ГНТЦ ЯРБ

Результаты экспертизы целевой переоценки безопасности (стресс-тесты) энергоблоков ЮУ АЭС с учетом уроков аварии на АЭС «Фукусима-1»

Подходы к выполнению стресс-тестов

- Целевая переоценка безопасности энергоблоков АЭС Украины по отношению к внешним экстремальным природным воздействиям (стресс-тесты) выполнялась с целью:
  - оценки уязвимости АЭС по отношению к внешним природным воздействиям;
  - определения компенсирующих мероприятий для обеспечения стойкости АЭС в условиях множественных отказов оборудования.
- При выполнении целевой переоценки безопасности рассматривалось текущее состояние энергоблоков ЮУАЭС (исходные данные по состоянию на 30.06.2011 г.).

Задачи экспертизы, критерии оценки

В рамках экспертизы выполнена оценка:

- полноты и адекватности учета всех внешних природных воздействий (комбинаций воздействий) при оценке уязвимости АЭС, наличия запасов безопасности
- достаточности мероприятий для обеспечения:
  - устойчивости АЭС в условиях воздействия внешних природных факторов;
  - выполнения функций безопасности при множественных отказах оборудования
- достаточности мероприятий по управлению тяжелыми авариями
- корректности выполненных расчетных оценок и обоснований

Задачи экспертизы, критерии оценки

- При выполнении экспертизы использовались действующие в Украине нормы и правила по каждому из специфических направлений. Кроме отчета по стресс-тестам дополнительно рассматривались отчеты по анализу безопасности, эксплуатационная и противоаварийная документация энергоблоков № 1 - 3 ЮАЭС.
- Постановка задачи и сроки выполнения стресс-тестов определены решением Коллегии Госатомрегулирования от 19.05.11.
- Отчет по стресс-тестам разработан в соответствии с "Рекомендованной структурой и содержанием отчета…", согласованной Госатомрегулирования Украины.
- Требования, изложенные в "Рекомендованной структуре и содержании отчета…", соответствуют аналогичным требованиям к проведению стресс-тестов европейских АЭС (EU "stress-test" specifications). По ряду направлений принятые в Украине требования являются более «жесткими», чем для европейских АЭС (анализ узла хранения свежего топлива, использование критерия в 72 часа, требование по управляемому сбросу среды из гермооболочки, и др.)

Анализ устойчивости энергоблоков ЮУАЭС к внешним экстремальным воздействиям

Внешние воздействия, проанализированные при выполнении стресс-тестов ЮУАЭС:

- Землетрясения
- Смерчи, экстремальный ветер
- Внешние затопления
- Внешние пожары
- Экстремальный снег
- Экстремальные температуры
- Различные комбинации внешних воздействий

Стресс - тесты не выявили дополнительных (не учтенных в ОАБ) внешних экстремальных воздействий и их комбинаций.

Сейсмические воздействия

Проектная сейсмичность площадки ЮУАЭС:

- 0,025g (ПЗ=5 баллов)
- 0,05g (МРЗ=6 баллов)

→ Установлено на основании карты Общего Сейсмического Районирования (ОСР-78) с учетом данных микросейсморайонирования площадки ЮУАЭС

- 0,093g – новое значение ускорения на грунте по результатам инструментальных исследований сейсмичности площадки в 2009-2011 гг.

- 0,12g=0,093g*30% ⇒ установлено в октябре 2011 г. по результатам доисследований с учетом инженерного запаса (согласно международного опыта).

По результатам обходов площадки ЮУАЭС, новых данных, относительно уже отраженных в ОАБ и результатах доисследований, не выявлено

Сейсмические воздействия

Оценка запасов безопасности:

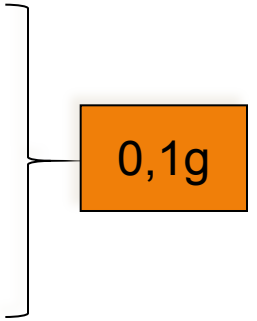
Защитная оболочка:

–при 0,15g - сохраняет герметичность и функции безопасности, что подтверждено оценочным расчетом в рамках стресс-тестов;

Вывод: расчет необходимо уточнить, оформить и включить в ОАБ, а также в Отчет по периодической переоценке безопасности

Оборудование, важное для безопасности:

- Технологическое оборудование, входящее в состав РУ (реактор, парогенераторы, улитка ГЦН, компенсатор объема, барботажный бак), а также оборудование систем:
  - управления и защиты реактора
  - аварийного охлаждения активной зоны
  - компенсации давления 1 контура
  - аварийной питательной воды парогенераторов
  - защиты 2-го контура от превышения давления и др.



- Для другого тепломеханического, электротехнического оборудования и оборудования КИП и А необходимо продолжение работ по квалификации на величину воздействия не ниже 0,12g

Сейсмические воздействия

Оценка запасов безопасности:

Трубопроводы

- Трубопроводы, необходимые для выполнения функций безопасности (останов реактора, локализация, отвод тепла к конечному поглотителю)
  - –трубопроводы главного циркуляционного контура, системы аварийного охлаждения, системы компенсации объема и др. → 0,1g
  - –система главных паропроводов ПГ, система питательной воды ПГ → 0,15g
- Трубопроводы других систем, важных для безопасности, способны выполнить свои функции в зависимости от их классификации по сейсмостойкости → 0,05g

- **Вывод:** необходимо завершить оценку трубопроводов на сейсмическое воздействие не ниже 0,12g

Сейсмические воздействия

Выводы:

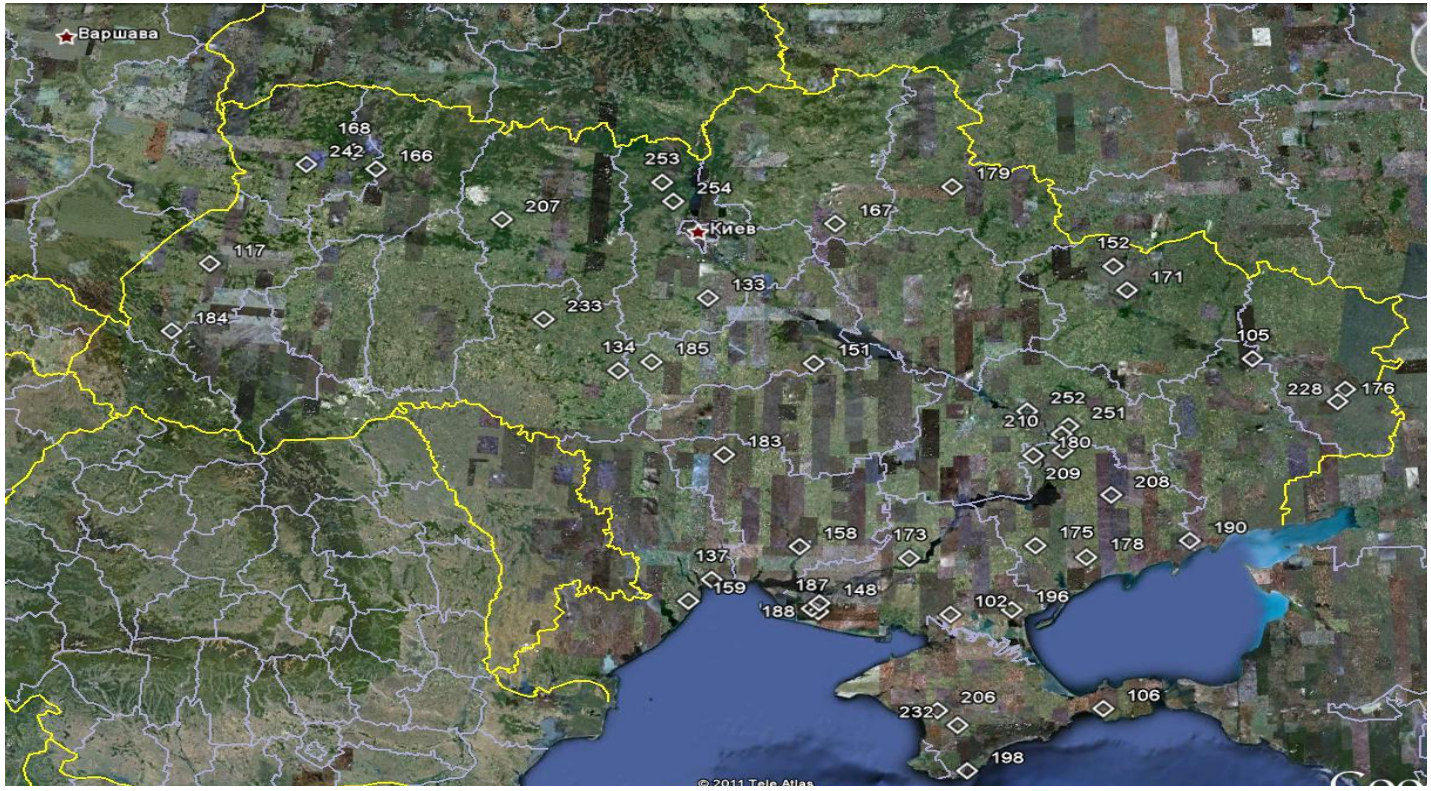
- завершить работы по квалификации оборудования на воздействие **0,12g**, что отображено в Комплексной (сводной) программе повышения безопасности (К(с)ППБ)

- завершить работы по подтверждению прочности на воздействие **0,12g** для других зданий и сооружений и трубопроводов в рамках "Плана мероприятий НАЭК "Энергоатом" по оценке сейсмической опасности и проверке сейсмостойкости действующих АЭС" и дополнений к К(с)ППБ

- организовать постоянно действующую систему сейсмического мониторинга площадки ЮУАЭС

- приоритет работ установить - **«высший»**

Смерчи, экстремальный ветер



- На территории Украины за 45 лет было зарегистрировано 60 смерчей: в 1966-1986 г. 43 смерча, в 1987-2005 гг. 14 смерчей, в 2006-2010 гг. и первой половине 2011 г. 3 смерча.

Смерчи, экстремальный ветер

- Действовавшие на момент проектирования энергоблоков ЮУАЭС нормы не требовали учитывать воздействие смерча
- В соответствии с новыми нормами для площадки ЮУАЭС был установлен расчетный класс смерча - 2,58 (воздействие на сооружения АЭС от перепада давления в воронке смерча 6,4 кПа)
- Данный класс смерча установлен для зданий и сооружений I категории ответственности по ЯРБ: реакторное отделение, здание РДЭС, а также брызгальные бассейны ответственных потребителей группы А
- В рамках ОАБ были проанализированы последствия прохождения по площадке ЮУАЭС смерча более высокого класса – 3,0 (перепад давления 8,1 кПа) и обоснована устойчивость зданий и сооружений АЭС

Вывод: подтвержден запас по отношению к требованиям действующих норм и имеющимся историческим данным по району расположения АЭС для сооружений и оборудования, выполняющего функции безопасного останова реактора и локализации

Смерчи, экстремальный ветер

- В части отвода тепла к конечному поглотителю, существует потенциальная угроза отказа открытых элементов системы техводы ответственных потребителей вследствие потери воды при прохождении смерча. Данное отступление было проанализировано в рамках ОАБ. Материалы стресс-тестов содержат корректные требования о разработке мероприятий, направленных на обеспечение выполнения функции отвода тепла к конечному поглотителю с учетом влияния смерча.

- Необходимо отметить, что в рамках стресс-тестов был выполнен консервативный анализ аварийного сценария с потери теплоотвода от ядерного топлива к конечному поглотителю. Результаты анализа представлены далее.

Прочие внешние экстремальные природные воздействия

- Выполнена оценка влияния внешних экстремальных воздействий на выполнение функций безопасности:
  - **внешние пожары** – вокруг площадки ЮУАЭС отсутствуют лесные массивы (нормативные требования 100 м), а также другие потенциальные источники пожара;
  - **экстремальные температуры/экстремальный снег** – проектными решениями обеспечены запасы безопасности - отсутствует влияние на функции безопасности
  - **внешние затопления/экстремальное снижение уровня** – отсутствует опасность затопления площадки/потери тех. воды группы «А»

Вывод: для рассматриваемых внешних экстремальных воздействий проектными решениями установлены запасы безопасности, выполнение функций безопасности обеспечивается.

Различные комбинации внешних воздействий

- Представленный в материалах стресс-тестов анализ и отсев комбинаций воздействий основывается на совместимости их физической природы и возможных последствий.
- Так, в рамках стресс-тестов рассмотрены следующие комбинации воздействий:
  - землетрясение + сильный ветер;
  - землетрясение + сильный снег;
  - землетрясение + экстремально высокая/низкая температура;
  - землетрясение + внешние затопления;
  - сильный снег + сильный ветер;
  - сильный снег + экстремально низкая температура;
  - сильный ветер + экстремально низкая температура;
  - сильные осадки + внешние затопления;
  - и прочие

Вывод:

- не выявлено комбинаций внешних экстремальных воздействий, представляющих большую опасность для АЭС по сравнению с рассмотренными единичными воздействиями. Дополнительных мероприятий не требуется.

Полное обесточивание АЭС и/или потеря теплоотвода от ядерного топлива к конечному поглотителю

Консервативно постулируется полный «отказ» площадки АЭС (гипотетическое маловероятное событие).

Цель экспертизы - оценка предложенных организационно-технических мероприятий по обеспечению длительного (до 72 часов) отвода остаточных тепловыделений от ядерного топлива в активной зоне и БВ:

- подпитка 2-го контура от мобильного источника (в напорные трубопроводы ТХ);
- подпитка 1-го контура борированной водой от мобильного источника (в напорные трубопроводы TQ, TK);
- подпитка БВ от мобильного источника.

Постулируется восстановление персоналом электроснабжения потребителей II группы надежного электроснабжения от системы нормального и аварийного электроснабжения в течении 72 часов.

Полное обесточивание АЭС и/или потеря теплоотвода от ядерного топлива к конечному поглотителю (2)

Проанализированы наиболее неблагоприятные аварийные сценарии:

- комбинация полного обесточивания АЭС и потери теплоотвода от ядерного топлива к конечному поглотителю без учета действий персонала;
- аналогичный сценарий с учетом действий персонала по СОАИ;
- дополнительный отказ ИПУ КД (огибающий сценарий для средних течей первого контура, в том числе через уплотнения ГЦН).

Приняты консервативные начальные и граничные условия:

- приняты предельные значения начальных параметров;
- состояние активной зоны принято на конец топливной кампании;
- время разряда аккумуляторных батарей консервативно принято 1 час (потеря управления ИПУ КД, БРУ-А и контроля параметров РУ).

Расчетный код RELAP5/mod 3.2:

- модели разработаны и валидированы в рамках ОАБ.

Вывод: перечень расчетных сценариев, а также начальные и граничные условия для определения противоаварийных стратегий выбраны корректно.

Полное обесточивание АЭС и/или потеря теплоотвода от ядерного топлива к конечному поглотителю (3)

Аварийный сценарий	Время до достижения максимального проектного предела повреждения ТВЭЛ в активной зоне (в БВ), час	
	Энергоблоки 1-2	Энергоблок 3
Комбинация полного обесточивания АЭС и потери теплоотвода к конечному поглотителю тепла без учета действий персонала	~3 (~6.5)	~3.5 (~7.5)
Расчетный сценарий с учетом действий персонала согласно процедурам СОАИ	~12	~18
Расчетный сценарий без учета действий персонала и с наложением дополнительного консервативного отказа импульсно-предохранительных устройств компенсатора давления (ИПУ КД)	~2.5	~2.5

Вывод: временные интервалы до достижения максимального проектного повреждения ТВЭЛ в активной зоне и БВ оценены корректно и соответствуют расчетным оценкам, выполненным в рамках анализа запроектных аварий в ОАБ.

Полное обесточивание АЭС и/или потеря теплоотвода от ядерного топлива к конечному поглотителю (4)

Определены возможные стратегии обеспечения теплоотвода от ядерного топлива в активной зоне РУ и БВ:

- аварийная подпитка ПГ от мобильного источника: расход 13 кг/с при напоре 7 кгс/см^2 ;
- аварийная подпитка 1-го контура борированной водой от мобильного источника: расход 13 кг/с при напоре 42 кгс/см^2 ;
- аварийная подпитка БВ: расход 6 кг/с при напоре 4 кгс/см^2 .

Необходимый запас воды для обеспечения теплоотвода до 72 часов составляет около 3370 тонн для одного энергоблока ВВЭР-1000. Аварийную подпитку возможно организовать с помощью автоцистерн пожарных АЦ-40/4 или др. мобильного оборудования.

<u>Вывод</u>: разработанные стратегии являются эффективными и реализуемы на практике. При этом, стратегия по подпитке 1-го контура от мобильных установок должна рассматриваться как крайняя мера при невозможности организации теплоотвода через 2-й контур. Требуются дальнейшие проектные проработки.

Управление тяжелыми авариями

Для предотвращения возможности возникновения тяжелой аварии в проекте АЭС в соответствии с концепцией глубокоэшелонированной защиты предусмотрены системы безопасности и противоаварийные процедуры, направленные на недопущение развития аварии в тяжелую фазу.

В стресс-тестах согласно международным рекомендациям гипотетически предполагается отказ всех имеющихся средств по предотвращению тяжелой аварии (в том числе, аварийной подачи воды от мобильных установок).

Проанализированы основные аварийные феномены тяжелой аварии на АЭС Фукусима-1: переопрессовка ГО и водородная опасность. Расчётные оценки выполнены с использованием кода MELCOR 1.8.5.

Управление тяжелыми авариями (2)

Цели экспертизы:

- оценка достаточности предусмотренных организационно-технических мероприятий по управлению тяжелыми авариями;

- оценка эффективности предложенных дополнительных мероприятий: принудительный фильтруемый сброс парогазовой среды из ГО.

Цель экспертных поверочных расчетов – проверить/подтвердить результаты представленных в стресс-тестах расчетных оценок

Управление тяжелыми авариями (3)

Результаты расчетных оценок
(критерий приемлемости по давлению в ГО - 5 кгс/см^2 (абс.))

Аварийный сценарий	Время до отказа ГО вследствие переопрессовки (давление > 5 кгс/см^2), час	
	Энергоблоки 1-2	Энергоблок 3
Комбинация полного обесточивания АЭС и потери теплоотвода без учета действий персонала и мобильных установок	~24	~10.5
Комбинация полного обесточивания АЭС и потери теплоотвода с учетом действий персонала по СОАИ	~41	~27
Комбинация полного обесточивания АЭС и потери теплоотвода с учетом фильтруемого сброса давления	критерий не достигается	критерий не достигается

Вывод: основные феномены тяжелой аварии оценены корректно, подтверждена эффективность фильтруемого сброса давления из ГО. Уровень знаний о развитии процессов достаточен, имеются адекватные аналитические средства и пути реализации мероприятия

Общие выводы экспертизы

I. Не выявлены ранее неизвестные проблемы безопасности.

II. Энергоблоки обладают запасами безопасности по отношению ко всем экстремальным природным воздействиям и их комбинациям.

Общие выводы экспертизы (2)

I. Вместе с тем, необходимо в сжатые сроки реализовать:

1. Комплекс мероприятий по повышению устойчивости к сейсмическим воздействиям:
   - завершить квалификацию оборудования;
   - завершить работы по подтверждению прочности трубопроводов и сооружений на сейсмические воздействия;
   - организовать постоянный сейсмический мониторинг площадки ЮУАЭС.
2. Комплекс мероприятий по обеспечению отвода тепла от ядерного топлива при запроектных авариях с множественными отказами оборудования:
   - аварийная подпитка ПГ и БВ от мобильных источников;
   - запитка основного оборудования от мобильных источников;
   - обеспечение надежных подъездных путей с учетом внешних воздействий;
   - обучение персонала.
3. Комплекс мероприятий по управлению тяжелыми авариями
   - завершить работы по анализу тяжелых аварий и разработке РУТА (в том числе для БВ), валидации расчетных моделей и кодов;
   - обучение персонала;
   - разработать и реализовать техрешения по аварийному сбросу среды из ГО;
   - выполнить мероприятия по обеспечению диагностики в условиях тяжелых аварий, другие мероприятия КсППБ.