

# ПЕРЕОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ С УЧЕТОМ УРОКОВ АВАРИИ НА АЭС FUKUSHIMA-DAIICHI

Заведующий отделом «Анализа безопасности АЭС» Института проблем безопасности АЭС Национальной Академии Наук Украины (НАНУ)

Руководитель филиала кафедры АЭС при НАНУ, доктор технических наук, профессор

**Скалозубов Владимир Иванович**



# Основные направления

1. Рекомендации МАГАТЭ и требования европейских регуляторов по переоценке безопасности атомной энергетики с учетом уроков аварии на АЭС FUKUSHIMA-DAICHI.

*Основной урок:* пересмотр отношения к относительно маловероятным событиям.

2. В украинских стресс-тестах по переоценке безопасности использовалось недостаточно обоснованное методическое обеспечение в отношении совместного влияния внешних экстремальных воздействий.

## Предлагаемые проекты в 2016 г. по направлению «Переоценка безопасности атомной энергетики с учетом уроков аварии на АЭС FUKUSHIMA-DAIICHI»

1. Совершенствование методического обеспечения стратегии управления тяжелыми авариями с учетом уроков аварии на АЭС Fukushima-Daiichi.
2. Независимый анализ возможности затопления промплощадок АЭС и хранилищ отработанного ядерного топлива при совместном воздействии внешних экстремальных явлений с учетом уроков аварии на АЭС FUKUSHIMA-DAIICHI».
3. Расширение возможностей диагностики состояния тепловыделяющих сборок реакторных установок PWR/ВВЭР.
4. Оптимизация испытаний систем, важных для безопасности АЭС не ВАБ методами

# Совершенствование методического обеспечения стратегии управления тяжелыми авариями с учетом уроков аварии на АЭС Fukushima-Daiichi

## *Обоснование и актуальность проекта*

Отдельные уроки аварии на АЭС Fukushima-Daiichi:

- ▣ Недостаточное внимание к относительно маловероятным аварийным событиям.
- ▣ Недостаточная эффективность действующих стратегий по предотвращению и управлению тяжелыми авариями.
- ▣ Множественные отказы (в т.ч. пассивных систем безопасности и систем контроля).
- ▣ Недостаточное внимание к возможности возникновения паровых взрывов.
- ▣ Недостаточный анализ возможности применения «непроектного» ядерного топлива (MOX-топливо, 3-й блок).

# Цель проекта

Разработать и усовершенствовать методы обоснования стратегий управления тяжелыми авариями с учетом уроков аварии на АЭС Fukushima-Daiichi.

## Основные задачи

- Анализ проектов руководств по управлению тяжелыми авариями (РУТА) для ВВЭР с учетом уроков аварии на АЭС Fukushima-Daiichi.
- Разработка симптомно-ориентированного метода формирования эффективных стратегий РУТА-ВВЭР.
- Разработка термодинамического метода определения условий возникновения парогазовых взрывов при тяжелых авариях.
- Разработка критериального метода экспресс-анализа ядерной безопасности реакторных установок с «непроектным» ядерным топливом.

# Ожидаемые результаты

- Усовершенствованное методическое обеспечение РУТА-ВВЭР по формированию эффективности стратегий управления тяжелыми авариями на основе симптомно-ориентированного подхода.
- Разработка эффективной стратегии по предотвращению парогазовых взрывов при тяжелых авариях в реакторах и контейнментах.
- Критериальный метод экспресс-анализа ядерной безопасности позволит решить следующие основные задачи:
  - а) оперативно оценить ограничения применения непроектного ядерного топлива;
  - б) значительно сократить объем расчетного моделирования и анализа аварийных процессов.

## Независимый анализ возможности затопления промплощадок АЭС и хранилищ отработанного ядерного топлива при совместном воздействии внешних экстремальных явлений с учетом уроков аварии на АЭС FUKUSHIMA-DAIICHI»

### *Обоснование и актуальность проекта*

- Исходным аварийным событием катастрофы в Фукусиме в марте 2011 г. было затопление промплощадки АЭС Fukushima-Daiichi цунами, вызванным запроектным землетрясением (с эпицентром уровня 9 баллов по шкале MSK).
- Ядерные державы под эгидой МАГАТЭ пришли к однозначному выводу о необходимости переоценки экологической безопасности при ЭПЯ для всех действующих и проектируемых АЭС.

- В Украине в «пост-фукусимский» период эксплуатирующая организация АЭС (ГП НАЭК «Энергоатом») и регулирующий орган (ГИЯРУ) разработали и приняли к реализации план мероприятий по дальнейшему повышению безопасности АЭС с учетом уроков аварии Fukushima-Daiichi. В качестве первого шага реализации этого плана были проведены стресс-тесты переоценки безопасности, которые не выявили возможность затопления промплощадок АЭС Украины при ЭПЯ. Однако методическое обеспечение стресс-тестов не учитывало возможный существенно динамический характер процессов затопления промплощадок АЭС и совместное воздействие запроектных ЭПЯ на пристанционные водные объемы.

**Таким образом, актуальна независимая (от эксплуатирующей и регулирующей организаций) экспертная оценка возможности затопления промплощадок АЭС при совместном воздействии запроектных ЭПЯ.**

# Основные цели и задачи проекта

**Основная цель проекта** заключается в независимой экспертной оценке возможности затопления промплощадок АЭС при совместном воздействии запроектных ЭПЯ для разработки практических рекомендаций по повышению экологической безопасности атомной энергетики.

Проект выполняется в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ и Европейского союза регуляторов ядерной и радиационной безопасности (WENRA).

## **Основные задачи проекта:**

1. Сбор, анализ и систематизация геофизических и конструкционно-технических данных для моделирования возможного затопления промплощадки АЭС при совместном воздействии ЭПЯ (на примере пилотной АЭС).
2. Разработка методического обеспечения гидродинамического моделирования затопления промплощадки АЭС при совместном воздействии ЭПЯ в «жестких» внешних условиях.
3. Верификация гидродинамической модели затопления промплощадки АЭС на данных аварии Fukushima-Daiichi 2011 г.
4. Анализ результатов детерминистского моделирования затопления промплощадки пилотной АЭС при совместном воздействии ЭПЯ.
5. Обоснование практических рекомендаций по повышению экологической безопасности атомной энергетики при ЭПЯ.

# Расширение возможностей диагностики состояния тепловыделяющих сборок реакторных установок PWR/ВВЭР.

## *Обоснование и актуальность проекта*

Явление термоакустической неустойчивости (ТАН) теплоносителя связано с возникновением высокочастотных (соответствующих скорости распространения акустических возмущений) высокоамплитудных (до 50 % от установившихся значений) автоколебательных режимов.

Необходимым условием возникновения ТАН в теплотехническом оборудовании является двухфазность потока при существенной неравновесности (например, поверхностное подкипание недогретого в среднем до насыщения теплоносителя, которое сопровождается интенсивной конденсацией паровой фазы в «холодном» потоке).

В общей теплотехнике явление ТАН известно достаточной давно (первые экспериментальные исследования были проведены еще в середине прошлого столетия), однако в атомной энергетике возможность возникновения ТАН теплоносителя в реакторах не рассматривалась по следующим основным причинам.

1. В технических обоснованиях проектов реакторных установок отсутствовали методические основы определения условий и границ возникновения ТАН теплоносителя в активной зоне реактора.

2. В технических проектах реакторных установок отсутствовали соответствующие системы диагностики состояния теплоносителя в отношении ТАН. Внедрение же в реактор дополнительных систем контроля для диагностики ТАН (например, высокочувствительных датчиков измерения пульсаций давления теплоносителя) по понятным причинам было всегда ограничено. Внедрение в последнее время систем шумовой диагностики в принципе позволяет решать задачи диагностики ТАН теплоносителя, но также имеет определенные ограничения (например, выделение из шумового спектра сигналов, «отвечающих» за ТАН).

Вместе с тем диагностика ТАН теплоносителя в реакторах типа WWER, PWR является крайне актуальной по следующим основным причинам.

1. В реакторах «под давлением» типа WWER, PWR в переходных (пуск/останов) или аварийных режимах могут реализоваться необходимые условия ТАН – поверхностное «подкипание» в среднем недогретого до насыщения теплоносителя.
2. Высокочастотные и высокоамплитудные колебания давления в теплоносителе при ТАН приводят к значительным циклическим нагрузкам на оболочки тепловыделяющих элементов активной зоны реактора, а соответственно и к недопустимым для безопасности повреждениям. Так, в процессе многолетней эксплуатации энергоблоков с WWER при перегрузках ядерного топлива были выявлены характерные для внешних циклических нагрузок повреждения оболочек тепловыделяющих элементов. Конечно, нельзя однозначно утверждать, что причиной этих повреждений была ТАН теплоносителя, но и исключать ее влияние также нет достаточных оснований

Таким образом, для WWER, PWR актуальным вопросом является разработка и внедрение системы диагностики ТАН в активной зоне реактора, позволяющей на основе показаний штатных систем контроля и измерения (температура и давление теплоносителя, уровень мощности и т.п.) без привлечения дополнительных систем диагностики в режиме «on-line» определять состояние реакторной установки в отношении ТАН и осуществлять своевременные эффективные действия операторов по устранению опасных режимов с ТАН теплоносителя.

## Основные цели и задачи проекта

Основная цель – обоснование и разработка оперативной системы диагностики ТАН в реакторах типа WWER/PWR, позволяющей на основании только штатно регистрируемых параметров реакторной установки (без привлечения дополнительных систем внутриреакторного контроля) оценить в режиме «on-line» состояние активной зоны реактора в отношении ТАН для принятия эффективных действий по устранению опасных режимов. Для достижения этой цели необходимо решить следующие основные задачи.

1. Адаптация методического обеспечения диагностики условий и границ возникновения ТАН теплоносителя в активной зоне реакторов WWER/PWR.
2. Верификация методического обеспечения оперативной системы диагностики ТАН на основе данных экспериментальных стендов.
3. Корректировка и согласование оперативной системы диагностики ТАН теплоносителя в активной зоне WWER/PWR.
4. Разработка и согласование инструкции применения оперативной системы диагностики ТАН теплоносителя в активной зоне WWER/PWR.

# Оптимизация испытаний систем, важных для безопасности АЭС не ВАБ методами

## Актуальность

Многолетний опыт эксплуатации АЭС подтверждает необходимость пересмотра существующих проектных стратегий испытаний систем, важных для безопасности (СВБ), как при работе реактора на мощности, так и в процессе плановых ремонтов. Для обоснованной изменения стратегий планирования СВБ необходимо создание научной и программно-методической базы оптимизации планирования испытаний в межремонтный и ремонтный период энергоблоков АЭС, в настоящее время фактически отсутствует. Отсутствие научно обоснованного программно-методического обеспечения, в частности, определяет недостаточную корректность при:

- разработке эксплуатирующей организации АЭС новых регламентов испытаний СВБ;
- адаптации рекомендаций других ядерных государств по планированию испытаний СВБ, которые получены также без достаточного научного обоснования.

Наиболее эффективным подходом оптимизации испытаний СББ АЭС с ВВЭР является применение риск-ориентированных методов. Выбор целевых функций риска зависит от целей решаемых задач оптимизации, а также от чувствительности показателей риска к параметрам оптимизируются.

Предыдущие исследования показали, что показатели риска вероятностного анализа безопасности (ВАБ) недостаточно чувствительны к изменению таких параметров, как периодичность проведения испытаний СББ. В качестве целевой функции риска для оптимизации планирования испытаний СББ наиболее целесообразно использование вероятностных оценок интегральных показателей надежности выполнения СББ предназначенных функций безопасности. Зависимость экстремума интегрального показателя надежности выполнения назначенных функций безопасности от периодичности испытаний СББ имеет очевидную интерпретацию: для выявления скрытых отказов / дефектов в режиме ожидания СББ необходимо, с одной стороны, увеличивать количество испытаний; но с другой стороны, чрезмерное увеличение количества испытаний приводит к необоснованному снижению резерва каналов систем, износу оборудования и существенному влиянию ошибок персонала.

Таким образом, в настоящее время изменение стратегий планирования испытаний СББ осуществляется либо на основе субъективных экспертных оценок, либо на основе недостаточно обоснованных методов, которые не учитывают основные факторы, влияющие на надежность СББ, или на основании методов, которые недостаточно чувствительны к изменениям стратегии планирования испытаний СББ.

Перспективным для научно обоснованных методов оптимизации испытаний СВБ применение подхода, учитывающего показатели надежности элементов систем, условия и режимы эксплуатации, качество технического обслуживания, степень эффективности испытаний и влияние на безопасность.

## Основная цель и задачи проекта

**Основная цель** – разработать методы оптимизации планирования периодичности испытаний и периодичности технического обслуживания и ремонта СВБ для повышения безопасности и эффективности эксплуатации АЭС.

### Основные задачи проекта

- а) обобщение и анализ и систематизация известных современных методов, подходов и опыта оптимизации планирования испытаний СВБ для повышения безопасности и эффективности эксплуатации АЭС
- б) разработка методов, методик и программного обеспечения оптимизации планирования периодичности испытаний систем безопасности (СБ) и СВБ нормальной эксплуатации (НЭ) в межремонтный период.
- в) разработка методов, методик и программного обеспечения оптимизации планирования периодичности испытаний и периодичности технического обслуживания и ремонта СБ и СВБ НЭ в период ремонта энергоблока.

## Ожидаемые результаты

- новые методики и программное обеспечение оптимизации планирования периодичности испытаний и периодичности технического обслуживания и ремонта СВБ;
- расчетные оценки оптимальной периодичности испытаний и периодичности технического обслуживания и ремонта для выборочного числа СВБ энергоблоков с реакторами типа PWR.