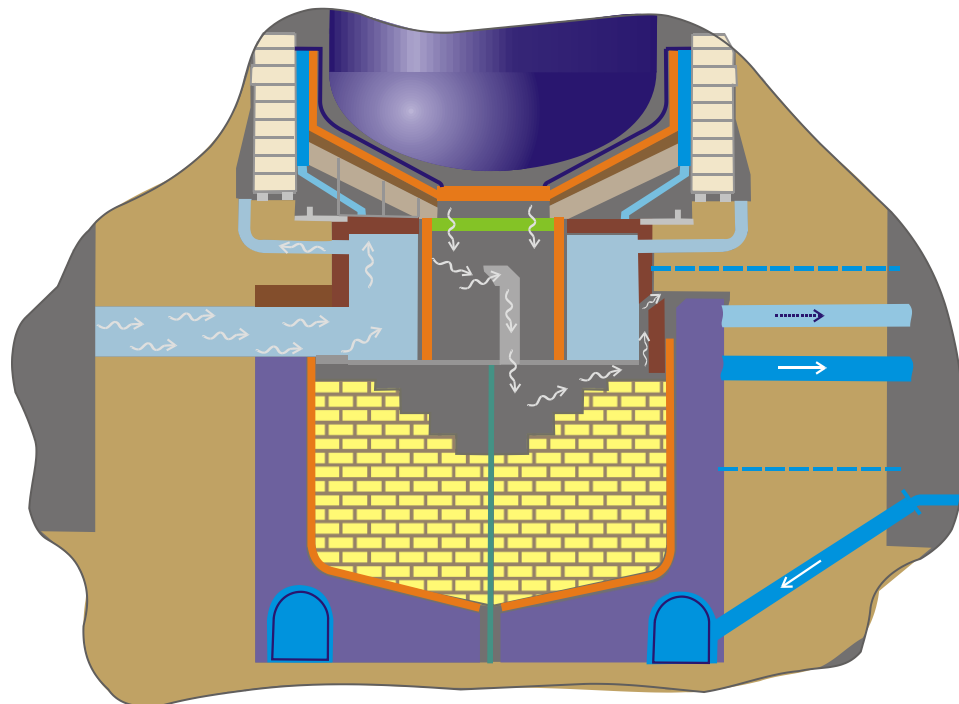


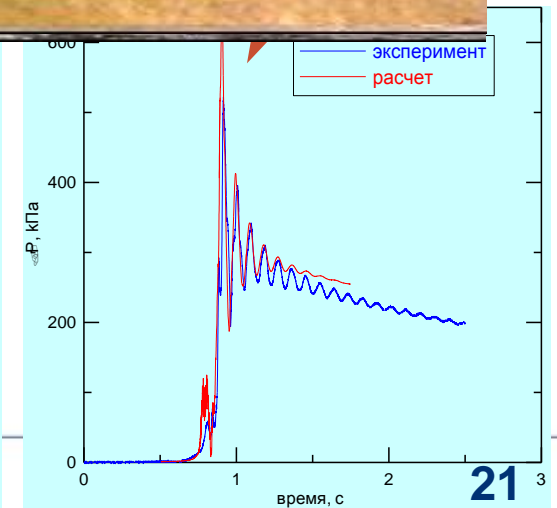
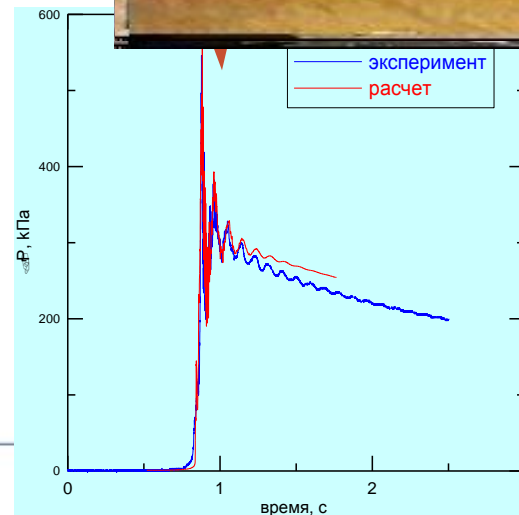
Схема устройства
локализации расплава
(УЛР)



Устройство локализации
расплава на Таньваньской
АЭС с ВВЭР-1000

База знаний: исследование горения и детонации водорода

- Разработаны критерии режимов распространения пламени;
- Созданы газодинамические компьютерные коды (турбулентное горение и детонация газовых смесей);
- Разработаны системы водородной безопасности



Основные постулаты методологии обоснования безопасности



Накопленный уровень знаний о процессах и явлениях при тяжелых авариях позволяет решить проблему управления опасностью за счет:

Качества проекта АЭС и накопленного опыта эксплуатации
(предотвращение аварии)

Управления опасностью, которое заключается в последовательной борьбе за сохранение целостности физических барьеров безопасности, причем каждый барьер рассматривается как последний на пути распространения опасности
(управление аварией)

Базовые принципы безопасности

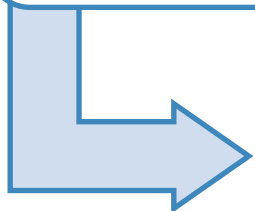


Итоги послечернобыльского периода в России



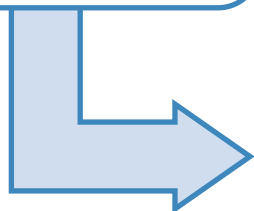
Сохранены

- проектно-конструкторская инфраструктура и знания по базовым технологиям (ВВЭР и БН)



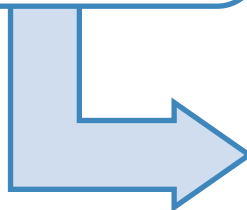
Сохранены

- технологии и инфраструктура сооружения энергоблоков АЭС и ядерная промышленность



Проведены

- научные исследования по тяжелым авариям, разработаны и верифицированы расчетные коды



Развиты и апробированы

- новые проектные решения по безопасности

Авария на АЭС Фукусима

11 марта в 14:46 произошло землетрясение. Магнитуда 8,9. Эпицентр приблизительно в 170 км от станции. Максимальное ускорение 0,35G (АЭС Фукусима по проекту рассчитана на ускорение 0,18G)

① + ②

полная потеря электроснабжения АЭС



Все электрические насосы стали неработоспособны

1. Потеря внешнего электроснабжения вследствие землетрясения



2. Отказ дизель-генераторов из-за затопления

- 1.** Базовые принципы безопасности остаются неизменными и эффективны при правильном применении. При этом меры по предотвращению аварии и меры по управлению аварией имеют равный приоритет
- 2.** Главная ответственность за безопасность лежит на эксплуатирующей организации, и реализуется за счет ее незамедлительных и отработанных действиях по восстановлению утраченных функций безопасности
- 3.** Проектные свойства безопасности АЭС должны обеспечивать достаточное время для оператора для применения эффективных действий по управлению аварией

- 4.** При анализе безопасности на многоблочной АЭС необходимо учитывать синергетический эффект при отказе по общей причине.
- 5.** Разрыв между имеющейся базой знаний о процессах при тяжелых авариях и ее применением на практике
- 6.** Неадекватная защита в глубину национальной инфраструктурной системы ядерной безопасности привело к тому, что техническая глубокоэшелонированная защита объекта не смогла выполнить свою функцию.

Выводы из уроков аварии на АЭС Фукусима

ЭО, органы исполнительной власти, должны быть своевременно проинформированы о событии на АЭС и должны иметь необходимую и работоспособную инфраструктуру для оказания в помощи.

На каждом энергоблоке должен быть организован запас неповреждаемых технических средств, обеспечивающих энерго и водоснабжение



Персонал, руководство АЭС и Эксплуатирующей организации должны быть постоянно готовы к незамедлительным действиям по управлению аварией

Восстановление утраченных функций безопасности в течение первых часов после аварии является ключевым критерием успеха

Требования к крупномасштабной ЯЭС России 21 века

Потребительская привлекательность

- гарантированная безопасность;
- экономическая эффективность

Масштабы производства на рынке электроэнергии

- не менее 30% к середине века

Структура энергопроизводства

- должна обеспечивать многоцелевое использование по областям применения, т.е. расширение рынков сбыта, и многокомпонентность как фактор гибкости и устойчивости к возможным рискам

Сырьевая база

- не должна иметь ограничений на исторически значимый период времени (сотни лет)

Обращение с отходами

- должно обеспечить безопасную окончательную изоляцию РАО

Текущий этап:




наращивание ядерных энергетических мощностей на базе развития технологии ВВЭР, как практической основы промышленной ядерной энергетики на длительную перспективу



создание и отработка базовых элементов новой технологической платформы по замыканию ЯТЦ, обеспечивающих минимизацию радиационной нагрузки при переработки ЯТ и изоляции РАО



обеспечение роста экспорта референтных ядерных энерготехнологий



исследование потребностей рынка для региональной ЯЭ малой и средней мощности и ее «неэлектрического» применения

Последующие этапы:



создание и развертывание замкнутой по урану и плутонию крупномасштабной ЯЭС, как основы устойчивого развития России в третьем тысячелетии



определение перспектив внедрения в ЯТЦ тория



обоснование необходимости и возможности использования термоядерного источника для воспроизводства ядерного топлива



Спасибо за внимание