Вероятностный Анализ Безопасности 1-го Уровня (ВАБ) Энергоблоков №1 ЮУ АЭС и №1 РАЭС

Probabilistic Safety Assessment Level 1 of SU NPP Unit 1 and RNPP Unit 1

Презентационные материалы для

Ежегодного Информационного Форума по Анализу Безопасности АЭС с Реакторами Типа ВВЭР и РБМК

Обнинск, 16-20 октября 2000 *г.*

Разработано Южно-Украинской и Ровенской АЭС совместно с ТОО “Энергориск”

Вероятностный анализ безопасности 1 уровня (ЮУАЭС-1, РАЭС-1)

Объемы исследования

- ВАБ 1 уровня, интерфейс между 1 и 2 уровнями
- Источники радиоактивных выбросов
  - активная зона
- Эксплуатационные состояния ЯППУ
  - номинальная мощность
- Исходные события аварий (ИСА)
  - внутренние ИСА
- Период наблюдения

  для ЮУ АЭС: 1992 - 1997,

  для РАЭС: 1990 -1997

The scope of PRA:

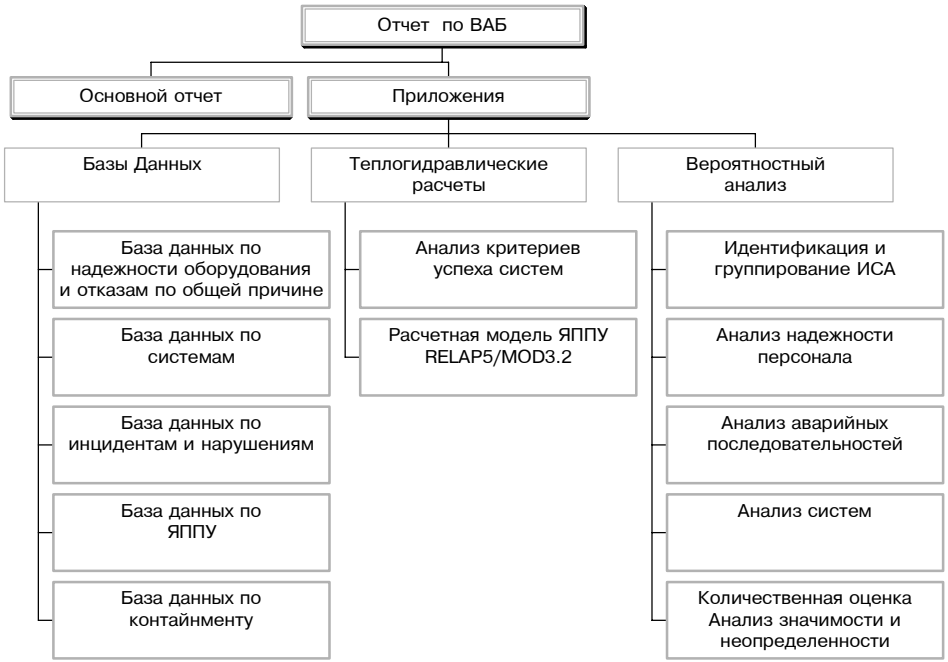
- PRA Level 1, Level 1 to 2 interface
- Radioactivity source considered
  - reactor core
- Plant operational mode analyzed
  - full power
- Initiating events treated
  - internal events
- Observation time

  for SU NPP is 1992 - 1997,

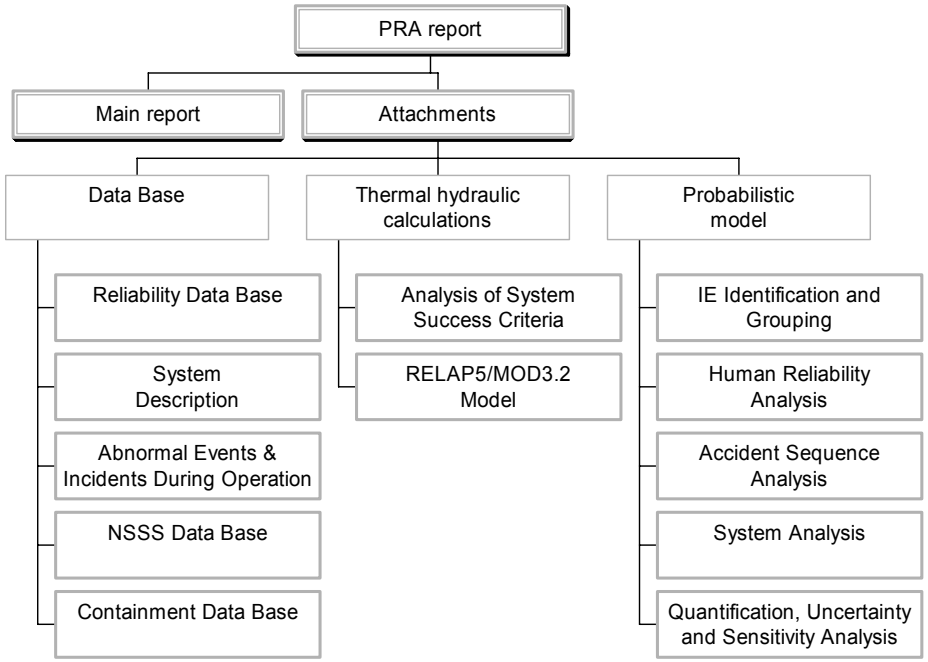
  for RNPP is 1990 - 1997

Вероятностный анализ безопасности 1 уровня (ЮУАЭС-1, РАЭС-1)

Структура документации (отчета) по ВАБ



PRA report structure



Вероятностный анализ безопасности 1 уровня (ЮУАЭС-1, РАЭС-1)

- Основные руководящие документы
  - Процедурные руководства по проекту, разработанные в соответствии с:
    - Требованиями к содержанию отчета по безопасности действующих в Украине энергоблоков АЭС с реакторами типа ВВЭР
    - руководствами МАГАТЭ
    - документами Комиссии по ядерному регулированию США
- Основные расчетные программы
  - REVEAL 2.0, IRRAS 5.68 - вероятностное моделирование / расчеты
  - RELAP 5/MOD3.2 - анализ процессов в ЯППУ
  - CONTAIN 1.12 - анализ процессов в ГО (ограниченное применение)

- Regulations
  - Procedural guidelines for the Project developed in accordance with:
    - Requirements to the substance of the report on the safety of VVER NPPs operating in Ukraine
    - IAEA guidelines
    - US NRC documents
- Calculation codes
  - REVEAL 2.0, IRRAS 5.68 - probabilistic modeling / calculations
  - RELAP 5/MOD3.2 - NSSS processes analyses
  - CONTAIN 1.12 - containment processes (limited implementation)

Проект оценки безопасности энергоблока № 1 ЮУ АЭС (SUSA): Вероятностный Анализ Безопасности 1-го уровня (ВАБ)

SUNPP Unit 1 In-depth Safety Assessment Project (SUSA):

Probabilistic Safety Assessment Level 1

Вероятностный анализ безопасности ЮУАЭС-1 (SUSA Project PRA)

- **Краткое описание вероятностной модели ЮУ АЭС**
  - Расчетный код - IRRAS 5.68
  - Общее количество групп ИСА - 16
  - Общее количество АП с ПЗ - 219
  - Общее количество систем - 47
  - Общее количество ДО - 371
  - Общее количество элементов модели - 2420
  - Общее количество базовых событий действий персонала - 555

- **Brief Description of SUNPP Probabilistic Model**
  - Calculation code - IRRAS 5.68
  - Event trees total number - 16
  - Core damage ASs total number - 219
  - Systems total number - 47
  - FT total number - 371
  - Model component total number - 2420
  - Total number of human action basic events - 555

Вероятностный анализ безопасности ЮУАЭС-1 (SUSA Project PRA)

Специфические методы моделирования

- Данные по надежности оборудования
  - Байесовская оценка
- Отказы по общей причине
  - MGL и B-факторы
- Малые деревья событий - большие деревья отказов
- Анализ надежности персонала
  - комбинация методов TRC и THERP

Specific methods used

- Componemt reliability data
  - Bayesian updating
- Common cause failures
  - MGL and B-factors
- Small event trees - large fault trees
- Human reliability analysis
  - combination of TRC (time reliability correlation) and THERP (technique for human error rate prediction) methods

Вероятностный анализ безопасности ЮУАЭС-1 (SUSA Project PRA)

Результаты

- Суммарная ЧПАЗ **1,5E-4.** Это близко к требованиям Украинского регулирующего органа и рекомендуемому МАГАТЭ значению целевого показателя – 1E-4 для существующих АЭС
- Консервативные подходы, повлиявшие на результаты:
  - для учета отказов по общей причине использовался бета-фактор 0,1
  - время действия большинства систем предполагалось 24 ч (участие некоторых систем в преодолении/смягчении аварии в действительности является кратковременным – от минут до нескольких часов)
  - консервативная методика оценки действий персонала

Results

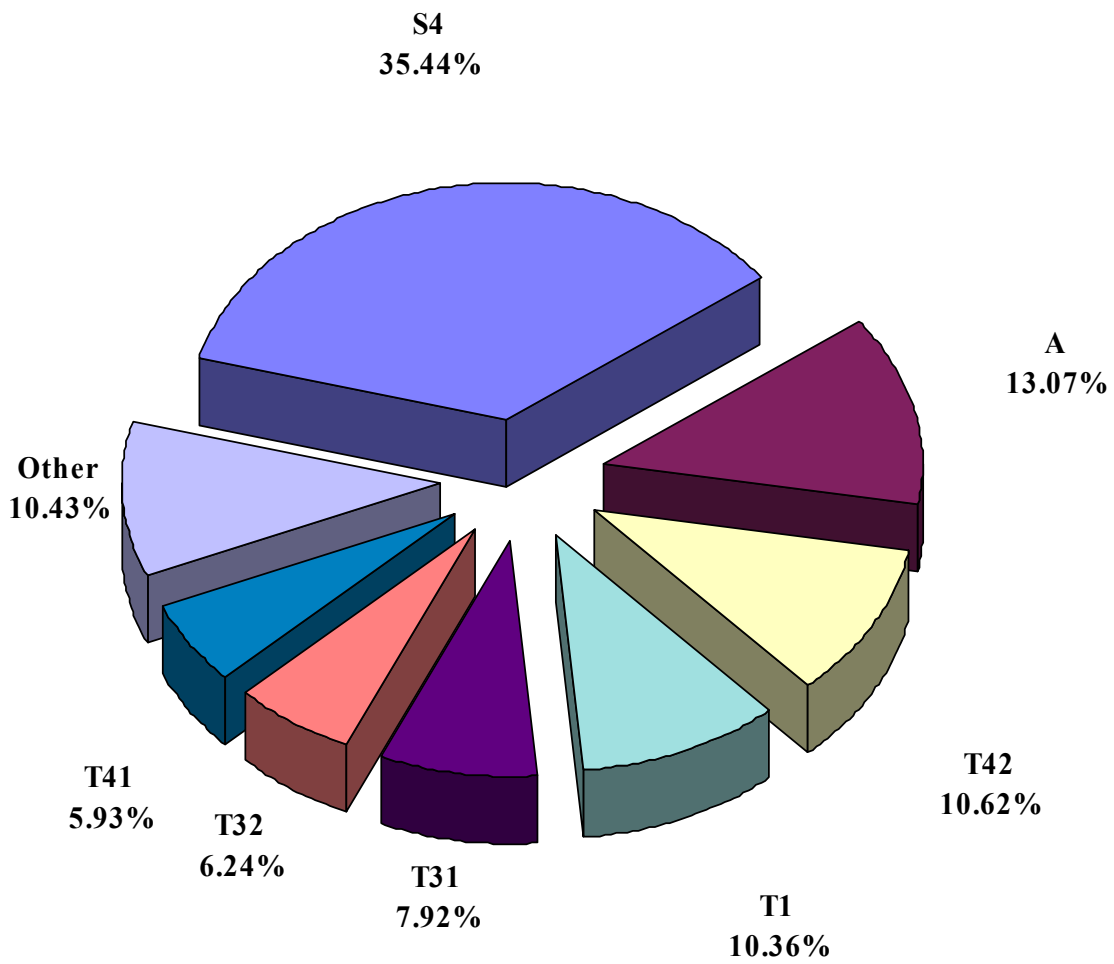
- Total CDF is **1.5E-4.** This value is close to the Ukrainian requirements and to IAEA recommended value – 1E-4 for existing NPP
- The quantification results were considerably influenced by the conservative approaches used in this analysis as follows:
  - use of beta-factor of 0.1 to common cause failures
  - operation time duration for most of the systems was assumed to be 24 hours (participation of some systems in accident elimination / mitigation in fact is short-term one – between minutes and several hours)
  - conservative methodology of human action assessment

Вероятностный анализ безопасности ЮУАЭС-1 (SUSA Project PRA)

- Частота повреждения активной зоны
- Core damage frequency

IE	Conditional CDF	IE Frequency	Core Damage Frequency	Percent of Total CDF
A - Large LOCAs (70 mm < D_N)	$6.6x10^{-2}$	$3.0x10^{-4}$	$2.0x10^{-5}$	13.05%
S1 - Medium LOCAs (50 mm < $D_N \leq$ 70 mm)	$4.2x10^{-3}$	$1.3x10^{-4}$	$5.2x10^{-7}$	0.35%
S2 - Small, Noncompensated LOCA (30 mm< $D_N \leq$ 50 mm)	$3.7x10^{-3}$	$1.1x10^{-3}$	$3.9x10^{-6}$	2.59%
S3 - Small Compensated LOCAs (14 mm < $D_N \leq$ 30 mm)	$1.3x10^{-3}$	$3.0x10^{-3}$	$3.8x10^{-6}$	2.54%
S4 - Small, Small Compensated LOCAs ($D_N \leq$ 14 mm)	$2.2x10^{-4}$	$2.4x10^{-1}$	$5.4x10^{-5}$	35.43%
		Total for LOCAs:	**$8.2x10^{-5}$**	**53.96%**
T1 - Loss of Power Supply from all 6 kV House Loads Bus Bars	$1.6x10^{-3}$	$1.0x10^{-2}$	$1.6x10^{-5}$	10.36%
T2 - Complete Loss of Main Feed Water (Main Feedwater Discharge Line Rupture)	$8.4x10^{-4}$	$5.0x10^{-3}$	$4.2x10^{-6}$	2.79%
T31 - Transients Leading to Reactor Scram Actuation (AZ)	$9.0x10^{-6}$	1.3	$1.2x10^{-5}$	7.91%
T32 - Loss of the Turbine Condenser Vacuum	$7.8x10^{-5}$	$1.2x10^{-1}$	$9.5x10^{-6}$	6.25%
		Total for transients:	**$4.1x10^{-5}$**	**27.31%**
T41 - Small LOCA from Primary to Secondary Side	$2.0x10^{-4}$	$4.6x10^{-2}$	$9.0x10^{-6}$	5.93%
T42 - Medium LOCA from Primary to Secondary Side	$8.0x10^{-3}$	$2.0x10^{-3}$	$1.6x10^{-5}$	10.61%
T5/T7 - SG Steam Line/Main Feedwater Line Rupture inside the Containment	$1.7x10^{-4}$	$7.1x10^{-3}$	$1.2x10^{-6}$	0.81%
T61 - Unisolatable Steam Line Rupture outside the Containment between SG and FASIV	$1.3x10^{-5}$	$5.8x10^{-3}$	$7.1x10^{-8}$	0.05%
T62 - Isolatable Steam Line Rupture outside the Containment, including MSH Rupture	$4.6x10^{-3}$	$4.4x10^{-4}$	$2.0x10^{-6}$	1.33%
V - Interfacing LOCA due to Leakage through the Primary Make-Up/Let Down Lines	$1.4x10^{-2}$	$3.6x10^{-7}$	$5.1x10^{-9}$	0.00%
		Total for special initiators:	**$2.8x10^{-5}$**	**18.73%**
		Total:	**$1.5x10^{-4}$**	**100%**

Доминантные вкладчики в ЧПАЗ (по ИСА)
Dominant accident contributors to CDF by IE



S4	Small small LOCAs (Dn 14 mm) compensated by CVCS system
A	Large LOCAs
T42	Medium LOCA from primary to secondary side
T1	Loss of power supply to all 6 kV house loads bus bars
T31	Transients leading to reactor scram actuation
T32	Loss of the turbine condenser vacuum
T41	Small LOCA from primary to secondary side
T2	Complete loss of main feed water (main feed water discharge line ruptures)
S2	Small noncompensated LOCA (Dn<50 mm)
S3	Small LOCAs compensated by CVCS and ECCS systems
T62	Isolatable steam line rupture outside the containment, including MSH rupture
T5&T7	SG steam line/main feed water line rupture inside the containment
S1	Medium LOCAs
T61	Unisolatable steam line rupture outside the containment, between SG and FASIV
V	Interfacing LOCA due to leakage through the primary make-up/let down lines

Вероятностный анализ безопасности ЮУАЭС-1 (SUSA Project PRA)

- Доминантные вкладчики в ЧПАЗ
  - По действиям персонала
    - Отказ действий персонала по организации расхолаживания
    - Отказ действий персонала начать борирование
    - Отказ действий персонала по изоляции аварийного ПГ
  - Факторы, влияющие на результаты:
    - аварийные процедуры являются событийно-ориентированными. Разработка и внедрение симптомно-ориентированных процедур позволило бы повысить безопасность АЭС
    - очень высокий уровень консерватизма методик оценки надежности действий персонала.
    - *использование обобщенных данных*. Внедрение полномасштабного симулятора и проведение на нем тренировок повысит надежность персонала. Использование станционных данных по надежности *персонала позволит получить* более реалистичные оценки влияния человеческого фактора на ЧПАЗ.

- The CDF is dominated by
  - In part of operator actions:
    - Operator failure to initiate cooldown
    - Operator failure to initiate boration
    - Operator failure to isolate the affected SG
  - These results are determined by the following factors:
    - emergency procedures in force presently are event-oriented ones. Development and implementing of symptom-oriented procedures would allow to improve NPP safety sufficiently.
    - extremely high level of conservatism assumed in the used HRA methods.
    - using of generic data. Implementing of the full scope simulator and its use for operator training will increase human reliability. Use of the plant - specific data on HRA will enable to obtain more realistic assessments of human factor in the PRA model.

Вероятностный анализ безопасности ЮУАЭС-1 (SUSA Project PRA)

- Доминантные вкладчики в ЧПАЗ
  - По оборудованию
    - система САОЗ НД и ее обеспечивающие системы
  - Это обусловлено следующими Факторами:
    - применение теплоизоляции, которая при авариях с течами 1 контура может размельчаться и засорять сетки приемного устройства приямка
    - невозможность использования системы САОЗ ВД при низких давлениях (менее 40 бар) и подачи воды в первый контур от приямка ГО

- The CDF is dominated by
  - In part of hardware failures
    - LPIS and its support systems
  - It is stipulated by the following design deficiencies:
    - Using of heat insulation that can be dispersed under primary LOCA conditions and clogging sump filters
    - Impossibility to use HPIS under low pressures (below 40 bar) and inject water into the primary circuit from containment sump

Выводы и рекомендации

- Мероприятия, значительно повышающие безопасность блока:
  - модернизировать конструкцию приемного устройства приямка
  - модернизировать систему САОЗ ВД (обеспечив возможность работы от приямка и при давлении менее 40 бар), что позволит *использовать* эту *систему* для подпитки и отвода остаточных тепловыделений при низких давлениях, а *также организации режима feed* and bleed при высоких параметрах первого контура;
  - *разработка* и внедрение симтомно-ориентированных аврийных инструкций
  - предусмотреть и внести в ИЛА мероприятия по обеспечению долговременного отвода тепла остаточных тепловыделений при низких параметрах РУ вторым контуром (организация подпитки баков БАЗОВ)

Conclusions

- It is possible to improve the unit safety sufficiently by the following measures undertaking:
  - To change heat insulation type and to upgrade structure of sump filters
  - To upgrade HPIS and envisage using of this system for makeup and removal of residual heat under low pressures condition as well as envisage a possibility to use feed and bleed mode under the high primary parameters
  - To develop and implement symptom-oriented EOP
  - To envisage and introduce into EOP the measures to provide for long-term removal of residual heat by the secondary side under low parameters of RF (arrangement of BAZOV tanks makeup).

Вероятностный анализ безопасности ЮУАЭС-1 (SUSA Project PRA)

- Выводы и рекомендации (продолжение)
  - В процессе анализа выявлены следующие недостатки проекта
    - Связь систем безопасности с обеспечивающими системами нормальной эксплуатации, которые незапитаны от надежного электроснабжения (пример, система сырой воды, используемая для охлаждения системы кондиционирования, которая охлаждает ЩПТ систем безопасности). В настоящее время это уже устранено.
    - Зависимость всех 3-х каналов СБ от одного канала обеспечивающих систем.Например
      - электроснабжение цепей управления задвижек на напоре всех трех каналов АПЭН осуществляется от одной панели EN02;
      - регуляторы на линии планового расхолаживания САОЗ НД имеют запитку от нормального электроснабжения и при обесточении дистанционное управление будет потеряно

  Реализация мероприятий по устранению указанных недостатков может повысить безопасность без существенных финансовых и материальных затрат

- Conclusions (cont.)
  - The following design features are disclosed in this analysis:
    - Dependencies between safety systems and normal operation support systems, which are not power supplied from EPS source (for example, non-treated water system used for cooling of conditioning system that, in turn, cools safety systems DC bus inverters). Actually, it is corrected.
    - For some safety systems the principle of redundancy is violated, i.e., front-line systems have dependencies resulting in their failure to operate from the normal power supply system. For example,
      - the control of gate valves at discharge of the all three trains of EFW is lost under short circuit of EN02 busbar;
      - during LOSP and operation of LPIS at planned cooldown line it is possible to provide primary cooldown local control only manually, since cooldown controllers are energized from the busbars of normal power supply

  Implementing of these potential plant enhancements to remove the named deficiencies can improve safety without sufficient material and financial expenses

Вероятностный анализ безопасности ЮУАЭС-1 (SUSA Project PRA)

- По предложению Украинского регулирующего органа, в апреле 2000 г. состоялась миссия МАГАТЭ по проведению экспертизы ВАБ (IPSART)
- Следующие области ВАБ были рассмотрены:
  - Цели, задачи и организация ВАБ, методологические основы
  - Описание проекта и эксплуатации энергоблока
  - Документирование и процедуры обеспечения качества
  - Анализы данных
  - Определение ИСА
  - Термогидравлические расчеты
  - Системный анализ
  - Анализ аварийных последовательностей
  - Анализ надежности персонала
  - Зависимые отказы и отказы по общей причине
  - Интеграция вероятностной модели и количественные расчеты
  - Интерпретация результатов, анализы значимости и неопределенности

- On request of the Ukrainian Regulatory Body in April 2000 IAEA conducted IPSART mission to peer review the results of Level 1 PRA for SUNPP Unit 1
- The following specific fields of the Level 1 PRA were reviewed:
  - The scope and objectives of the Level 1 PRA, PRA procedures and organisation
  - WWER 1000 plants specific design and operational features
  - Quality Assurance, Documentation
  - Data analysis
  - Initiating event definition
  - Thermal-hydraulic analysis
  - System analysis
  - Sequence analysis
  - Human reliability analysis
  - Dependent and Common cause failure analysis
  - Model integration and quantification
  - Results interpretation, sensitivity and uncertainty analysis

Вероятностный анализ безопасности ЮУАЭС-1 (SUSA Project PRA)

- **Ключевые позитивные апекты**
  - Обширное использование для целей ВАБ термогидравлических расчетов, специфичных для энергоблока ЮУ АЭС-1
  - Уровень программы качества, использованной для проекта ВАБ
  - Уровень использования станционных данных по надежности оборудования. Значительные усилия были потрачены на определение интенсивностей отказов, специфичных для рассматриваемого энергоблока
  - Байесовский метод комбинирования обобщенных и станционных данных соответствует стандартной методологии МАГАТЭ. Методы и подходы обеспечивают реалистичность используемых данных. Детальное документирование удобно для будущих пользователей ВАБ.

- **The key positive aspects found by the IPSART**
  - Extensive use of plant specific RELAP5/MOD 3.2 analyses to support the PRA activities.
  - Establishment and implementation of an adequate QA program.
  - Appropriate use of plant specific data. Considerable efforts were spent on identifying plant specific failure rates.
  - Bayesian techniques used for combining plant specific experience and generic data is in line with standard PRA methodology. The methods and approaches used are very comprehensive and help ensure realistic reliability data is used. Comprehensive data documentation helps future users of the PSA.

Вероятностный анализ безопасности ЮУАЭС-1 (SUSA Project PRA)

Основные рекомендации миссии IPSART

- Был сформулирован ряд рекомендаций различного уровня приоритетности:
  - Высокая - 1
  - Средняя - 10
  - Низкая - 16
- Пространственные эффекты, сопровождающие разрывы паропроводов за пределами ГО имеют значительные последствия. Анализ таких эффектов не вошел с состав Фазы I проекта ВАБ. Это будет выполнено в рамках Анализа внутренних экстремальных воздействий.
- Рекомендуется дополнительно проанализировать зависимости между действиями персонала.
- Рекомендуется моделировать неготовность оборудования вследствии обслуживания в более последовательной манере.
- Рекомендуется более систематическим путем анализировать до-аварийные действия персонала по ремонту, обслуживанию или настройке оборудования.
- Рекомендуется дополнить перечень ИСА событиями с потерей двух и трех каналов техводы ответсвенных потребителей.
- С целью эффективного использования результатов ВАБ в повышении безопасности энергоблока, данный ВАБ может быть использован в качестве базы для будущего Текущего ВАБ.

The main IPSART recommendations

- number of recommendations with different levels of priority was issued .
  - High - 1
  - Medium - 10
  - Low - 16
- Consequential Effects of Steam Lines ruptures outside containment is recognized as highly important. This analysis will be one of the goals for Phase II PRA Program (Internal Hazard Analysis).
- It is recommended to check human actions modeling to take into account dependent human actions.
- The review team recommends unavailability due to maintenance to be included in the PRA model in a more consistent manner.
- Pre-initiator human actions associated with the repair, maintenance or calibration is also recommended to be included in the study in a systematic way for all systems.
- It is recommended to extend IE list to consider Loss of 2 and Loss of all 3 service water trains as a two separate events.
- In order to continue to use PRA insights in the enhancement and understanding of plant safety, this PRA should be used as a basis for future Living PRA.

Проект оценки безопасности энергоблока № 1 Ровенской АЭС (RIVISA):
Вероятностный Анализ Безопасности 1-го уровня (ВАБ)

RNPP Unit 1 In-depth Safety Analysis Project (RIVISA):

Probabilistic Safety Assessment Level 1

Вероятностный анализ безопасности РАЭС-1 (RIVISA Project PRA)

Особенности расчетного кода REVEAL_W:

- Достаточные аналитические возможности для поддержки управления конфигурациями систем на основе риска.
- Высокая степень модуляризации:
  - облегчает работу с вероятностной моделью энергоблока
  - упрощает модификацию логики модели
- В иерархическом виде показывает взаимосвязи систем
- Возможности в явном виде демонстрировать влияние отказов оборудования на общую логику модели:
  - упрощает анализ влияния множественных отказов оборудования
- Логика успеха
  - совместима со станционной документацией, с проектной и эксплуатационной практикой
- Удобна для изучения персоналом энергоблока

The features of REVEAL_W:

- The adequate analytical capability of REVEAL_W to support risk-based configuration control in real time.
- It is highly modularized:
  - Facilitates navigating in the entire plant logic model
  - Facilitates modifying the logic
- It is transparent and displays systems interactions in a hierarchical fashion
- Able to propagate the effect of equipment losses in the entire logic:
  - Facilitates multiple equipment out-of-service analyses
- It is success-logic-oriented
  - Compatible with design and operating practices, plant documentation
- It is easy learning for operating staff

Вероятностный анализ безопасности РАЭС-1 (RIVISA Project PRA)

Концепция основной логической диаграммы энергоблока (MPLD)

- REVEAL_W использует концепцию MPLD, применяемую в качетстве основы для ВАБ в США.
- MPLD показывает физические межсистемные зависимости в компактном и логическом виде .
- Преимущество:
  - возможность отслеживать природу межсистемных зависимостей
- Разработка комплексной логической модели позволяет получить следующие выгоды:
  - ясность
  - простота
  - компактность

Master plant logic diagram (MPLD) concept

- REVEAL™ uses the MPLD concept is being applied in the US as a framework for conducting PRAs.
- MPLD depicts, in a single graph, all of the physical interrelationships between various plant systems and subsystems in a compact and logical form, displaying interrelationships down to the subsystem level (e.g. train level).
- The advantage:
  - the ability to communicate the nature of interrelationships between subsystems
- The key benefits in developing a complex logic model:
  - transparency
  - simplicity
  - compactness

Вероятностный анализ безопасности РАЭС-1 (RIVISA Project PRA)

- Краткое описание вероятностной модели РАЭС
  - Расчетный код - REVEAL_W 2.0
  - Общее количество групп ИСА - 18
  - Общее количество АП с ПЗ - 499
  - Общее количество базовых элементов модели - 2848
- Более 200 термогидравлических расчетов было выполнено для анализа аварийных последовательностей и критериев успеха

- Brief Description of RNPP Probabilistic Model

Code - REVEAL

Total number of the incorporated IEs - 18

Total number of the modeled ASs with CD - 499

Total number of the Basic Events - 2848

- More than 200 thermal-hydraulic calculations were performed to support accident sequence modeling and success criteria analysis

Вероятностный анализ безопасности РАЭС-1 (RIVISA Project PRA)

Специфические методы моделирования

- Логика успеха
- Данные по надежности оборудования
  - Байесовская оценка
- Отказы по общей причине
  - MGL и B-факторы
- Малые деревья событий - большие деревья успехов
- Анализ надежности персонала
  - комбинация методов TRC и THERP

Specific methods used

- Success Logic
- Component reliability data
  - Bayesian updating
- Common cause failures
  - MGL and B-factors
- Small event trees - large success trees
- Human reliability analysis
  - combination of TRC (time reliability correlation) and THERP (technique for human error rate prediction) methods

Вероятностный анализ безопасности РАЭС-1 (RIVISA Project PRA)

Предварительные результаты

- Суммарная ЧПАЗ **8.41E-4.**
- 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
  - Проблема искусственного обесточения
  - Недостаточное разделение по электроснабжению (все БРУ-К и один БРУ-А запитаны от одного канала надежного электроснабжения)

Preliminary Results

- Total CDF is **8.41E-4**
- The following weak points significantly affected the CDF were revealed
  - Loss of one EFW tank lead to failure of emergency and auxiliary feedwater systems
  - Confinement sump clogging with insulation
  - Causal loss of ECCS systems (for some LOCAs) due to pumping water by LPIS tank from the confinement sump to LPIS tank
  - Artificial blackout
  - Violation of the redundancy principle (all BRU-K and one BRU-K are powered from one essential power supply train)

Восстановительные действия

Были проанализированы и обоснованы возможности применения следующих восстановительных действий:

- Feed & bleed для АП с потерей функции отвода тепла по 2 контуру
- Управление давлением 1 контура посредством байпаса ПК КО
- Дублирование функции отвода остаточных тепловыделений при низких параметрах
- Перевод энергоблока в безопасное конечное состояние при низких параметрах при отрыве крышки коллектора ПГ и невозможности изоляции течи

Recovery actions

The following recovery actions were analyzed and substantiated:

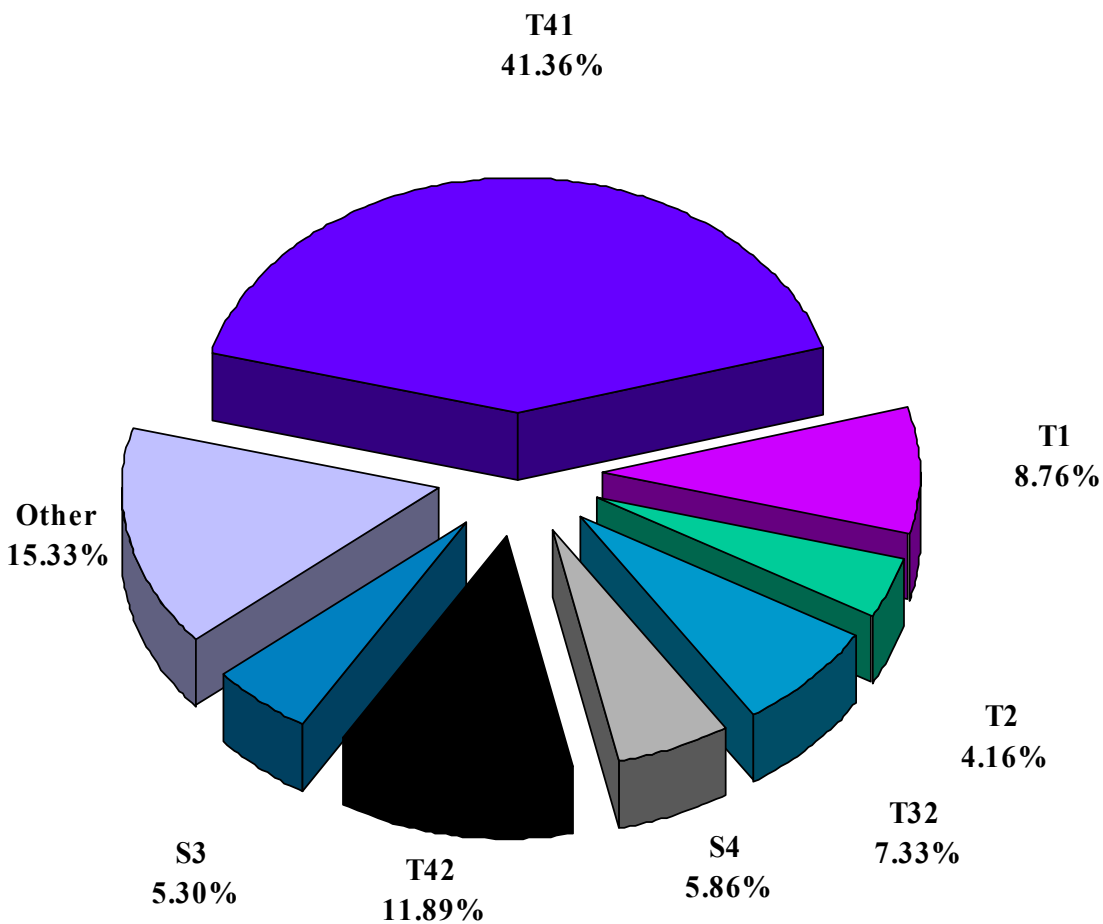
- Feed & bleed for accident sequences involving loss of secondary heat removal function
- Primary pressure control by opening of PORV bypass
- Redundancy for decay heat removal function at low parameters
- Bring the unit to safe state at low parameters in the case of SG manifold rupture with failure of the leak isolation

Вероятностный анализ безопасности РАЭС-1 (RIVISA Project PRA)

- Частота повреждения активной зоны
- Core damage frequency

	IE Frequency	Conditional Probability without RF	CDF without RF	%	Conditional Probability with RF	CDF with RF	%
A1 - Very Large LOCA	8.79E-06	1.39E-02	1.22E-07	0.0%	1.39E-02	1.22E-07	0.2%
A2 - Large LOCA	1.26E-04	1.49E-02	1.87E-06	0.2%	1.49E-02	1.87E-06	2.2%
S1 - Medium LOCA (Dn 70-110 mm)	2.82E-04	9.60E-04	2.71E-07	0.0%	9.60E-04	2.71E-07	0.3%
S2 - Medium LOCA (Dn 20-70 mm)	3.14E-03	7.57E-02	2.38E-04	23.1%	1.19E-03	3.73E-06	4.4%
S3 - Small LOCA	3.16E-03	1.41E-03	4.46E-06	0.4%	1.41E-03	4.46E-06	5.3%
S4 - Very small LOCA	2.59E-01	1.15E-03	2.98E-04	28.9%	1.90E-05	4.93E-06	5.9%
Total for LOCAs:			**5.43E-04**	**52.7%**	**3.24E-02**	**1.54E-05**	**18.3%**
T1 - Loss of power supply for all 6 kV busbars	3.04E-02	1.51E-03	4.59E-05	4.5%	2.42E-04	7.37E-06	8.8%
T2 - Feedwater line rupture outside confinement	1.30E-03	1.19E-02	1.55E-05	1.5%	2.70E-03	3.50E-06	4.2%
T3-1 - Transients leading to scram	1.40E+00	7.78E-05	1.09E-04	10.6%	1.90E-06	2.67E-06	3.2%
T3-2 - SG RV stuck open	7.07E-02	2.95E-03	1.53E-04	14.9%	8.73E-05	6.17E-06	7.3%
T3-3 - Inadvertent closing of FASIV	3.40E-02	1.61E-05	5.46E-07	0.1%	1.61E-05	5.46E-07	0.7%
Total for transients:			**3.24E-04**	**31.4%**	**3.04E-03**	**2.03E-05**	**24.1%**
T4-1 - Medium LOCA from primary to secondary	5.00E-03	1.10E-02	5.51E-05	5.4%	6.96E-03	3.48E-05	41.4%
T4-2 - Small LOCA from primary to secondary	4.45E-02	2.36E-03	1.05E-04	10.2%	2.25E-04	1.00E-05	11.9%
T5 - Main steam line rupture inside confinement	7.10E-03	2.27E-04	1.61E-06	0.2%	2.27E-04	1.61E-06	1.9%
T6 - Main steam line rupture outside confinement	8.31E-03	2.23E-04	1.85E-06	0.2%	2.23E-04	1.85E-06	2.2%
T7 - Feedwater line rupture inside containment	1.23E-03	1.52E-04	1.87E-07	0.0%	1.52E-04	1.87E-07	0.2%
T8 - Loss of Essential Service Water System	1.67E-06	3.73E-04	6.24E-10	0.00%	3.73E-04	6.24E-10	0.00%
V - Interfacing-system LOCA	3.56E-07	2.71E-03	9.65E-10	0.00%	2.71E-03	9.65E-10	0.00%
Total for special initiators:			**1.64E-04**	**15.9%**	**1.09E-02**	**4.85E-05**	**57.61%**
Total:			**1.03E-03**	**100.00%**		**8.41E-05**	**100.00%**

Доминантные вкладчики в ЧПАЗ (по ИСА)
Dominant accident contributors to CDF by IE



T4-1	Medium LOCA from primary to secondary
T1	Loss of power supply for all 6 kV busbars
T2	Feedwater line rupture outside confinement
T3-2	SG RV stuck open
S4	Very small LOCA
T4-2	Small LOCA from primary to secondary
S2	Medium LOCA (Dn 20-70 mm)
S3	Small LOCA
T3-1	Transients leading to scram
A2	Large LOCA
T6	Main steam line rupture outside confinement
T5	Main steam line rupture inside confinement
T3-3	Inadvertent closing of FASIV
S1	Medium LOCA (Dn 70-110 mm)
A1	Very Large LOCA
T7	Feedwater line rupture inside containment
T8	Loss of Essential Service Water System
V	Interfacing-system LOCA

EOI Implications from the Preliminary Insights

- Течь бака запаса конденсата
  - Баки БЗК взаимосвязаны. Течь любого бака ведет к потере запаса воды всей системы
  - Оператор должен следить за уровнями в БЗК и в случае течи предпринять действия по изоляции
- Засорение баков-приямков ГО
  - При возникновении течей 1 контура существует возможность засорения всех баков-приямков ГО обломками теплоизоляции
  - Оператор может управлять каналами САОЗ с целью увеличения общего времени работы системы САОЗ

- Feedwater tank rupture
  - The both emergency feedwater tanks are connected. A severe leak or rupture of either tank would cause both tanks to lose inventory
  - Operators could monitor the tank levels and isolate the connecting line between the tanks in case of rupture
- Sump clogging
  - During relatively large LOCAs confinement insulation will enter the sump. This could ultimately clog the ECCS pump intakes, resulting in a causal failure of all trains
  - Operators could stagger ECCS train operation, shutting down two of the three trains. This could increase the total ECCS operation time

EOI Implications from the Preliminary Insights

- Зависимый отказ насосов САОЗ
  - Для малых течей 1 контура давление стабилизируется на уровне, выше давления работы САОЗ НД на 1 контур

    В первоначальный момент аварии, САОЗ ВД и НС будут использовать воду из бака САОЗ ВД, после чего все насосы будут работать от бака-приямка ГО. Работа САОЗ НД по линии рециркуляции приводит к::
    - осушению бака-приямка ГО вследствии заполнения бака САОЗ НД; или
    - переполнению бака САОЗ НД с последующим затоплением помещений САОЗ.

    Это может вести к отказу систем безопасности вследствии кавитации или по причине затопления помещений САОЗ.
  - в ИЛА должны быть описаны действия персонала по предотвращению забора воды из приямка и заполнения бака САОЗ НД

- ECCS pump causal loss
  - During small LOCAs the primary pressure remains above the LPIS discharge head for considerable time. However, once a LOCA condition is detected the plant protection system actuates all three ECCS trains.

    Initially, the HPIS and CSS will draw water from storage tanks. When the tank inventory is depleted all three systems (HPIS, LPIS, and CSS) will have their suction diverted to the confinement sump. If the LPIS is still operating in a recirculation mode that bypasses the reactor, it will either:
    - pump the sump dry by transferring its inventory back to the storage tanks; or
    - overfill the tanks, resulting in flooding of the ECCS pump compartments.

    If the sump goes dry, the ECCS pumps will fail due to cavitation. If the tanks are overfilled the resultant flooding is likely to fail the ECCS pumps. In either situation, the result will be core damage.
  - New EOPs have to prescribe actions preventing LPIS from injecting containment sump water to ECCS tank

EOI Implications from the Preliminary Insights

- 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 различными способами:
    - подача воды выполняется насосами САОЗ ВД или системы продувки-подпитки 1 контура
    - сброс может быть выполнен любым из способов
      - байпас ПК КО; или
      - линия вывода теплоносителя
- Восстановление электроснабжения
  - Срабатывание защит САОЗ ведет к “искусственному обесточению”
  - “Искусственное обесточение” - негативный аспект проекта. Оператор должен восстановить электроснабжение от сети с целью уменьшения времени зависимости энергоблока от ДГ

- Feed and bleed
  - Loss of secondary heat removal (feed water failure)
  - RELAP calculations indicate the following feed and bleed options are available at RNPP Unit 1:
    - Either HPIS or CVCS pumps can accomplish the feed.
    - The bleed can be performed by any of the following paths:
      - PORV bypass on the pressurizer; or
      - CVCS letdown line.
- Power restoration
  - ECCS actuation automatically isolates the plant from the grid, resulting in complete dependence on emergency power
  - “artificial blackout” is negative design feature. Operators could restore a connection to the grid to minimize the time the plant is dependent on emergency power.

EOI Implications from the Preliminary Insights

- Течь из 1 во 2 контур
  - Для течей из 1 во 2 контур важным является ограничение выброса радиоактивности за пределы ГО. Действующие ИЛА недостаточно четко описывают действия персонала и промежутки времени, за которые необходимо выполнить эти действия
  - Одним из результатов моделирования аварийных последовательностей является уточнение переченя действий персонала, которые должны быть выполнены при таком ИСА
- Снижение давления 1 контура
  - Для некоторых ИСА необходимо снизить давление 1 контура:
    - байпасом ПК КО;
    - системой аварийного газоудаления
  - анализы проведенные в рамках ВАБ обеспечивает хорошую основу для понимания ответной реакции єнергоблока, информацию по временным интервалам для новых ИЛАС

- Primary to secondary LOCA
  - For primary to secondary LOCA it is important to limit primary coolant release to environment. The current EOP does not clearly describe the MCR operator actions and time windows, needed to perform the actions
  - One of the results of accident sequence modeling is list of operator actions, which could be performed as the response to equipment failure.
- Primary pressure decreasing
  - There are several IEs requires to decrease the primary pressure during accident:
    - by PORV bypass valve;
    - by Emergency gas evacuation system.
  - The PRA provides good basis for plant response understanding, information on parameters changes and time windows for new EOP