



**Перспективы использования ВАБ в деятельности по регулированию безопасности АЭС Украины**

*Редько*



- Статья 5 Закона Украины “Про использование ядерной энергии и радиационную безопасность” определяет принцип государственной политики в области использования ядерной энергии, и в частности декларирует:
  - запрет “...всякой деятельности, связанной с ионизирующим излучением, если преимущество от такой деятельности меньше, чем возможный вред, причиненный такой деятельностью.”
- Риск-ориентированные подходы и Программа РОП совершенствуют механизм реализации этого принципа на практике, т.е. позволяют получить количественную оценку риска и соотнести этот риск с преимуществами от реализации того или иного решения

## Основы риск-ориентированных подходов

---

- Применение риск-ориентированных подходов (РОП) - современная философия регулирования безопасности и эксплуатации АЭС.
- Потенциальные выгоды регулирования безопасности и эксплуатации АЭС с использованием РОП
  - **Повышение** безопасности АЭС
  - **Повышение** эффективности работы АЭС
    - снижение избыточной регулирующей нагрузки на лицензиата
    - оптимальное использование материально-технических и финансовых ресурсов
  - **Оптимизация** направлений регулирующей деятельности

## Основы риск-ориентированных подходов

---

- **Решение коллегии Госатомрегулирования Украины от 13.11.2001 № 9 «О применении оценок риска в регулировании безопасности ядерных установок»**
  - Планомерное внедрение в практику регулирующей деятельности вероятностных методов в качестве инструмента для подготовки и принятия решений.
  - Использование показателей вероятности тяжелой аварии как одного из критериев уровня безопасности АЭС
  - Приоритетность НИР в области вероятностного анализа и введение в действие нормативных актов касательно требований к форме, содержанию и методологии:
    - ВАБ 2 и 3 уровней, различных модификаций и дополнений ВАБ 1 уровня, включая экстремальные воздействия, методологии использования вероятностных методов в регулирующей деятельности
    - Преимущество должно быть за применением международно-признанных методик и документов

- **Решение коллегии Госатомрегулирования Украины от 13.11.2001 № 9 «О применении оценок риска в регулировании безопасности ядерных установок» (продолжение)**
  - Разработка программы применения вероятностных методов анализа
  - Вероятностные показатели не должны использоваться в качестве единственного критерия, а должны служить дополнительными аргументами для принятия регулирующих решений. Применение РОП совместно с детерминистическими подходами обеспечивает принятие более обоснованных решений по вопросам безопасности АЭС

## Основы риск-ориентированных подходов

---

- **Решение коллегии** - совместно ГКЯР и НАЭК Энергоатом разработать Программу применения вероятностных методов анализа, в которой предусмотреть
  - Разработку нормативной базы
  - Определение дефицитов безопасности по результатам работ на этапе переоценки безопасности энергоблоков АЭС и разработку корректирующих мероприятий
  - Приоритет и оптимизацию мероприятий по проблемам безопасности, которые были идентифицированы методами ВАБ и мероприятий, которые были сформулированы ранее детерминистическими методами
  - Оптимизацию технического обслуживания и ремонтов оборудования АЭС
  - Оптимизацию периодичности контроля работоспособности систем и оборудования, важных для безопасности
  - Оптимизацию программ контроля металла оборудования и трубопроводов АЭС
  - Внесение изменений в проектную и эксплуатационную документацию АЭС, и др.

- **«Программа внедрения риск-ориентированных подходов в регулирующей деятельности и эксплуатации АЭС Украины»**
  - Является отраслевой и предусматривает скоординированные усилия НАЭК «Энергоатом» и Госатомрегулирования Украины
  - В Программе изложена общая стратегия, перечень задач и этапы внедрения РОП в практику регулирования безопасности и эксплуатации АЭС
  - Программа согласована ГКЯР и введена в действие распоряжением НАЭК «Энергоатом» №.647-р от 31.10.2003
  - Программа предусмотрена открытой, т.е. в ходе реализации Программы предусматривается возможность корректировки состава работ и графика на основании анализа опыта реализации
  - Разработка нормативно-методологической базы является зоной особого внимания регулирующего органа

- **Базовые принципы и основы применения оценок риска в регулировании безопасности ядерных установок**
  - **Принцип 1.** Вероятностные методы анализа служат дополнением детерминистических. Численные значения риска, полученные методами ВАБ, не должны использоваться в качестве единственного критерия, но служат дополнительными аргументами для принятия регулирующих решений. (risk-informed regulation).
  - **Принцип 2.** Исходя из необходимости реализации концепции глубоко эшелонированной защиты для обеспечения безопасности, при принятии решения по какому-либо мероприятию должны соблюдаться следующие требования:
    - Адекватность мероприятия тому риску (и соответствующей неопределенности), против которого оно направлено.
    - Разумный баланс между мерами по предотвращению аварий с повреждением активной зоны или с повреждением гермооболочки, и мерами по смягчению их последствий.
    - Независимость барьеров глубоко-эшелонированной защиты.
    - Соответствие резервируемости, независимости и разнообразия систем ожидаемой частоте и последствиям аварийных ситуаций, требующих их работу.
    - Предотвращение отказов по общей причине, в том числе и возможных отказов по новым общим причинам.
    - Предотвращение или снижение вероятности возможных ошибок персонала.

- **Принципы применения оценок риска (продолжение)**

- Принцип 3. Один из основных принципов регулирования с использованием оценок риска заключается в том, что снижение консерватизма должно сопровождаться реализацией мероприятий, не только компенсирующих, но и позволяющих повысить безопасность за счет более эффективного использования высвобождающихся средств. При этом необходимо использовать в качестве критериев оценки не только целевые показатели безопасности (частота повреждения активной зоны, ЧПАЗ, и частота сверхнормативного радиоактивного выброса), но и учитывать влияние на конкретные функции безопасности, оценивать изменение профиля риска (например, изменение относительных вкладов исходных событий аварий в ЧПАЗ), и т.п.
- Принцип 4. Должны быть обеспечены достаточные запасы по пределам безопасной эксплуатации;
- Принцип 5. Должно быть обеспечено не превышение вероятностного критерия безопасности для действующих и строящихся энергоблоков АЭС, регламентированного в ОПБ.

- **Принципы применении оценок риска (продолжение)**

- Принцип 6. Преимущества от реализации решения должны обоснованно компенсировать возможные изменения показателей безопасности. Т.е., должны быть проанализированы и соответствующим образом учтены (компенсированы, оптимизированы) возможные отрицательные (нежелательные) эффекты от предлагаемого изменения в лицензионной базе.
- Принцип 7. Объем, глубина, уровень детализации и качество обоснований (включая как традиционные детерминистические, так и вероятностные анализы), должны адекватно соответствовать поставленной задаче и базироваться на реальном исполнительном состоянии энергоблока и учитывать опыт эксплуатации.
- Принцип 8. Должен выполняться мониторинг для оценки влияния и последствий от реализации решения.
- Принцип 9. Анализы, используемые для обоснования решения, должны быть проведены и задокументированы с использованием программы качества, соответствовать по объему и полноте требованиям нормативных документов, и должны подвергаться как внутренней проверке, так и государственной экспертизе.

- **Планомерное внедрение риск-ориентированных подходов требует**
  - Разработку технически адекватных и качественных полномасштабных ВАБ. Расширение существующих вероятностных анализов (выполненных в ограниченном объеме) углубляет сферу применения РОП
  - Развитие нормативной базы, которая бы охватывала всесторонние аспекты применения РОП
  
- **Направления развития нормативно-методологической базы**
  - Общий нормативный документ
  - Требования и руководства по ВАБ
  - Методики и руководства по применению РОП

## Нормативно-методологическая база для реализации РОП

---

- **Общий нормативный документ по РОП**
  - Устанавливает принципы риск-информированного регулирования
  - Обеспечивает соответствие подходов Риск-Информированного Регулирования положениям ядерного законодательства Украины,
  - Устанавливает специфические для АЭС Украины критерии приемлемости
  - Определяет требования к элементам и атрибутам ВАБ, используемым для риск-информированного регулирования и т.д.

- **Требования и руководства по ВАБ**

- Цель - создание системы руководств по различным направлениям ВАБ, которая направлена на:
  - увеличение эффективности разработки и экспертизы ВАБ
  - обеспечение высокого качества ВАБ
- Объем
  - Разработка пяти новых документов по основным направлениям ВАБ
  - Корректировки и дополнения существующих

- **Методики и руководства по направлениям РОП**

- Цель – создание набора руководств по направлениям РОП, которая направлены на:
  - увеличение эффективности применения РОП
  - обеспечение технической и методологической базы для проектов внедрения РОП
  - обеспечение высокого качества работ
- Объем
  - Тринадцать руководств по первоочередным и перспективным направлениям

# Нормативно-методологическая база для реализации РОП

Нормативно-методологическая база имеет следующую структуру и состав



## Статус разработки нормативно-методологической базы

---

- ГКЯР фокусирует усилия на разработке нормативно-методологической базы по РОП (КЯР США оказывает частичную поддержку этой деятельности на основании соглашения о сотрудничестве)
  - Разработка ведется с привлечением ГНТЦ ЯРБ, организации технической поддержки ГКЯР
  - На 2003 – 2004 г выделена разработка следующих первоочередных документов
    - Общий нормативный документ по РОП (работы ведутся)
    - Требования к Оперативному ВАБ
    - Методика по оценке и приоритизации проблем/вопросов безопасности, поддержке модернизаций и изменений проекта
    - Руководство по использованию полномасштабного тренажера для анализа противоаварийных действий персонала
    - Методика по оптимизации технического обслуживания и ремонта оборудования
-

## Статус разработки нормативно-методологической базы

---

- В настоящее время в процессе формирования и обсуждения критерии и показатели безопасности энергоблоков, которые будут использоваться для принятия регулирующих решений
  - Неготовность системы или функции безопасности.
    - Базируется на результатах ВАБ 0 уровня
  - Частота повреждения активной зоны (ЧПАЗ)
    - Инструментом количественной оценки ЧПАЗ является ВАБ 1 уровня;
    - Основа – целевые показатели безопасности из ОПБУ
  - Частота сверхнормативных выбросов (ЧСНВ)
    - Инструментом количественной оценки ЧСНВ является ВАБ 2 уровня;
    - Основа – целевые показатели безопасности из ОПБУ
  - Частота последствий для здоровья человека.
    - Инструментом количественной оценки является ВАБ 3 уровня
    - Основа – критерии НРБУ

## Повышение квалификации в области ВАБ и РОП

---

- Обязательное условие успешного внедрения и использования РОП в практику эксплуатации и регулирования безопасности АЭС - наличие у персонала необходимого уровня квалификации и знаний в области прикладных задач ВАБ и риск-ориентированного регулирования.
- Технология использования вероятностных методов и практических приложений ВАБ продолжает постоянно совершенствоваться, появляются новые аналитические средства и методы, новые направления использования вероятностных подходов, продолжает развиваться национальная нормативная и методическая база.
- Необходимо
  - Комплексный план обучения, как составной элемент Программы
  - Непосредственное участие персонала АЭС в работах
  - Повышение квалификации в области ВАБ и РОП на семинарах, курсах, и т.д.
- От лица ГКЯР, ГНТЦ ЯРБ является ответственной по данному направлению

## Заключение

---

- Опыт разработки главы ВАБ в ОАБ показал
  - Существуют определенные области проекта, требующие улучшения с точки зрения снижения риска. Методы ВАБ позволяют оценить и приоритизировать мероприятия по повышению безопасности.
  - Действия персонала являются одним из доминантных вкладчиков в риск. Одним из факторов являются недостатки существующих ИЛА. Использование полномасштабного тренажера в целях усовершенствования ИЛА и снижения консерватизма оценок вероятности ошибок персонала является одним из путей повышения надежности персонала и энергоблока в целом.

## Заключение

---

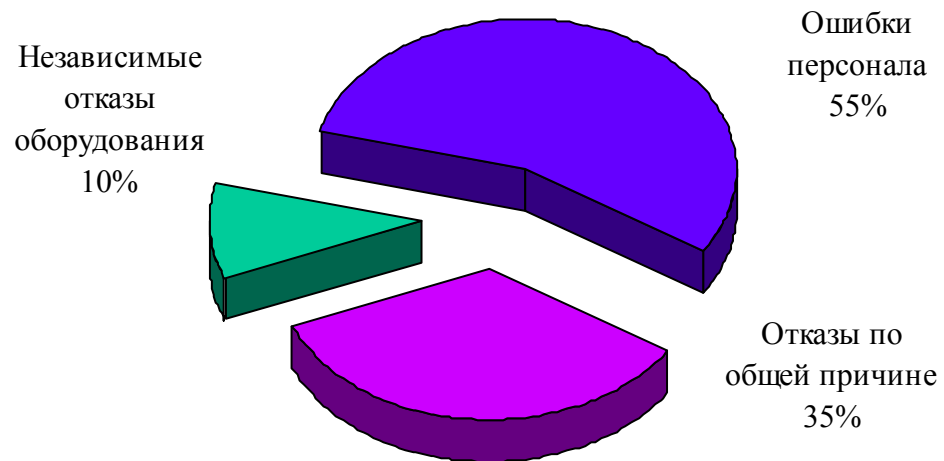
- ЧПАЗ, рассчитанные в составе ОАБ энергоблоков АЭС Украины
  - Находятся в области, близкой к предельным значениям, установленным в ОПБ (запас минимальный)
  - Учитывают только внутренние ИСА при работе на номинальном уровне мощности
- Поэтому необходима планомерная деятельность в направлении использования оценок риска в регулирующей деятельности эксплуатации АЭС Украины.

- 
- Дополнительные слайды по вкладчикам РАЭС-1

- 
- Суммарная ЧПАЗ для энергоблока №1 РАЭС - 8.06 Е-05.
  - Расчеты выявили ряд недостатков проекта, существующих аварийных процедур и т.п., существенно влияющих на ЧПАЗ
    - Потеря БЗК ведет к отказу всех АПЭН и ДАПЭН
    - Возможность засорения баков-приямков ГО изоляцией
    - Возможность зависимого отказа систем САОЗ (для некоторых течей 1 контура) в результате забора воды из бака-приямка насосами САОЗ НД и перекачки ее в бак САОЗ
    - Недостаточное разделение по электроснабжению (например, все БРУ-К и один БРУ-А запитаны от одного канала надежного электроснабжения)
    - Искусственное обесточивание
    - Потенциальная уязвимость систем питательной воды пространственным взаимодействиям
-

## Распределение ЧПАЗ по отказам

---



---

- Проблема

- Баки БЗК взаимосвязаны. Течь любого бака ведет к потере запаса воды системы дополнительной аварийной питательной воды (ДАПЭН). Кроме того, от этих баков запитаны насосы НБЗК, обеспечивающие насосы аварийной питательной воды (АПЭН).
- Таким образом, течь любого бака ведет к потере двух систем подпитки ПГ

- Рекомендация

- Установить задвижку с электроприводом между баками
- Оператор должен следить за уровнями в БЗК и в случае течи предпринять действия по изоляции

- Влияние

- Суммарная ЧПАЗ уменьшается до  $7.90E-05$  (2.02%). ЧПАЗ для течей из 1 во 2 контур снижается до  $6.62E-06$  (на 7.6%).

- 
- Проблема – засорение бака-приямка
    - При возникновении течей 1 контура существует возможность засорения всех баков-приямков ГО обломками теплоизоляции
  
  - Рекомендация
    - Оператор должен управлять каналами САОЗ с целью увеличения общего времени работы системы САОЗ
    - Модернизировать конструкцию фильтров бака-приямка.
  
  - Влияние
    - Суммарная ЧПАЗ уменьшается до  $7.87E-05$  (2.35%). ЧПАЗ для больших течей снижается до  $8.98E-08$  (на 95%).
-

- 
- Проблема - Feed and bleed
    - Потеря функции отвода тепла по 2 контуру (отказ систем питательной воды)
    - В соответствии с т/г расчетами, возможна реализация режима feed&bleed с помощью существующих на энергоблоке средств:
      - подача воды выполняется насосами САОЗ ВД сброс может быть выполнен через байпас ПК КО
      - осуществление подпитки даже от системы продувки-подпитки 1 контура позволяет избежать повреждения зоны
  - Рекомендация
    - Разработать и включить в ИЛА процедуры для режима feed&bleed.
    - Установить ПК КО, работающие на потоке воды
  - Влияние
    - Суммарная ЧПАЗ уменьшается до  $7.83E-05$  (2.885%). ЧПАЗ для разрывов трубопроводов питательной воды за пределами ГО снижается до  $4.01E-06$  (на 14%).
-

- 
- Проблема - Восстановление электроснабжения
    - Срабатывание защит САОЗ ведет к “искусственному обесточению” (полная зависимость энергоблока от аварийного электроснабжения).
  
  - Рекомендация
    - “Искусственное обесточение” - негативный аспект проекта. Оператор должен восстановить электроснабжение от сети с целью уменьшения времени зависимости энергоблока от ДГ.
  
  - Влияние
    - Суммарная ЧПАЗ уменьшается до  $7.79E-05$  (3.36%). ЧПАЗ для потери техводы ответственных потребителей снижается до  $1.66E-10$  (на 68.4%).
-

---

- Проблема

- Работа САОЗ НД по линии ремонтного расхолаживания используется в период ППР для отвода остаточных тепловыделений. На линии ремонтного расхолаживания в пределах ГО установлены нормально-закрытые задвижки. При работе блока на мощности электросхемы данных задвижек разобраны.

- Рекомендация

- Модернизировать систему САОЗ НД с целью исключения действий оперативного персонала внутри ГО по подключению линии ремонтного расхолаживания. Такие действия могут потребоваться в случае отказа системы планового расхолаживания по 2 контуру.

- Влияние

- Суммарная ЧПАЗ уменьшается до  $7.66E-05$  (5.2%). ЧПАЗ для средних течей 1 контура снижается до  $1.35E-06$  (на 136.3%).

---

- Проблема

- Действия персонала являются значительным вкладчиком в ЧПАЗ. Много важных действий персонала не описаны в процедурах и поэтому смоделированы как восстановительные действия. Кроме того, в настоящее время ИЛА являются событийно-ориентированными и не четко и не полностью описывают все действия, возможные для управления аварией.

- Рекомендация

- Обновить и пересмотреть ИЛА, принимая во внимание действия персонала, смоделированные в ВАБ.

- Влияние

- Используя предположение, что вероятность ошибки персонала для непроцедурных действий равна 1, ЧПАЗ возрастает до  $1.16 \times 10^{-3}$ . Это означает, что усовершенствование подготовки персонала и ИЛА будет гарантировать, что ЧПАЗ останется на рассчитанном уровне, или будет меньше.

---

- Проблема

- Потенциальная уязвимость систем питательной воды пространственным взаимодействиям вследствие пожаров, затоплений, экстремальных техногенного и природных воздействий. .

- Рекомендация

- Установить дополнительную систему питательной воды с автономным электроснабжением и физическим разделением с существующими системами питательной воды.

- Влияние

- Суммарная ЧПАЗ уменьшается до  $6.47E-05$  (7.12%). ЧПАЗ для переходных процессов уменьшается до  $2.02E-05$  (8.42 %), специальных инициаторов –  $2.05E-05$  (11.05 %).