



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Отраслевой центр компетенций
«ИНЖЕНЕРНОЕ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ»

Тема 3. Лицензирование

Часть 4. Вероятностный анализ безопасности АЭС

Занятие 8

Ершов Геннадий Алексеевич

Заместитель директора-начальник управления ТЭЭ АЭС, д.т.н., профессор

23.01.2025

Цели обучения



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Конечная цель

Изучить правила подготовки, экспертизы, корректировки отчетов по ВАБ при получении лицензии на сооружение АЭС

Промежуточные цели

Изучить следующие вопросы

- Целевые вероятностные показатели безопасности
- Основные нормативно-технические документы по ВАБ
- Виды и уровни ВАБ
- Ознакомиться со структурой и составом отчета по ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий
- Ознакомиться со структурой и составом отчета по ВАБ уровня 2
- Ознакомиться со структурой и составом отчетов по ВАБ для внутренних пожаров и затоплений, внешних воздействий, сейсмических воздействий
- Ознакомиться с основными задачами, решаемыми в рамках полномасштабного ВАБ, и важными аспектами, подлежащими учету при экспертизе результатов ВАБ
- Ознакомиться с основными направлениями использования результатов ВАБ при проектировании, сооружении и эксплуатации АС и других ОИАЭ



БЕЗОПАСНОСТЬ сложной технической системы — способность не оказывать вредного (сверх допустимых пределов) влияния на обслуживающий персонал и население, внешнюю среду и сопряженные системы, как в нормальных, так и экстраординарных условиях эксплуатации

ПОКАЗАТЕЛЬ безопасности — **РИСК**:

$$R = P * Y$$

(произведение вероятности (P) аварии на ущерб (Y) от аварии)

Если зафиксировать величину вероятности, то Риск будет измеряться величиной ущерба при аварии

Если зафиксировать величину ущерба, то Риск будет измеряться величиной вероятности аварии



Определение №1. Многофакторная величина, выражающая угрозу, опасность или возможность вредных или губительных последствий, связанных с фактическими или потенциальными воздействиями

Он относится к таким величинам, как вероятность возникновения определенных вредных последствий, их степень и характер

Математически это можно выразить в общем виде как множество троек:

$$R = \{\langle S_i | P_i | X_i \rangle\},$$

где:

- S_i – идентификация или описание сценария i
- P_i – вероятность этого сценария
- X_i – мера последствий этого сценария
- Иногда считается, что концепция риска включает неопределенность вероятностей P_i сценариев



Определение №2. Математическое ожидание (среднее значение) соответствующей меры заданного (обычно нежелательного) последствия:

$$R = \sum P_i \times C_i, \text{ где:}$$

P_i – вероятность возникновения сценария или последовательности событий « i »;

C_i – мера (количественная) последствий этого сценария или последовательности событий « i »

• Примечания:

1. Типичные меры последствий C_i - частота повреждения активной зоны, расчетное количество или вероятность воздействия на здоровье и т. д.
2. Если число сценариев или последовательностей событий велико, знак суммирования заменяется на интеграл.
3. Суммирование рисков, связанных со сценариями или последовательностями событий с различающимися значениями C_i , некорректно. В таких случаях использование термина «математическое ожидание», хотя математически правильно, вводит в заблуждение, и его следует, по возможности, избегать.
4. Неопределенность значений P_i и C_i представляется как элемент самого риска или как неопределенность в оценках риска

INSAG-12 «Основные принципы безопасности для АЭС»



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Целевые (вероятностные) критерии безопасности (PSC)

Частота ПАЗ:

1E–4 на реактор в год для существующих станций

1E–5 на реактор в год для новых станций

Большой радиоактивный выброс:

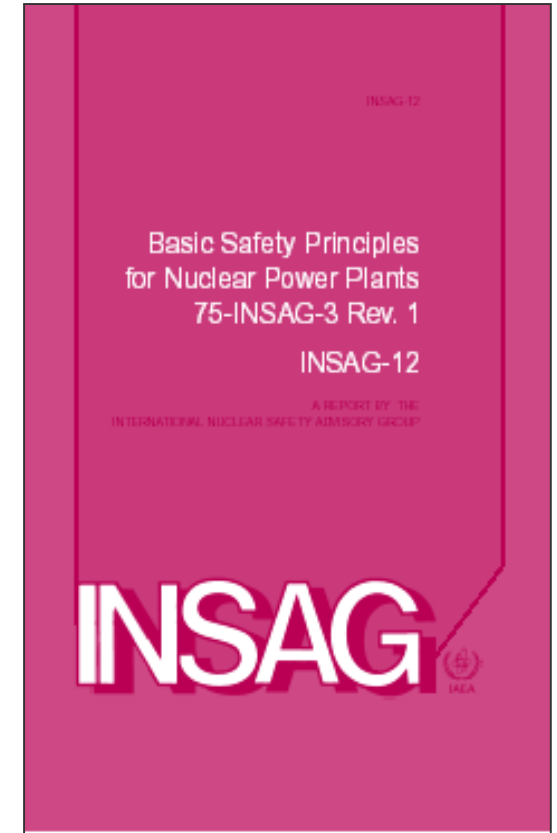
1E–5 на реактор в год для существующих станций

1E–6 на реактор в год для новых станций

Воздействие на здоровье для населения:

INSAG не дал руководств по целевым показателям для воздействий на здоровье для населения

В некоторых странах целевой показатель для риска смерти представителя населения принят равным 1E–6 на реактор в год



Основные принципы безопасности для АЭС, INSAG-12. Отчет INSAG, МАГАТЭ, Вена, 1999

Показатели безопасности АЭС в РФ (1)



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

НП-001-15, п. 1.2.17: Целевыми ориентирами безопасности АС являются:

- непревышение суммарной вероятности тяжелых аварий для каждого блока АС на интервале в один год, равной 10^{-5}
- непревышение суммарной вероятности большого аварийного выброса для каждого блока АС на интервале в один год, равной 10^{-7}
- непревышение суммарной вероятности тяжелых аварий для имеющих на АС хранилищ ядерного топлива (не входящих в состав блоков АС) на интервале в один год, равной 10^{-5}

Для проекта АЭС-2006 установлены следующие целевые вероятностные показатели безопасности:

суммарная вероятность тяжелых аварий $< 10^{-6}$ (1/год);

суммарная вероятность большого аварийного выброса $< 10^{-7}$ (1/год)

Показатели безопасности АЭС в РФ (2)



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

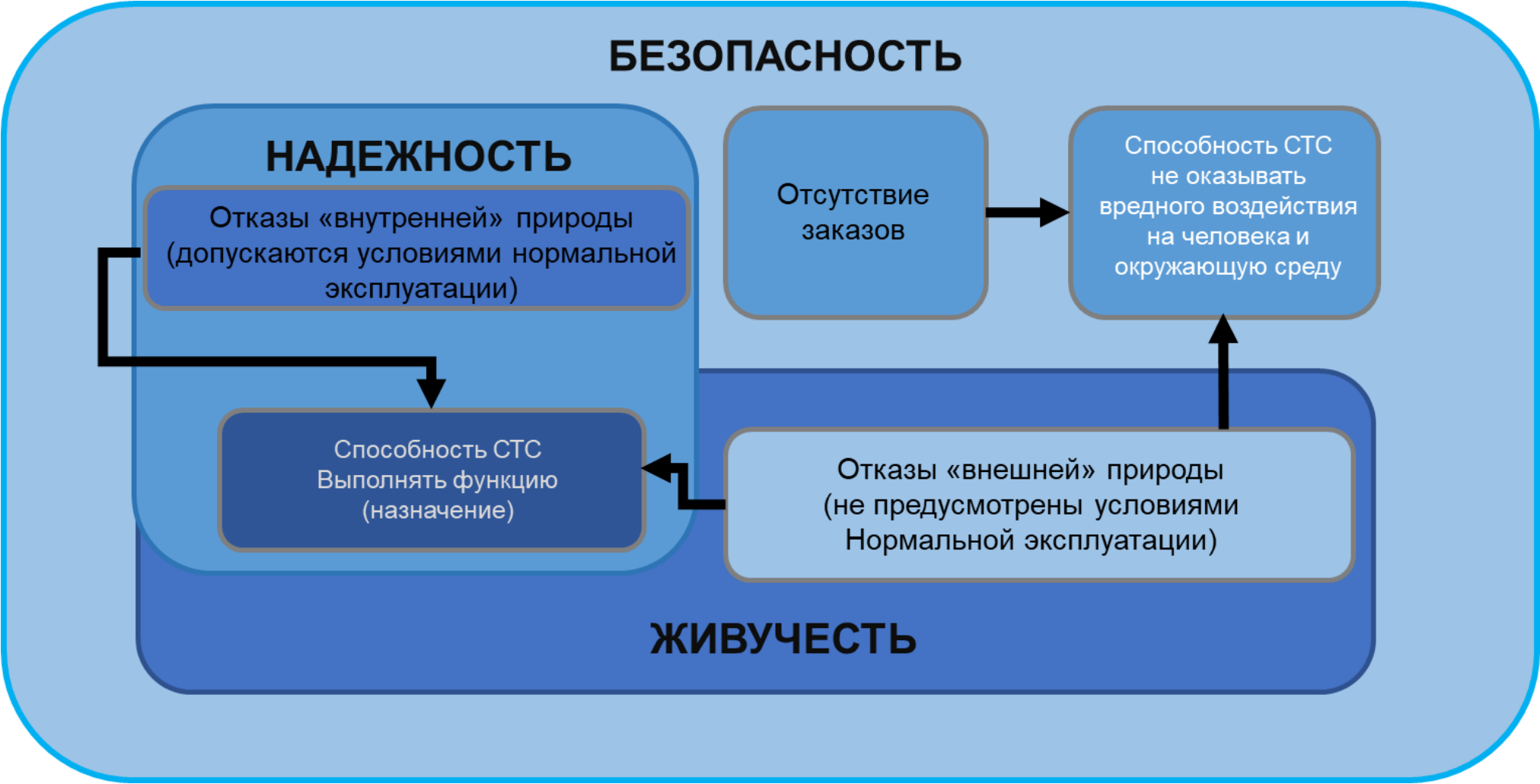
Тяжелая авария – запроектная авария с повреждением ТВЭЛОВ выше максимального проектного предела

Запроектная авария – авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами элементов систем безопасности сверх единичного отказа, реализацией ошибочных решений персонала

Большой аварийный выброс – выброс РВ в окружающую среду при аварии на АС, при котором необходимо выполнение мер защиты населения на границе зоны планирования защитных мероприятий на начальном периоде аварии, установленной в соответствии с требованиями норм и правил по размещению АС, и за ее пределами

Проектная авария – авария, для которой в проекте АС определены ИС и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие при независимом от исходного события отказе одного из элементов СБ, учитываемом в проекте АС, или при одной, независимой от ИС, ошибке персонала ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами

Соотношение свойств надежности, живучести и безопасности сложной технической системы



Основные руководящие документы РФ по ВАБ АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

НП-095-15. Основные требования к вероятностному анализу безопасности блока атомной станции

РБ-024-19. Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станции для внутренних исходных событий

РБ-044-18. Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 2 для блока атомной станции

РБ-076-20. Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станции для инициирующих событий, обусловленных внутриплощадочными пожарами и затоплениями

РБ-021-21. Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станции для исходных событий, обусловленных внешними воздействиями

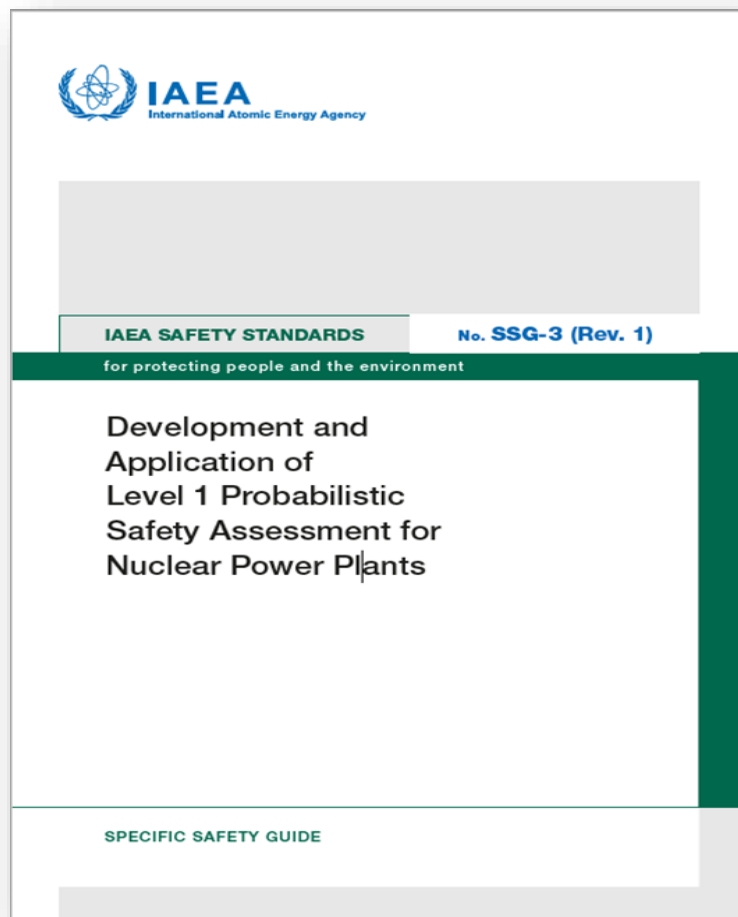
РБ-123-17. Основные рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для блока атомной станции при исходных событиях, обусловленных сейсмическими воздействиями

РБ-100-15. Рекомендации по порядку выполнения анализа надежности систем и элементов атомных станций, важных для безопасности, и их функций

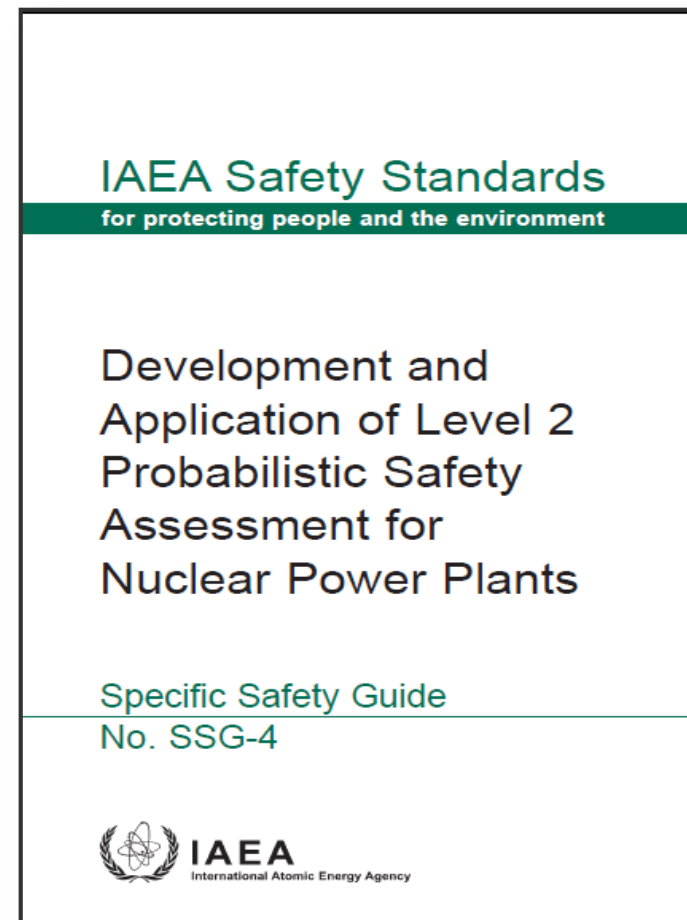
Руководства МАГАТЭ по ВАБ



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



Издание 2024 г.



Издание 2010 г.



НП-001-15

Вероятностный анализ безопасности – качественный и количественный анализ безопасности АС, выполняемый для определения вероятности реализации путей протекания и конечных состояний аварий, в том числе вероятности тяжелых аварий и большого аварийного выброса

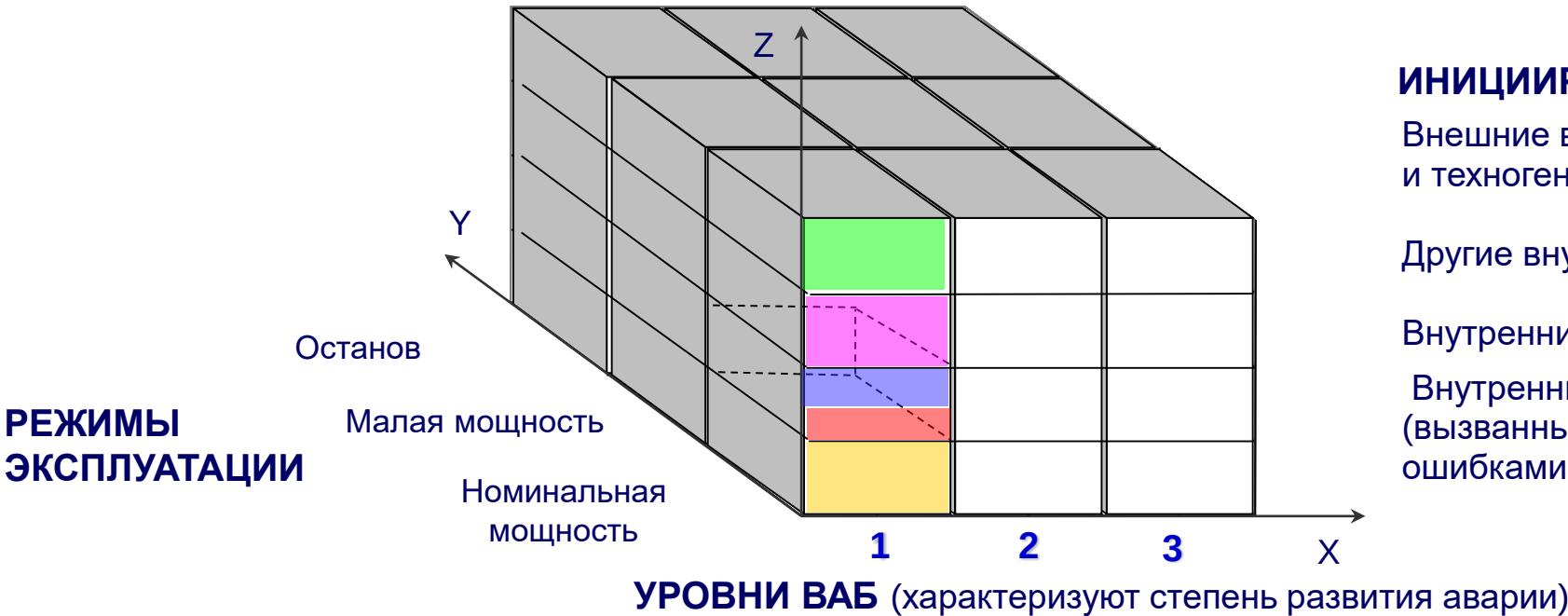
ВАБ основан на совместном использовании вероятностного и детерминированного подходов. С помощью детерминированного подхода оцениваются критерии успеха систем безопасности (требуется для построения деревьев отказов), тяжесть конечных состояний аварийных последовательностей (величина ущерба), параметры внешних воздействий

Область применения ВАБ



РИСК = ВЕРОЯТНОСТЬ x ПОСЛЕДСТВИЯ (УЩЕРБ)

Для АЭС должен быть оценен риск от **всех источников радиоактивности (ИР)** на площадке, однако особое внимание уделяется **активной зоне**, как основному источнику радиоактивности



Уровень 1

Вероятность повреждения активной зоны и других ИР

Уровень 2

Вероятность и категории выбросов радиоактивных веществ

Уровень 3

Индивидуальный риск смерти, ранние и поздние воздействия на здоровье, социальные последствия

Виды ВАБ



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

- **ВАБ уровня 1** для внутренних ИС при работе энергоблока на мощности
- **ВАБ-1** для внутренних ИС при работе энергоблока на пониженной мощности и при останове
- **ВАБ-1 для ИС**, обусловленных внутриплощадочными пожарами и затоплениями
- **ВАБ-1 при ИС**, обусловленных внешними воздействиями природного и техногенного происхождения
- **ВАБ-1 при ИС**, обусловленных сейсмическими воздействиями
- **ВАБ уровня 2**
- **ВАБ уровня 3**

Сопряженные анализы

- Анализ надежности систем и элементов атомных станций, важных для безопасности, и их функций
- Анализ надежности (готовности) систем и элементов атомных станций, предназначенных для обеспечения нормальной эксплуатации
- Анализ готовности энергоблока

Содержание ВАБ АЭС уровня 1, 2, 3



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

ВАБ-1: разработка вероятностных моделей для определения состояний с повреждением источников, содержащих ядерное топливо и радиоактивные вещества (РВ). По этим моделям производится предварительная оценка количества выделяющихся при авариях РВ, определяются причины таких событий, рассчитываются вероятности или частоты проявления аварий

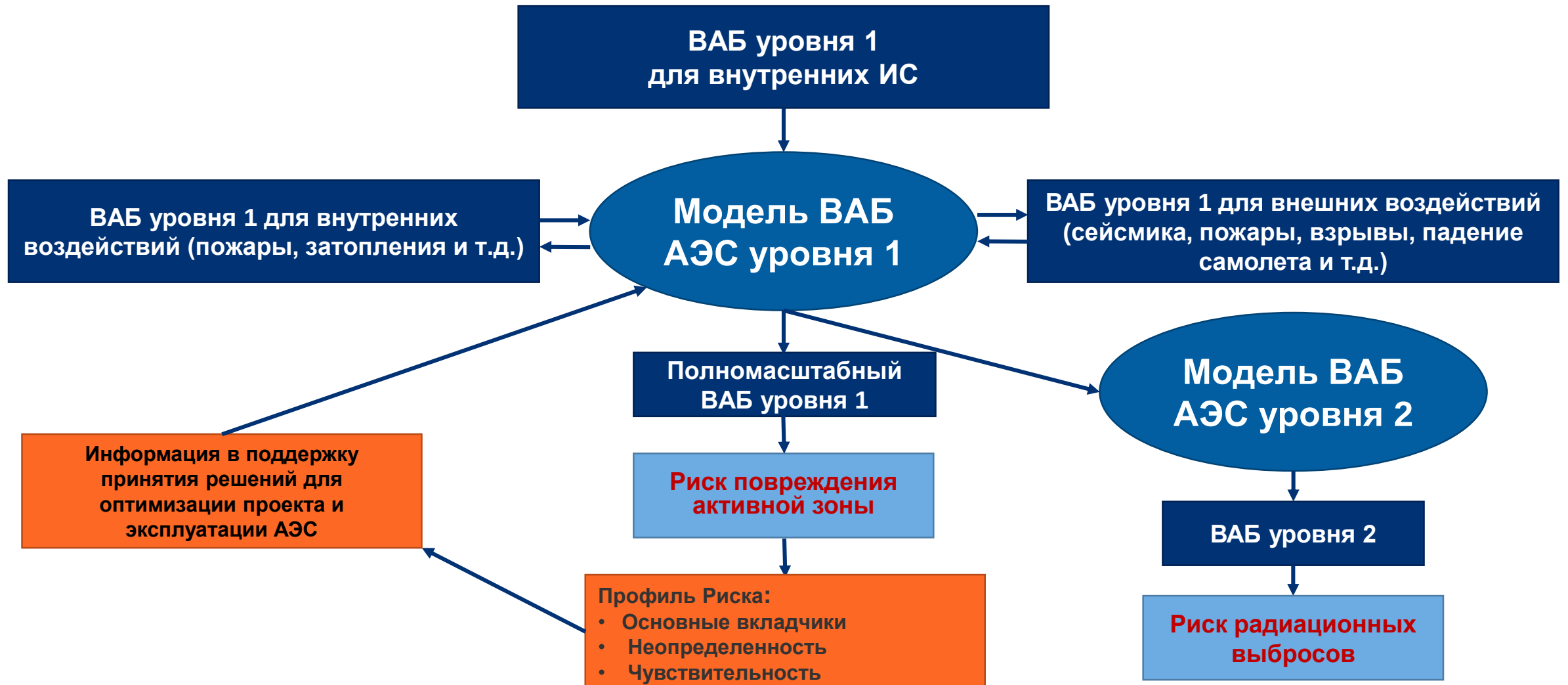
ВАБ-2: разработка вероятностной модели блока АС для определения финальных состояний с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду и оценка вероятности их реализации, определение состава и количества выбрасываемых в окружающую среду РВ

ВАБ-3: анализ распространения выбрасываемых за пределы герметичной оболочки РВ, оценка создаваемых при этом доз облучения, расчет комплексных показателей безопасности, включая оценку риска от АЭС

Полномасштабный ВАБ



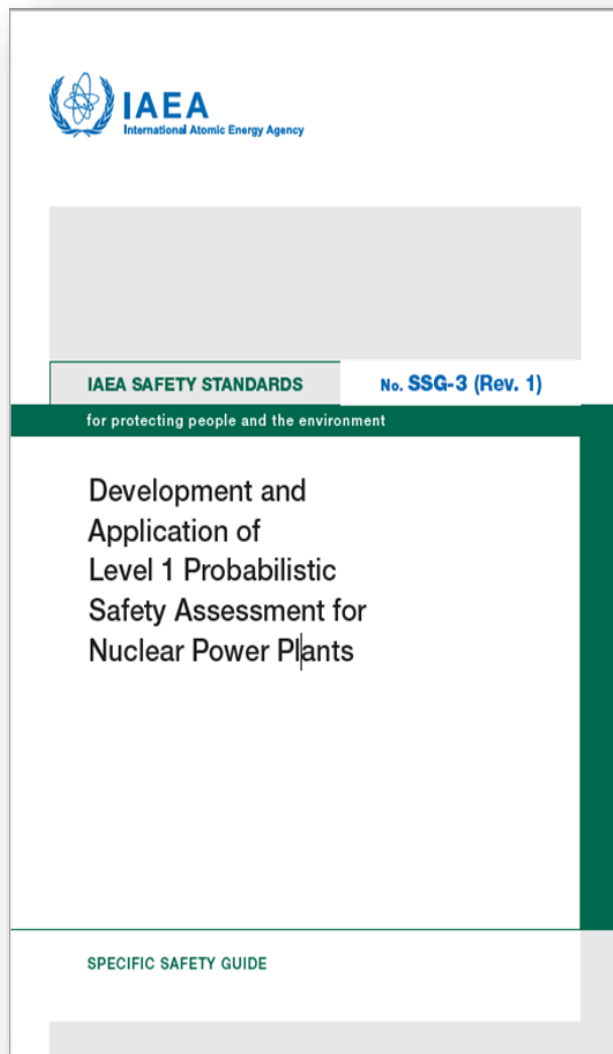
АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



Задачи ВАБ 1-го уровня



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



Структура и состав отчета по ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

1. Цели и объем ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий
2. Краткое описание блока АС
3. Описание методик, руководств и компьютерных программ
4. Отбор и группирование эксплуатационных состояний блока атомной станции
5. Отбор исходных событий
6. Группирование исходных событий
7. Моделирование аварийных последовательностей
8. Анализ надежности систем
9. Определение показателей надежности элементов систем и вероятностей (частот) ИС
10. Анализ надежности персонала
11. Разработка вероятностной модели блока АС
12. Определение вероятности тяжелых аварий, анализ и представление результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС

ВАН-1 для внутренних ИС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



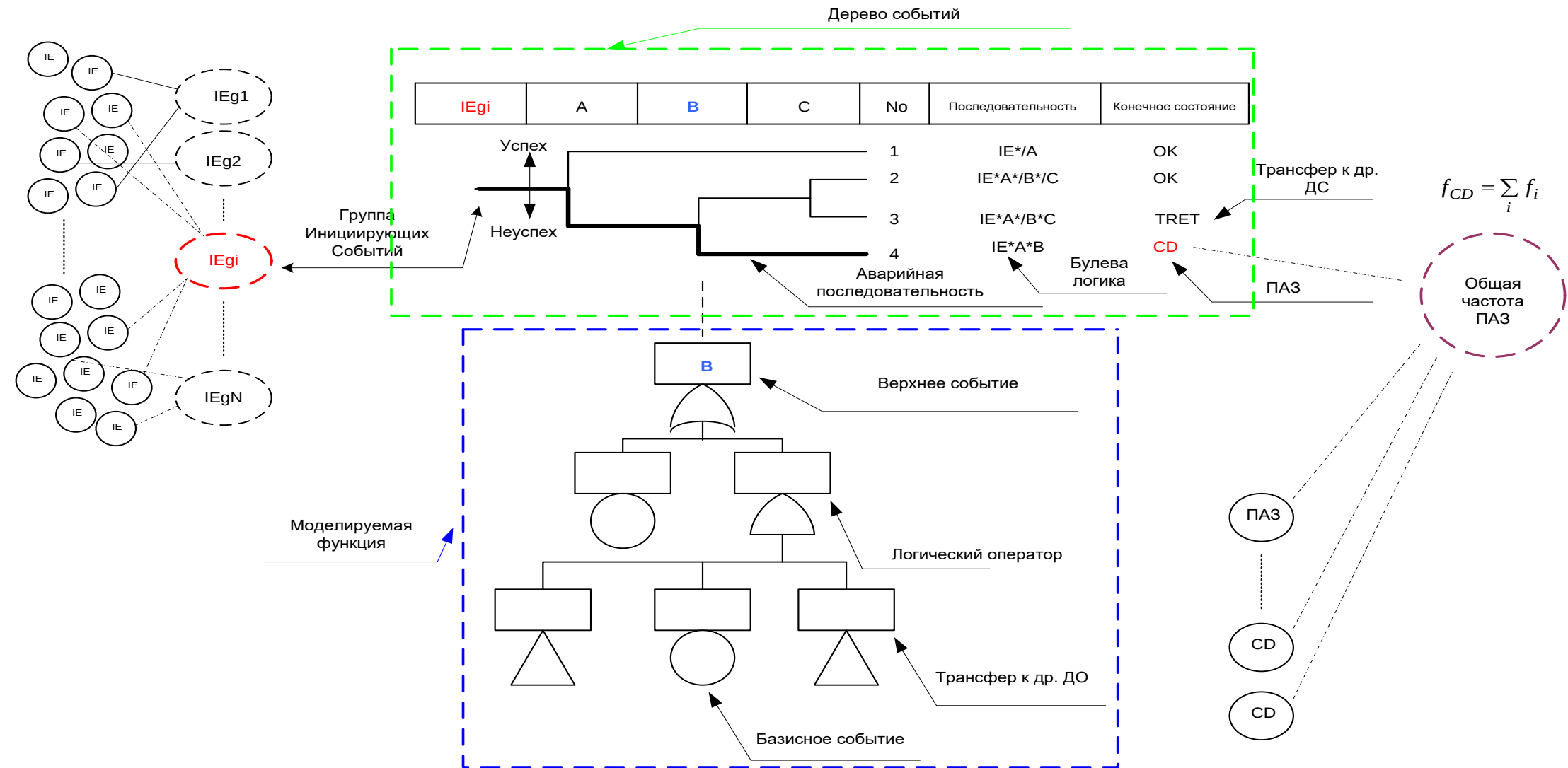
Этапы моделирования и расчета ВПБ АС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



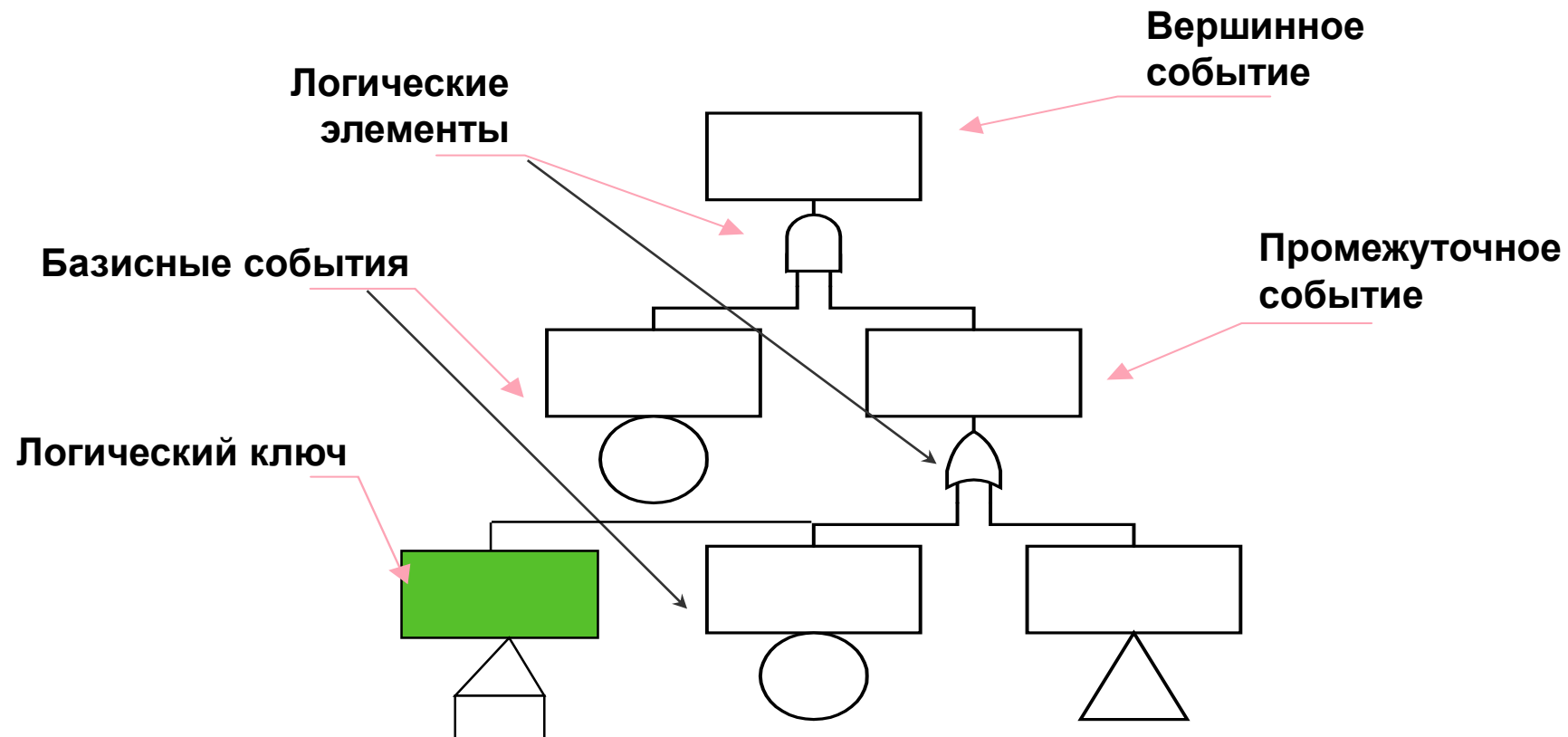
Модель ВАБ-1 для отдельного ЭС



Моделирование аварийных последовательностей (пример небольшого дерева событий)

Pipe rupture out of OPS	Identification of rupture by AM	Identification of rupture by staff	Localization of rupture by AM	Pumps shutdown by AM	Localization of rupture by staff	Pumps shutdown by staff			
PR	PA	PS	LPA	PSA	LRS	PSS			
							1		
							2		
							3		
							4		
							5		
							6		
							7		
							8		
							9		

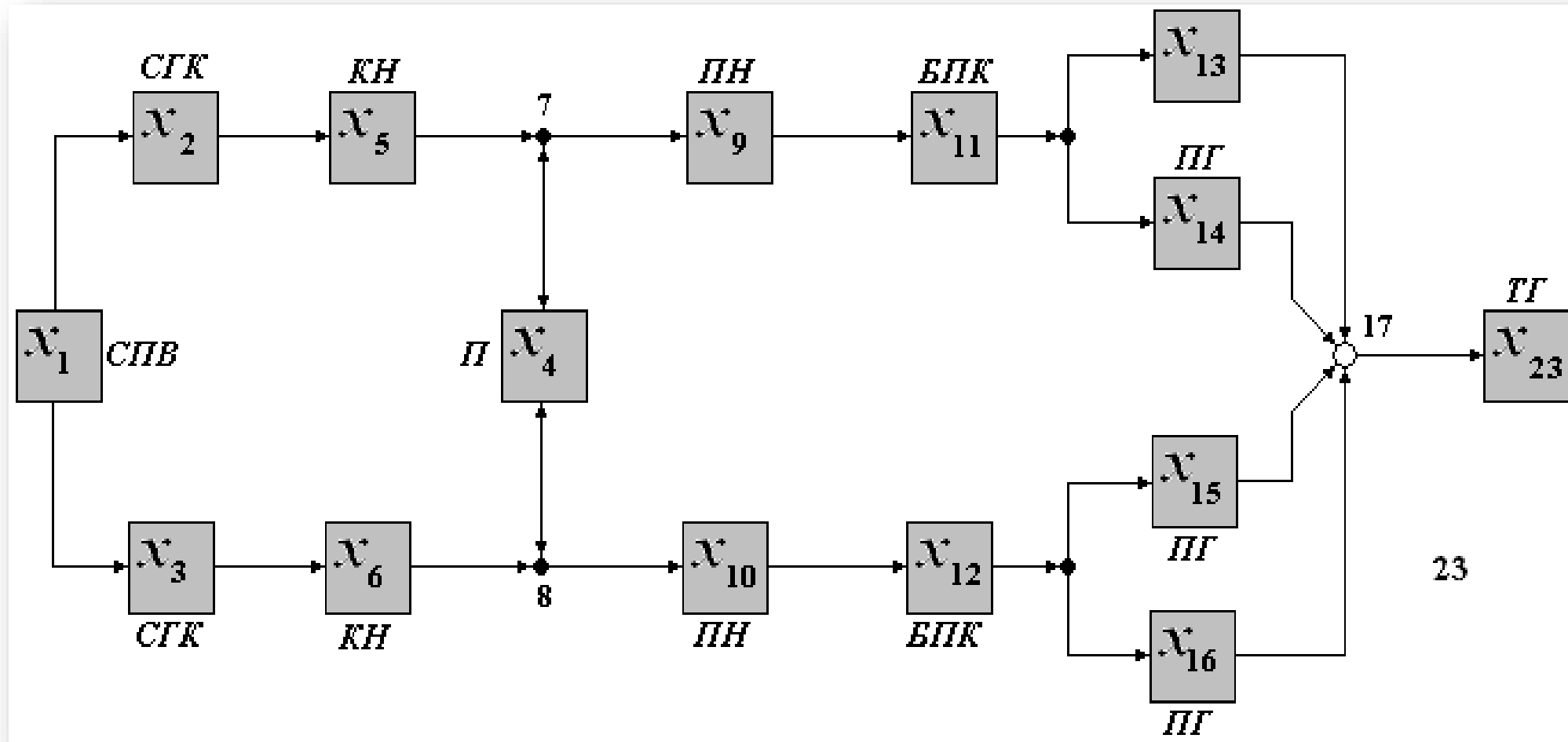
Структура ДО



Принципиальная схема моделируемой системы



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

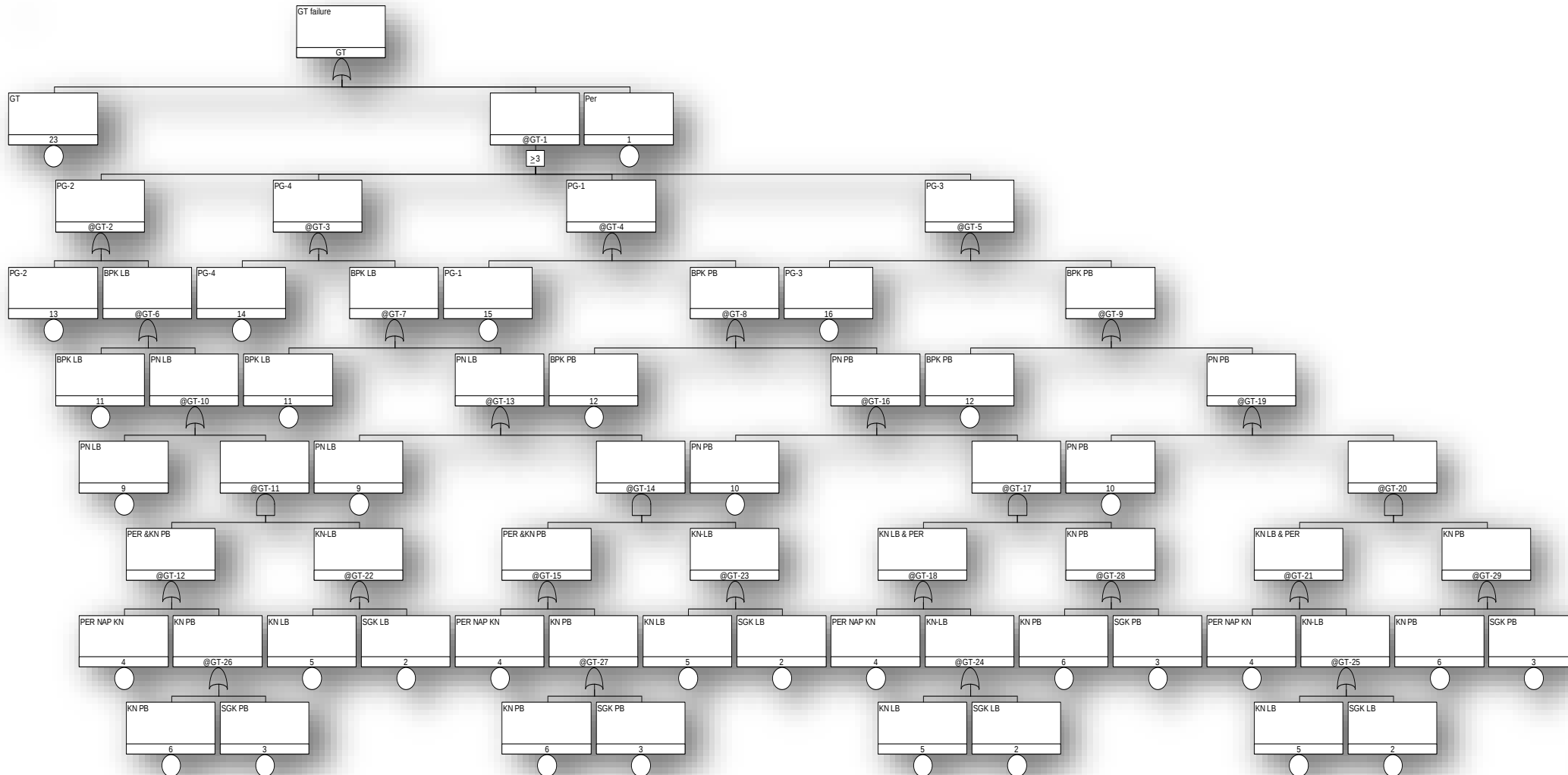


Принципиальная схема фрагмента ЯЭУ

Дерево отказов моделируемой системы



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



Дерево отказов фрагмента ЯЭУ

Схема функциональной целостности моделируемой системы



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

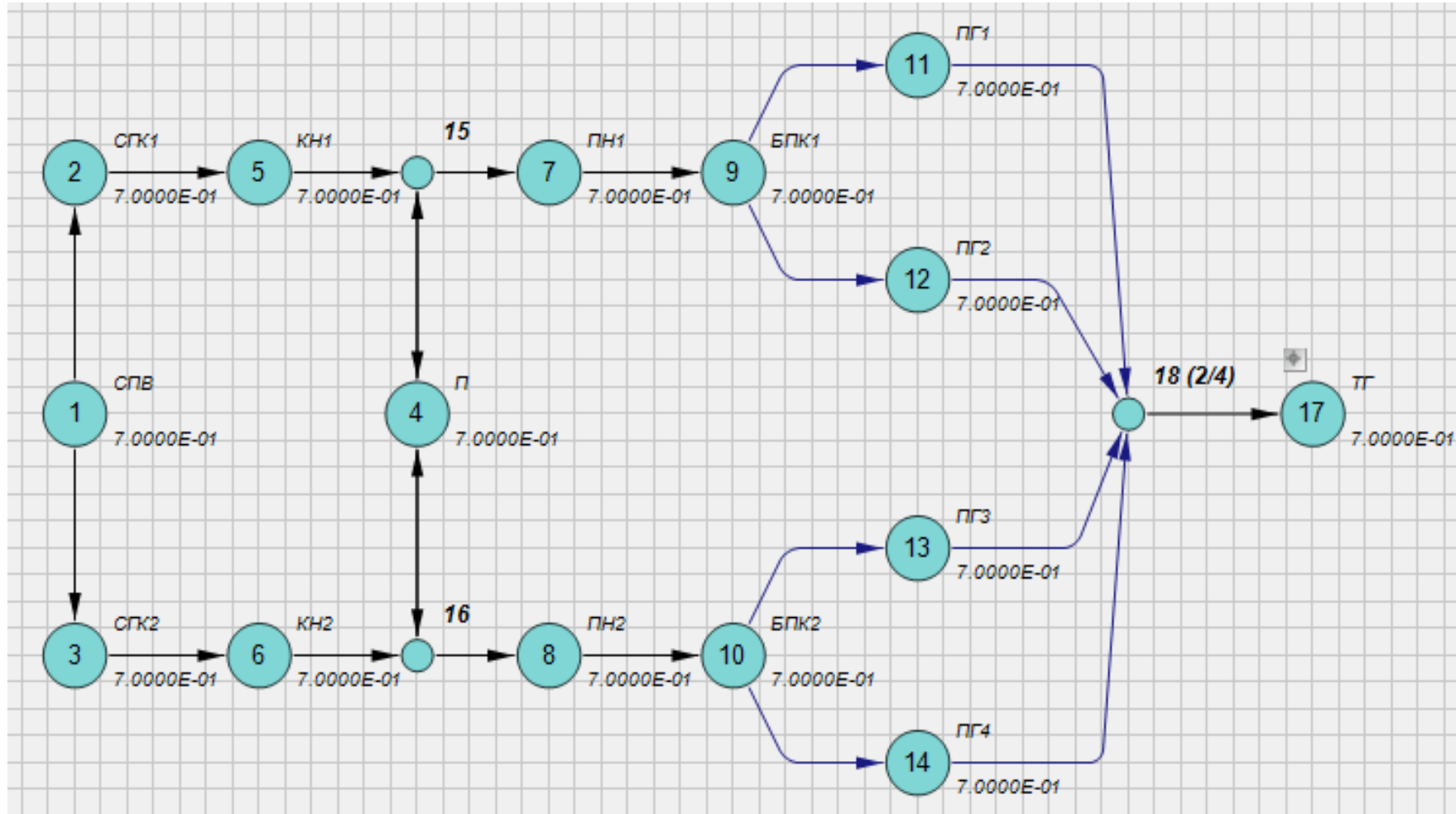
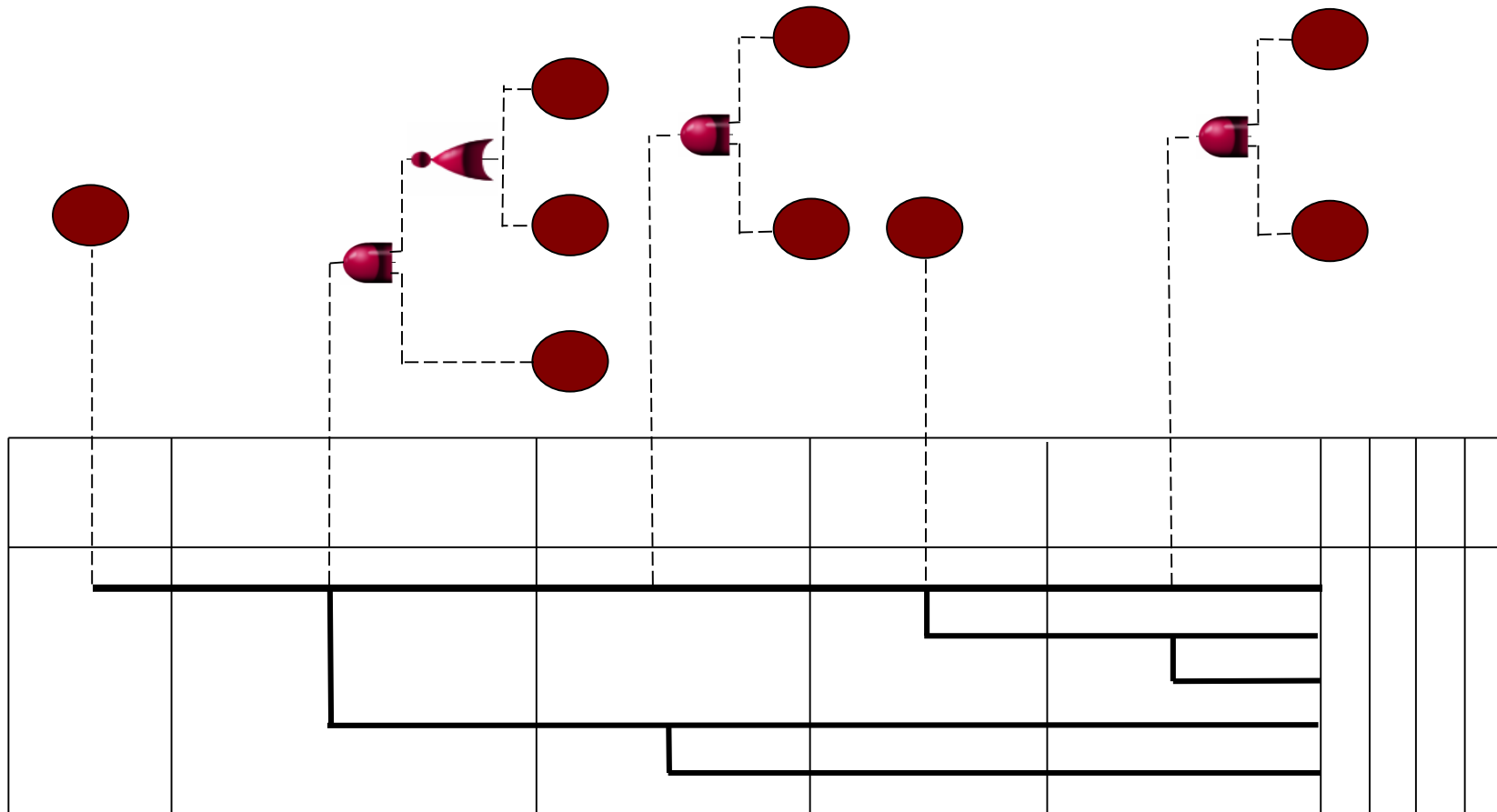


Схема функциональной целостности фрагмента ЯЭУ

Математическая модель ВАБ



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



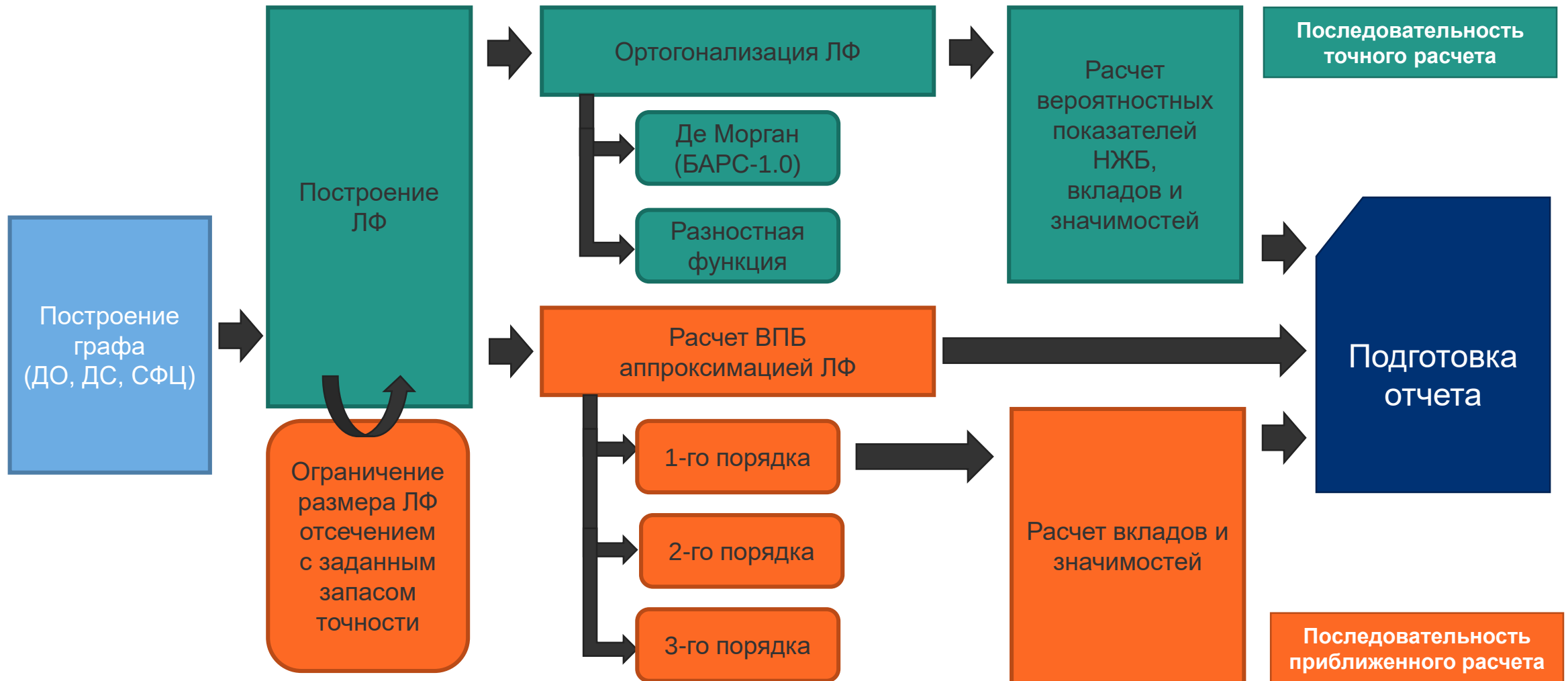
Объем графической модели безопасности АЭС «Х-1»:

(**177** деревьев событий, **2409** деревьев отказов, **187** исходных событий, **58** систем, **5995** компонентов, **9263** базисных события, **105** функциональных событий, **9186** логических операторов, **389** групп ООП, **13978** событий ООП)

Последовательность моделирования и расчета



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



Структура и состав отчета по ВАБ уровня 2



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

1. Цели и объем ВАБ уровня 2
2. Краткое описание блока АС
3. Описание методик, руководств и компьютерных программ
4. Сбор информации, необходимой для выполнения ВАБ уровня 2
5. Преобразование результатов ВАБ уровня 1 в исходные данные ВАБ уровня 2
6. Анализ (надежности) систем
7. Определение нагрузок на ГО
8. Анализ запроектных аварий, включая тяжелые аварии
9. Моделирование аварийных последовательностей
10. Определение выбросов РВ
11. Определение последствий аварий
12. Анализ и представление результатов ВАБ уровня 2

Цели и задач ВАБ-2



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

- Определение суммарной вероятности большого аварийного выброса для каждого блока АС на интервале в один год по всем ИС, всем режимам нормальной эксплуатации, всем имеющимся на блоке АС местам нахождения ядерных материалов, РВ и РАО
- Определение соответствия/несоответствия суммарной вероятности большого аварийного выброса для каждого блока АС на интервале в один год целевому ориентиру по вероятности большого аварийного выброса для каждого блока АС на интервале в один год, равной $1,0E-7$, установленному федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии НП-001-15
- Определение возможных категорий аварийных выбросов для блока АС и последствий аварий
- Выявление факторов, оказывающих наибольшее влияние на последствия аварий

ВAB-2. Основные положения



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

ВAB-2 для эксплуатируемых блоков АС рекомендуется выполнять с учетом реального состояния блока АС на основании следующих источников информации:

- проектной и конструкторской документации;
- отчетов по обоснованию безопасности;
- сведений о расследовании нарушений в работе блока АС;
- эксплуатационной документации

ВAB-2 для проектируемых и сооружаемых блоков АС рекомендуется выполнять на основании проектной и эксплуатационной документации прототипов блока АС, использовать действующие НТД, документы МАГАТЭ, результаты расчетов аварийных процессов, проведенных в рамках выполняемого ВAB-2

Принятые при выполнении ВAB уровня 2 допущения рекомендуется документировать и обосновывать. Влияние допущений на результаты ВAB уровня 2 рекомендуется исследовать при выполнении анализа чувствительности

Определение нагрузок на герметичное ограждение (при выполнении ВАБ-2)



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Рассматриваются нагрузки на ГО при следующих событиях тяжелой аварии:

- горение водорода и окиси углерода в зданиях и помещениях, в которых расположены элементы РУ, включая ГО
- повышение давления (включая квазистатическое) в пределах ГО, обусловленное различными физическими процессами
- фрагментация разрушенных компонентов активной зоны при их выходе за пределы реактора (образование аэрозолей различного размера из расплава активной зоны и ВКУ за короткий промежуток времени, приводящее к значительному увеличению площади теплообмена между расплавом и средой в ГО и к увеличению давления в ГО)

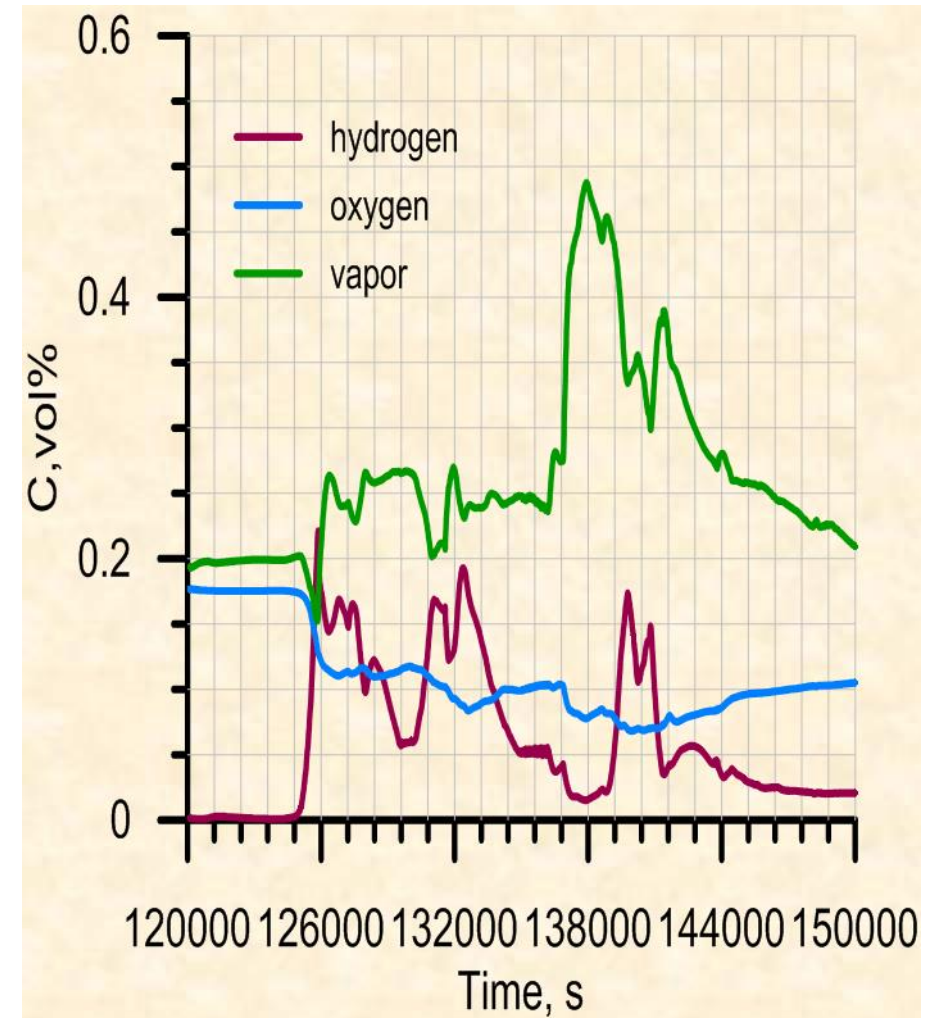
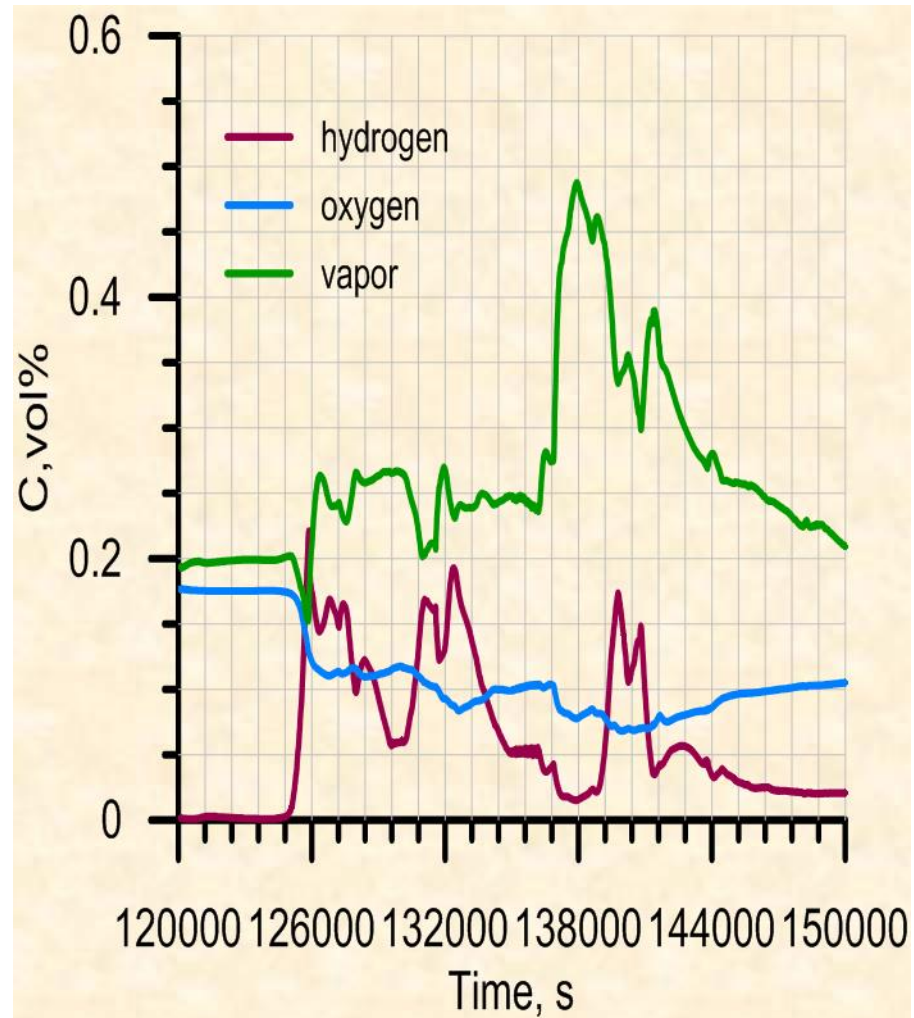
Временной интервал, на котором рассматривается тяжелая авария, рекомендуется разбивать на характерные фазы тяжелой аварии, в которых происходит повреждение (нарушение герметичности) ГО.

Временные границы фаз тяжелой аварии рекомендуется выбирать с учетом формирования наибольших нагрузок на ГО в различные характерные моменты времени тяжелых аварий

Изменение объемных концентраций H_2 , O_2 и пара при течи Ду 30 (пример задачи ДАБ для ВАБ-2)



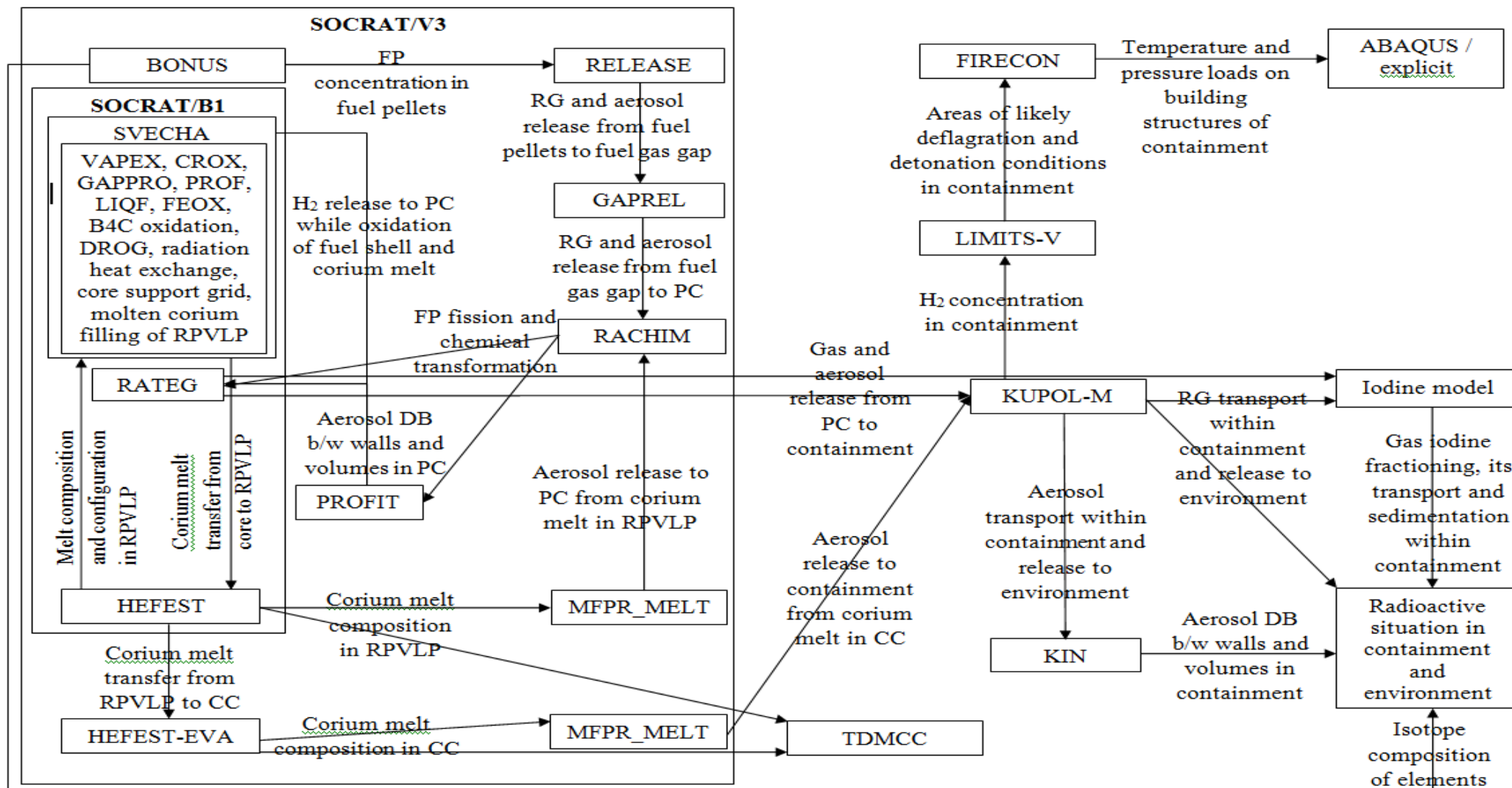
АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



Детерминистические расчеты для ВАБ-2



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



Структура и состав отчета по ВАБ для внутриплощадочных пожаров и затоплений



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

1. Общие вопросы (положения)
2. Сбор исходной информации
3. Определение пожарных зон (зон затопления) блока атомной станции
4. Разработка списка систем (элементов) для анализа пожаров (затоплений)
5. Оценка вероятностей (частот) возникновения пожаров (затоплений)
6. Анализ надежности персонала
7. Анализ распространения пожара (затопления) между пожарными зонами (зонами затопления)
8. Определение исходных событий, вызванных пожаром (затоплением)
9. Анализ сценариев пожаров (затоплений)
10. Анализ и представление результатов ВАБ для внутриплощадочных пожаров и затоплений

Структура и состав отчета по ВАБ для внешних воздействий



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

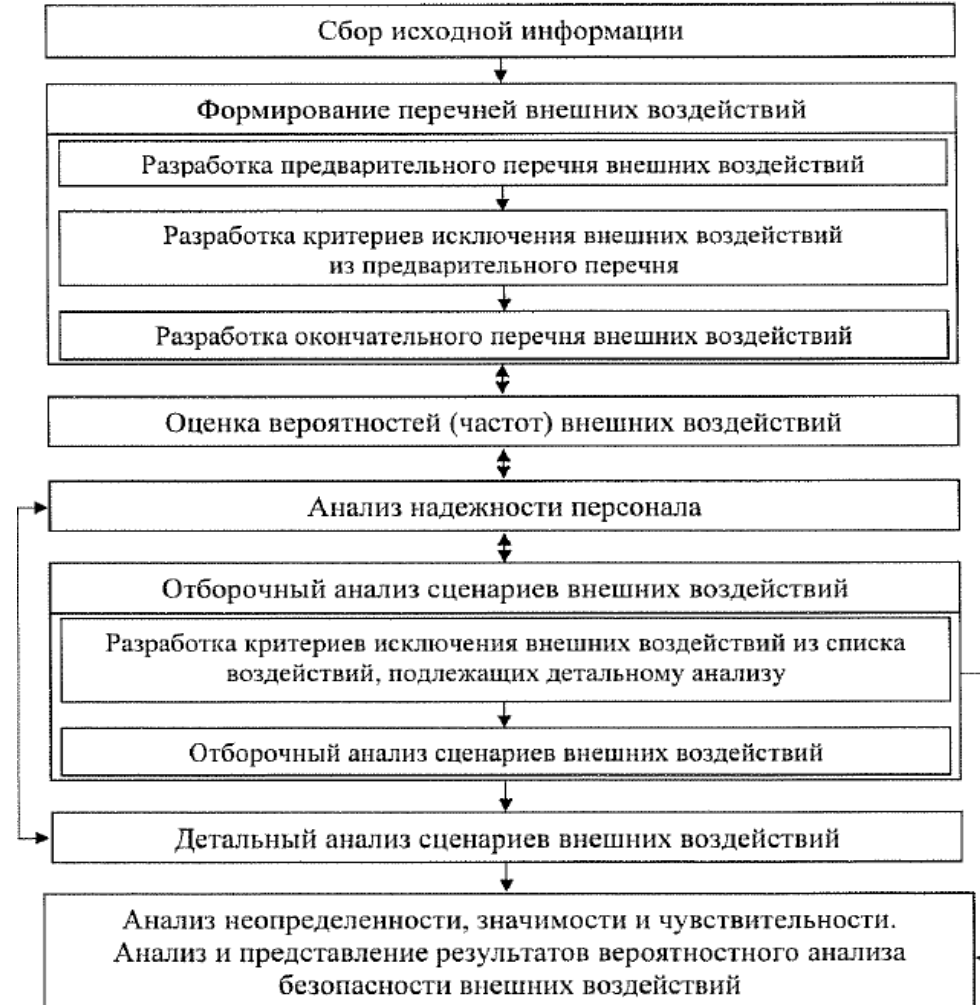
1. Общие сведения (положения)
2. Сбор исходной информации
3. Формирование перечней внешних воздействий
4. Оценка вероятностей (частот) внешних воздействий
5. Анализ надежности персонала
7. Анализ сценариев внешних воздействий
 - 7.1. Отборочный анализ сценариев внешних воздействий
 - 7.2. Детальный анализ сценариев внешних воздействий
8. Анализ зависимостей, неопределенности, чувствительности и значимости
9. Анализ результатов ВАБ для внешних воздействий и оценка уровня безопасности блока АС

Схема выполнения ВАБ для внешних воздействий



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Рекомендуемая последовательность и взаимосвязь задач вероятностного анализа безопасности внешних воздействий



Пример ИД ВАБ для внешних воздействий (1)



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Внешнее воздействие и его поражающие факторы	Объекты воздействия	Информация, рекомендуемая для формирования перечней внешних воздействий	Информация, рекомендуемая для анализа сценариев внешних воздействий	Исследуемые характеристики	Источник информации и номенклатура рассматриваемых объектов
Внешние воздействия техногенного характера					
Падение летательного аппарата или других летящих предметов; ударное воздействие; разлив топлива; попадание топлива внутрь	Здания и сооружения АС. Оперативный персонал АС. ОРУ	Расстояние от АС до аэропортов, воздушных трасс, военных объектов и полигонов. Параметры ударного воздействия: физические характеристики соударяемых тел; массы тел; скорость удара;	Вероятность попадания объекта в здания и сооружения, содержащие оборудование, важное для безопасности. Вероятностные характеристики воздействия, вызванного	Суммарная ВТА из-за разрушения отдельных зданий и сооружений АС. Примечание: при невозможности предотвращения массового распространения последствий предполагается	Сведения о размещении аэропортов и воздушных коридоров, пересечении воздушных маршрутов в районе размещения блока АС в радиусе 50 км от площадки энергоблока. Данные о видах воздушного движения, типах летательных аппаратов и их характеристиках, частоте полетов. Схемы взлета, посадки и стоянки летательных аппаратов.

Пример ИД ВАБ для внешних воздействий (2)



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

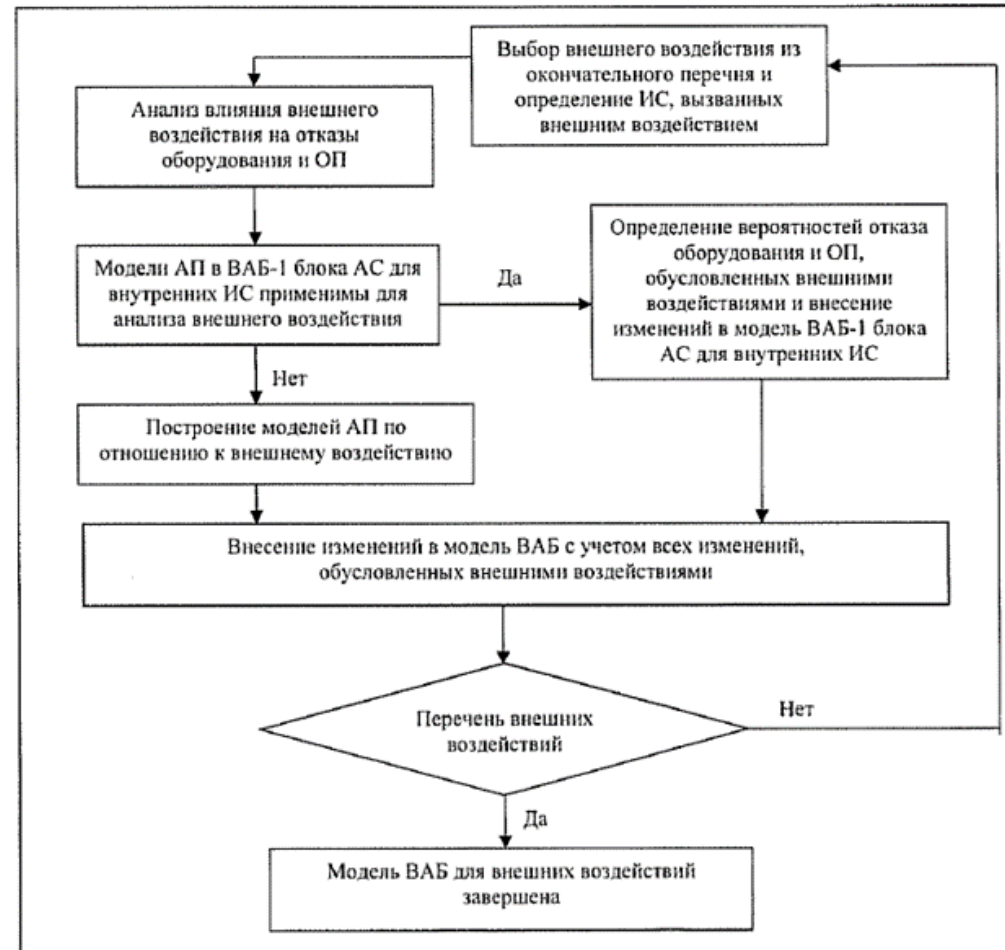
Внешнее воздействие и его поражающие факторы	Объекты воздействия	Информация, рекомендуемая для формирования перечней внешних воздействий	Информация, рекомендуемая для анализа сценариев внешних воздействий	Исследуемые характеристики	Источник информации и номенклатура рассматриваемых объектов
герметичного ограждения; сопутствующие пожары и взрывы; колебания грунта		угол соударения с конструкцией; направление воздействия; площадь соударения; точка приложения. Масса топлива. Проектные основы защиты АС от падения летательного аппарата	попаданием объекта в здания и сооружения АС. Вероятностные анализы устойчивости зданий и сооружений АС. Вероятность предотвращения распространения последствий, связанных с попаданием летательного объекта (пожар, затопление, задымление, загазованность). Модель ВАБ-1 блока АС для внутренних ИС	повреждение активной зоны	Информация о наличии в зоне влияния на блок АС военных объектов, полигонов для бомбометания. Данные о видах возможных летящих предметов, их характеристиках, вероятности (частоте) реализации опасности. Архивные сведения об авиакатастрофах

Корректировка модели ВАБ-1 с учетом внешних воздействий



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Схема внесения изменений в модель вероятностного
анализа безопасности для внутренних исходных событий
с целью учета влияния внешних воздействий



Структура и состав отчета по ВАБ для сейсмических воздействий



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

1. Общие сведения (положения)
2. Сбор информации, специфической для блока АС
3. Вероятностный анализ сейсмической опасности площадки АС
4. Предварительный анализ исходных событий для сейсмических воздействий. Разработка перечня систем (элементов) для анализа
5. Вероятностный анализ реакции сооружений на сейсмические воздействия
6. Сейсмический обход блока
7. Анализ сейсмической повреждаемости элементов при сейсмических воздействиях
8. Анализ надежности персонала
9. Моделирование аварийных последовательностей
10. Анализ неопределенности, чувствительности и значимости
11. Анализ результатов ВАБ сейсмических воздействий и оценка уровня безопасности блока АС

Рабочее окно ПК RISK-SPECTRUM (Lloyd's Register Consulting – Energy AB)



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

RiskSpectrum® PSA - D:\A3C\Нововоронежская АЭС\Анализ надежности\Модель ВАБ и отчет\Конвертированный Нововоронеж\1.RPP - [Event Tree: EH-LOOP-01]

File Edit Record Tree View Analysis Tools Window Help

Project Explorer

- Event Tree
 - Initiating Event
 - Sequence
 - Consequence
- Event
 - Basic Event
 - Gate
 - House Event
 - Template Event
- Common Cause Failure
- Parameter
 - Attributes & Groups
- Analyses & Results
 - Analysis Case
 - FT Analysis Case
 - Sequence Analysis Case
 - Consequence Analysis Case
 - MCS Analysis Case
 - Analysis Case Group
 - Analysis Specifications
 - Boundary Condition Set
 - MCS Post Proc. Action
 - Memo
 - User

Fault Tree FT Analysis Case Failure Rate (r) Basic Event (Filtered) Function Event Event Tree

EH-LOOP-01 Z4 Z1 N34 N23 N12 C4 C1 XE HO RC BF

No.	Freq.	Conseq.	Code
1		HSS	HO
2		CSS	HO-RC
3		CSL	HO-RC
4		CD.HZ.R-OS1-I	HO-RC-BF
5		HSS	C4
6		CSS	C4-HO
7		CSL	C4-HO-RC
8		CD.HZ.R-OS1-I	C4-HO-RC-BF
9		CD.ND.R-OS1-I	C4-XE
10		CSL	C4-C1
11		CD.R-OS1-IE-L	C4-C1-BF
12		CSL.SGB	N34
13		CD.R-OS1-IE-L	N34-BF
14		HSS	Z4
15		CSS	Z4-HO
16		CSL	Z4-HO-RC
17		CD.HZ.R-OS1-I	Z4-HO-RC-BF
18		CSS	Z4-XE
19		CSL	Z4-XE-RC
20		CD.HZ.R-OS1-I	Z4-XE-RC-BF
21		CD.ND.R-OS1-I	Z4-C1
22		CSL.SGB	Z4-N23
23		CD.R-OS1-IE-L	Z4-N23-BF
24		CSL	Z4-Z1
25		CD.R-OS1-IE-L	Z4-Z1-BF

Tree List

ID	Description
EH-CPS-10	Обесточивание
EH-CPS-11	Обесточивание
EH-CPS-12	Обесточивание
EH-CPS-13	Потеря нормального отвода тепла
EH-CPS-14	Потеря нормального отвода тепла
EH-LOOP	
EH-LOOP-00	Обесточивание
EH-LOOP-01	Обесточивание с тенью 2 к
EH-LOOP-01E	Обесточивание с тенью 2 к
EH-LOOP-02	Обесточивание с тенью 2 к
EH-LOOP-02D	Обесточивание с тенью 2 к
EH-LOOP-03	Обесточивание
EH-LOOP-03D	Обесточивание
EH-LOOP-04	Обесточивание
EH-LOOP-04C	Обесточивание

Node Information

Node

ID: EH-LOOP-01
Description:
State: Normal
Edited date: 09.12.2024 9:56:57
Edited by: 1
Input all#1: Consequence EH-LOOP-01 01-LOOP

Data Reports

No. of records = 1255 No. of tagged records = 0 Total no. of records = 1255 Total no. of tagged records = 0

Окно графического редактора ПК CRISS (ОКБМ «АФРИКАНТОВ»)



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

CRISS [KLN3_MR]

Проект Редактирование БАБ Сервис Вид Справка

BAБ

Анализ надёжности персонала

Вероятностные параметры

Параметры ООП

Временные параметры

Типы базисных событий

Пространственные связи

Воздействия

Зоны

Помещения

Кабельные трассы

Модели систем

Системы

Каналы систем

Оборудование

Логические ключи

Базисные события

Деревья отказов

АВОП

Модели последовательностей

Исходные события

Функциональные события

Конечные состояния

Деревья событий

Последовательности

Анализ

Группы граничных условий

Условия построения

Группы построения

Параметры расчёта

Расчётные наборы

Варианты анализа

Результаты

Деревья отказов

ДО: MR-BX

Деревья событий

ДС: FLOOD-12-SC1

	Впрыск в КД с напора ТК	Снижение давления в 1 к. (ИПУ КД САГ)	Закрытие линии САГ и ИПУ КД	Создание стояночной концентрации TQ13,14	Подача бора насосами ТК, ТВ или ПНУ150/900	Расколлаживание через CHOT	Расколлаживание через АПЭН, ВПЭН, БРУ-А	САОЗ ВД из приямка или ПНУ150/900 из приямка	Сброс-подпитка	№	КС	Код АП
FLOOD-12-SC1	DP2-SHUT	DP	DP-C	B-TQ13,14	TK	HR	PA	F	FB	1	OK	FLOOD-12-SC1
										2	OK	FLOOD-12-SC...
										3	OK	FLOOD-12-SC...
										4	CD1; ND2	FLOOD-12-SC...
										5	CD1; ND2	FLOOD-12-SC...
										6	OK	FLOOD-12-SC...
										7	OK	FLOOD-12-SC...
										8	OK	FLOOD-12-SC...
										9	CD1; ND2	FLOOD-12-SC...
										10	CD1; ND2	FLOOD-12-SC...
										11	OK	FLOOD-12-SC...
										12	CD1; ND2	FLOOD-12-SC...
										13	CD1; ND2	FLOOD-12-SC...
										14	OK	FLOOD-12-SC...
										15	CD1; TRAN...	FLOOD-12-SC...

Поиск

Использовать регулярные выражения

Свойства

Наименование

Значение

Код

FLOOD-12-SC1

Наименование

Администр. хол. останов с потерей 1 канала С

Пользователь

Изменён

29.01.2025 10:55

Комментарий

Используется в

Тип

Код

Открытые объекты

Наименование

Деревья отказов

ДО: MR-BX

Деревья событий

ДС: FLOOD-12-SC1

Процессы

Наименование

Состояние

Прогресс

Дата начала

Дата окончания

Длительность

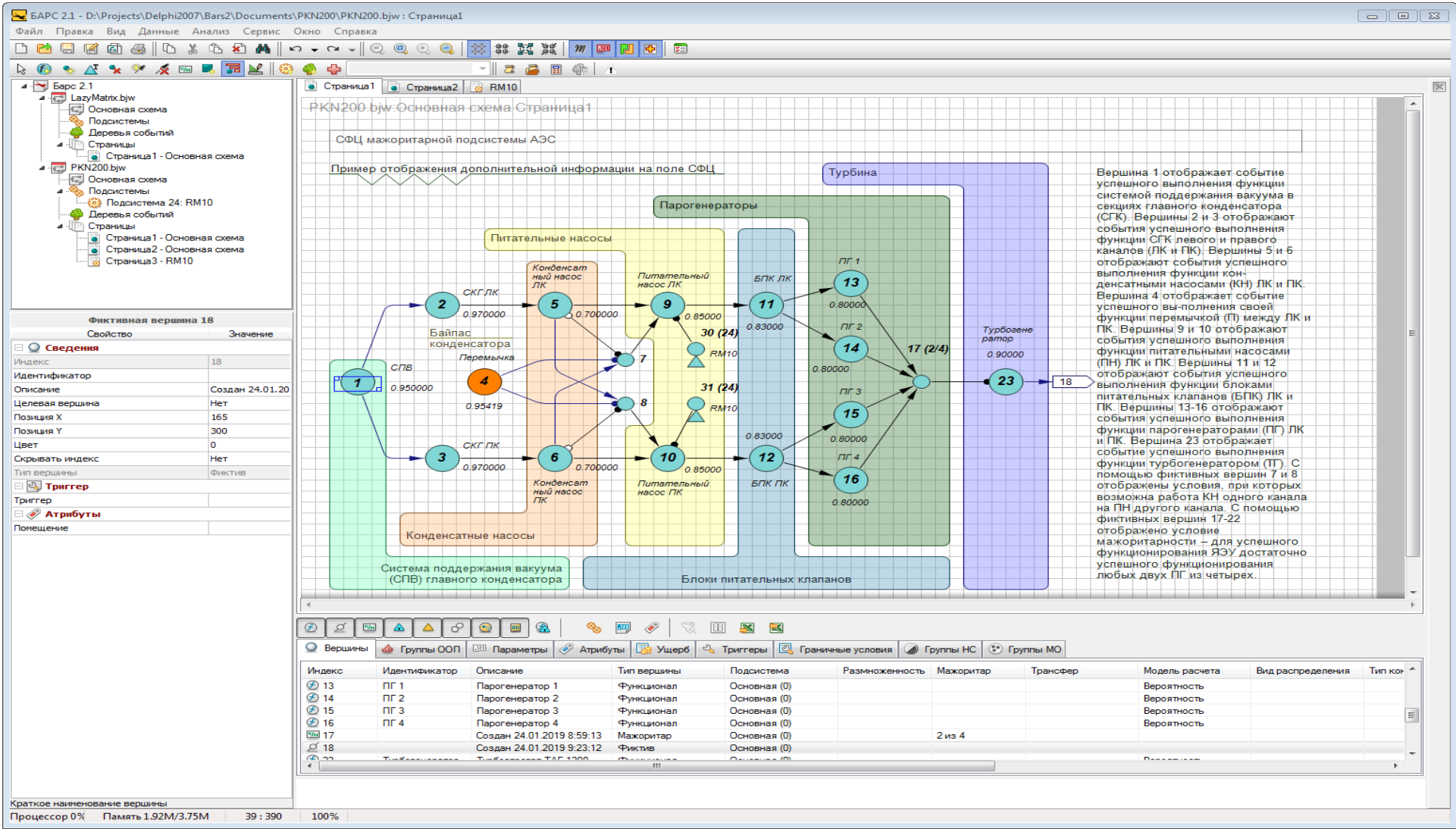
Результат

Администратор 1/1051

Рабочее окно ПК Барс 3.0 (АО «Атомэнергопроект»)



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



Направления использования результатов ВАБ



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Стадия проектирования

Проектные расчеты надежности систем АЭС

Обоснование и оптимизация структуры систем на основе многовариантных расчетов по критериям, «надежность», «готовность», «надежность-стоимость»

Обоснование требований к надежности оборудования

Обоснование требований к системам диагностирования

Обоснование требований к системе и организации ТОР АЭС

Анализ показателей готовности

Стадия сооружения и эксплуатации

Обоснование регламентов безопасной эксплуатации АЭС

Разработка и обоснование симптомно-ориентированных инструкций для персонала по действиям в аварийных ситуациях

Обоснование номенклатуры оборудования, подлежащего диагностированию

Обоснование периодичности плановых проверок систем безопасности

Обоснование регламентов технического обслуживания и ремонта

Разработка программ ТОиР, ориентированных на обеспечение надежности (безотказности)

Обоснование классов систем и элементов АЭС по влиянию на безопасность

Разработка программ модернизации АЭС

Анализ показателей готовности



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

«Методика анализа готовности энергоблока АС на этапе проектирования» (СТО 8841271.050-2017) введена приказом АО ИК «АСЭ» от 31.01.2018 №40/128-П

Основными составляющими разработанной методики являются:

- Методика сбора, обработки и анализа опыта эксплуатации АС-аналогов
- Методика расчета показателей готовности проектируемой АС на основе данных опыта эксплуатации АС-аналогов
- Методика оценки продолжительности плановых остановов и остановов для проведения специальных работ проектируемой АС на основе специфических данных
- Методика моделирования и расчета показателей неплановой неготовности проектируемой АС на основе специфических данных

СТО 8841271.050-2017

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ИНЖИНИРИНГОВАЯ КОМПАНИЯ «АСЭ»
(АО ИК «АСЭ»)
JOINT STOCK COMPANY ENGINEERING COMPANY «ASE»
(SC EC «ASE»)

 **СТАНДАРТ
ОРГАНИЗАЦИИ** **СТО
8841271.050-
2017**

УТВЕРЖДАЮ
Президент АО ИК «АСЭ»,
Управляющей организации АО АСЭ,
АО «Атомэнергопроект»,
АО «АТОМПРОЕКТ»
 В.И.Лимаренко
_____ 2017 г.

**МЕТОДИКА АНАЛИЗА ГОТОВНОСТИ
ЭНЕРГОБЛОКА АС НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Для совместного применения
АО ИК «АСЭ», АО «Атомэнергопроект», АО «АТОМПРОЕКТ»

Нижний Новгород
2017

Методика обоснования классов оборудования АЭС по влиянию на безопасность



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Методика назначения классов элементам (КСК) АЭС по влиянию на безопасность разработана на основе отечественных (НП-001-15, НП-026-16, НП-068-05, НП-089-15) и международных (стандарты МАГАТЭ SSR-2/1, SSG-30, TECDOC-1787, EUR-E, WENRA) требований, использует вероятностные подходы, что позволяет избежать завышения класса оборудования и, как следствие, его стоимости

Использование Методики позволяет:

- уменьшить стоимость оборудования. Примеры: повышение класса оборудования турбоустановки с 4-го до 3-го увеличивает ее стоимость на ~ 25%; стоимость оборудования некоторых систем возрастает в 4 раза
- уменьшить стоимость эксплуатации (за счет, например, сокращения затрат на техническое диагностирование, ТО и Р и т.д.)

В Методике описываются:

- Российские и международные требования к назначению классов элементам АЭС
- Основные этапы классификации оборудования АЭС по влиянию на безопасность
- Порядок проведения качественного анализа отказов при назначении классов
- Порядок и методика расчета условной вероятности перехода отказов оборудования в тяжелую аварию
- Примеры расчета условной вероятности перехода отказов оборудования в тяжелую аварию

СТО 8841271.058-2017

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ИНЖИНИРИНГОВАЯ КОМПАНИЯ «АСЭ»
(АО ИК «АСЭ»)

 СТО 8841271.058-2017

СТАНДАРТ
Организации

УТВЕРЖДАЮ

Президент АО ИК «АСЭ»,
Управляющей организации АО «АСЭ»,
АО «Атомэнергопроект»,
АО «АТОМПРОЕКТ»

В. И. Лимаренко

«___» _____, 2017 г.

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ КЛАССОВ
БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ И ЭЛЕМЕНТОВ
АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

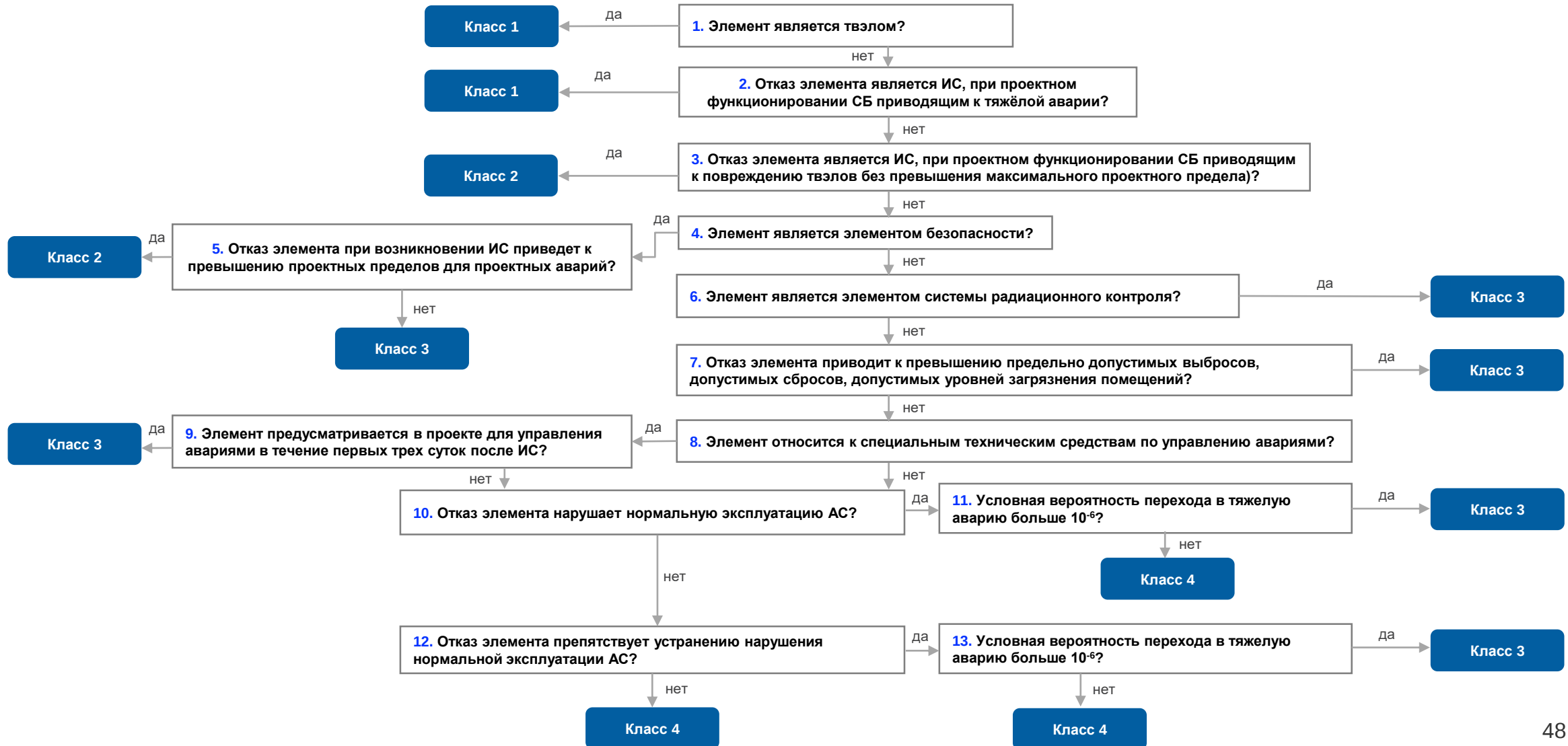
Для совместного применения
АО ИК «АСЭ», АО «Атомэнергопроект», АО «АТОМПРОЕКТ»

Нижний Новгород
2017

Алгоритм классификации элементов АС по НП-001-15



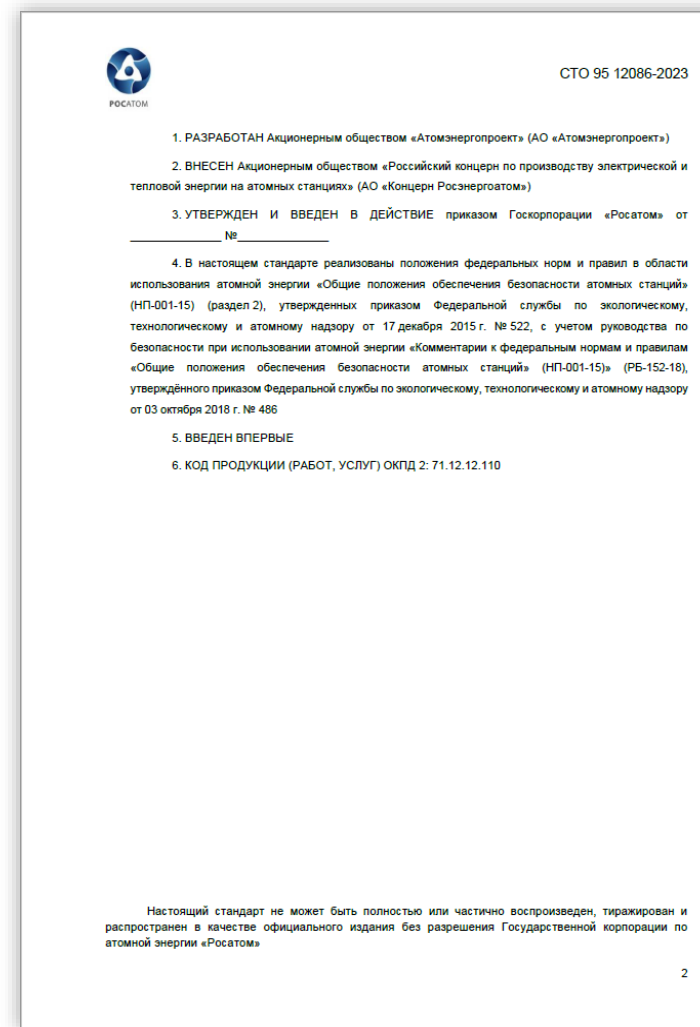
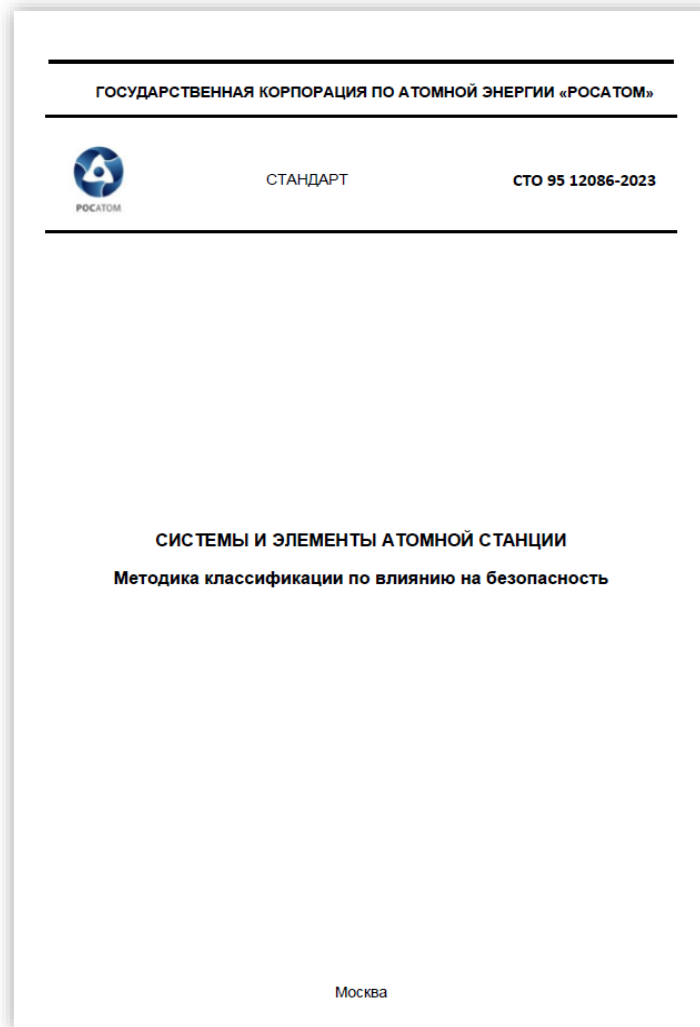
АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



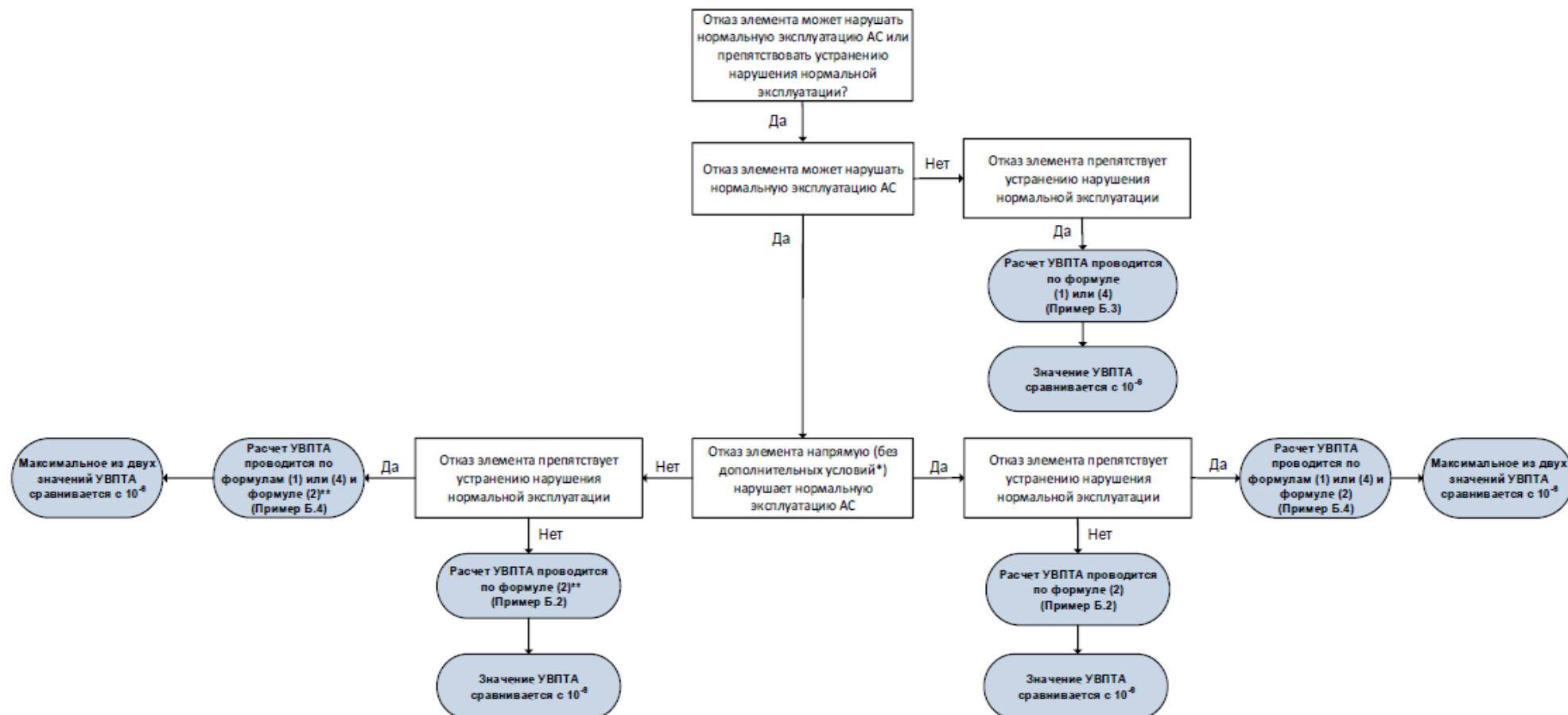
Стандарт ГК «Росатом». Системы и элементы атомной станции. Методика классификации по влиянию на безопасность



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



Стандарт ГК «Росатом». Системы и элементы атомной станции. Методика классификации по влиянию на безопасность



* - примеры дополнительных условий приведены в 5.6;

** - дополнительно оценивается $P_{нз}$ – условная вероятность перехода нарушения НЭ, вызванного отказом элемента АС, в ИС

Рисунок 2 – Алгоритм оценки УВПА и её сравнения со значением 10^{-6} для элементов системы АС

Заключение по методике назначения классов



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

1. Назначение классов безопасности элементам АЭС должно производиться с помощью как детерминистических, так и вероятностных методов
2. При назначении классов по безопасности должны использоваться материалы ООБ (ПООБ, ОООБ, ОУОБ), результаты анализа надежности систем нормальной эксплуатации, систем безопасности и систем , важных для безопасности, результаты ВАБ уровней 1 и 2, ВАБ для внутренних пожаров, ВАБ для внутренних затоплений, ВАБ для внешних воздействий, сейсмического ВАБ
3. Расчеты условной вероятности перехода отказов оборудования в тяжелую аварию должны производиться с помощью логико-вероятностной модели безопасности АЭС, разработанной при выполнении ВАБ
4. При классификации должен использоваться стандарт ГК «РОСАТОМ» СТО 95 12086-2023
5. Методика позволила обосновать отнесение к 4 классу оборудования машзала, ОРУ/КРУЭ ЛАЭС-2, БН-800 (БелАЭС), КурАЭС-2 и др. АС

Обоснование периодичности плановых проверок систем безопасности (СТО)



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

«Методика обоснования периодичности плановых проверок систем безопасности АЭС» (СТО 8841271.001-2017) введена приказом АО ИК «АСЭ» от 04.08.2017 №40/1238-П

Основные разделы методики:

1. Назначение плановых проверок работоспособности СБ
2. Основные положения методики обоснования периодичности плановых проверок СБ
3. Классификация элементов СБ в зависимости от режима контроля и восстановления
4. Математические модели надежности элементов
5. Методика определения оптимальной периодичности плановых проверок СБ
6. Программные средства для выбора и обоснования периодичности плановых проверок СБ
7. Критерии выбора оптимальной периодичности проверок СБ



Обоснование периодичности плановых проверок систем безопасности (МУ)



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
ROSATOM

Основные разделы методики:

1. Назначение плановых проверок работоспособности СБ
2. Основные положения методики обоснования периодичности плановых проверок СБ
3. Классификация элементов СБ в зависимости от режима контроля и восстановления
4. Математические модели надежности элементов.
5. Методика определения оптимальной периодичности плановых проверок СБ
6. Программные средства для выбора и обоснования периодичности плановых проверок СБ
7. Критерии выбора оптимальной периодичности проверок СБ

АО «Атомэнергопроект»	ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА	Версия 2
	МУ АЭП 2.2-46-2022	Методика обоснования периодичности и продолжительности плановых проверок систем безопасности АЭС

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ»
(АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ»)

ATOMENERGOPROEKT, JOINT-STOCK COMPANY
(ATOMENERGOPROEKT JSC)

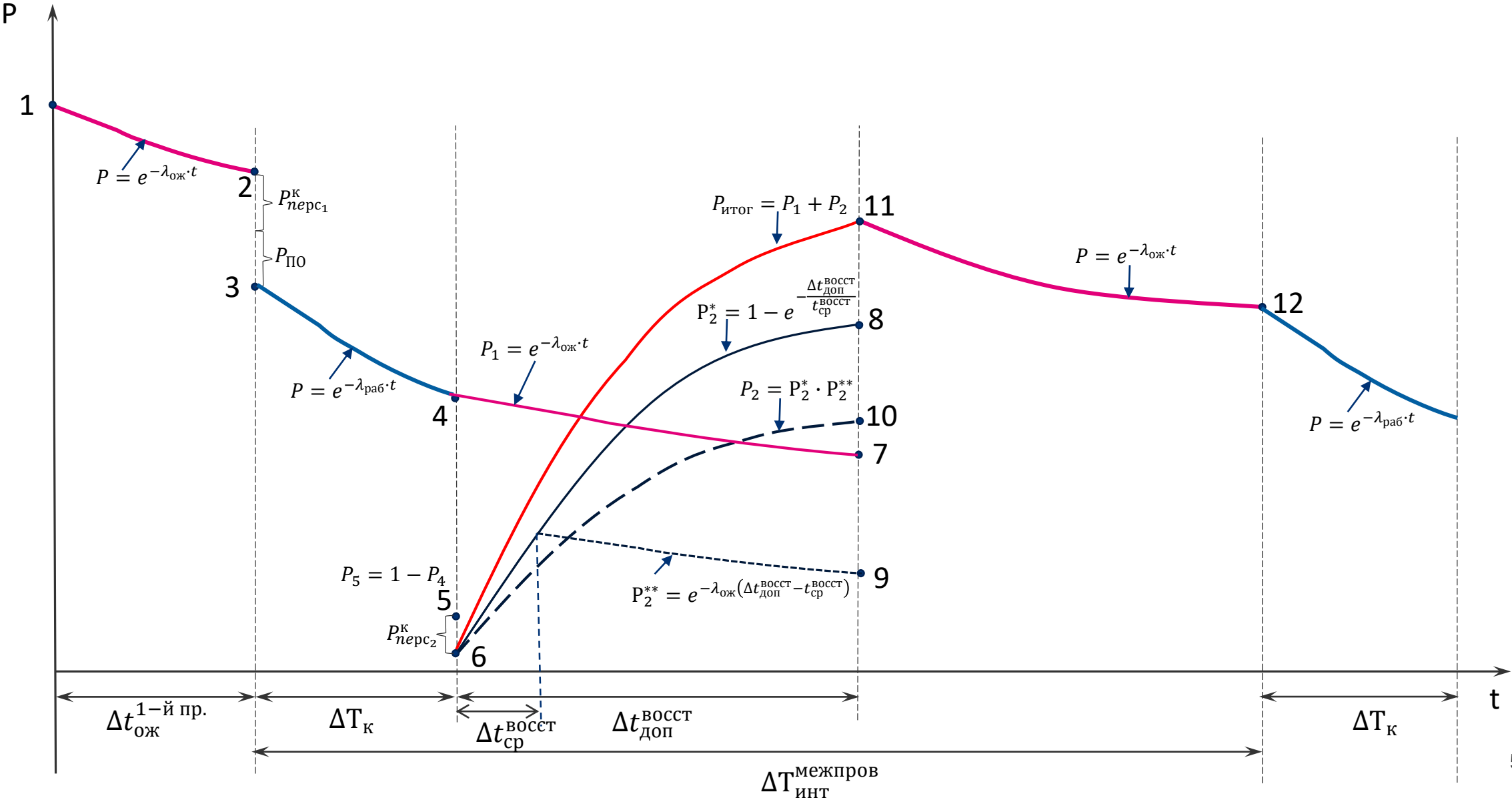
МЕТОДИЧЕСКИЕ
УКАЗАНИЯ

МУ АЭП 2.2-46-2022

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ И
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПЛАНОВЫХ ПРОВЕРОК
СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

Москва
2022

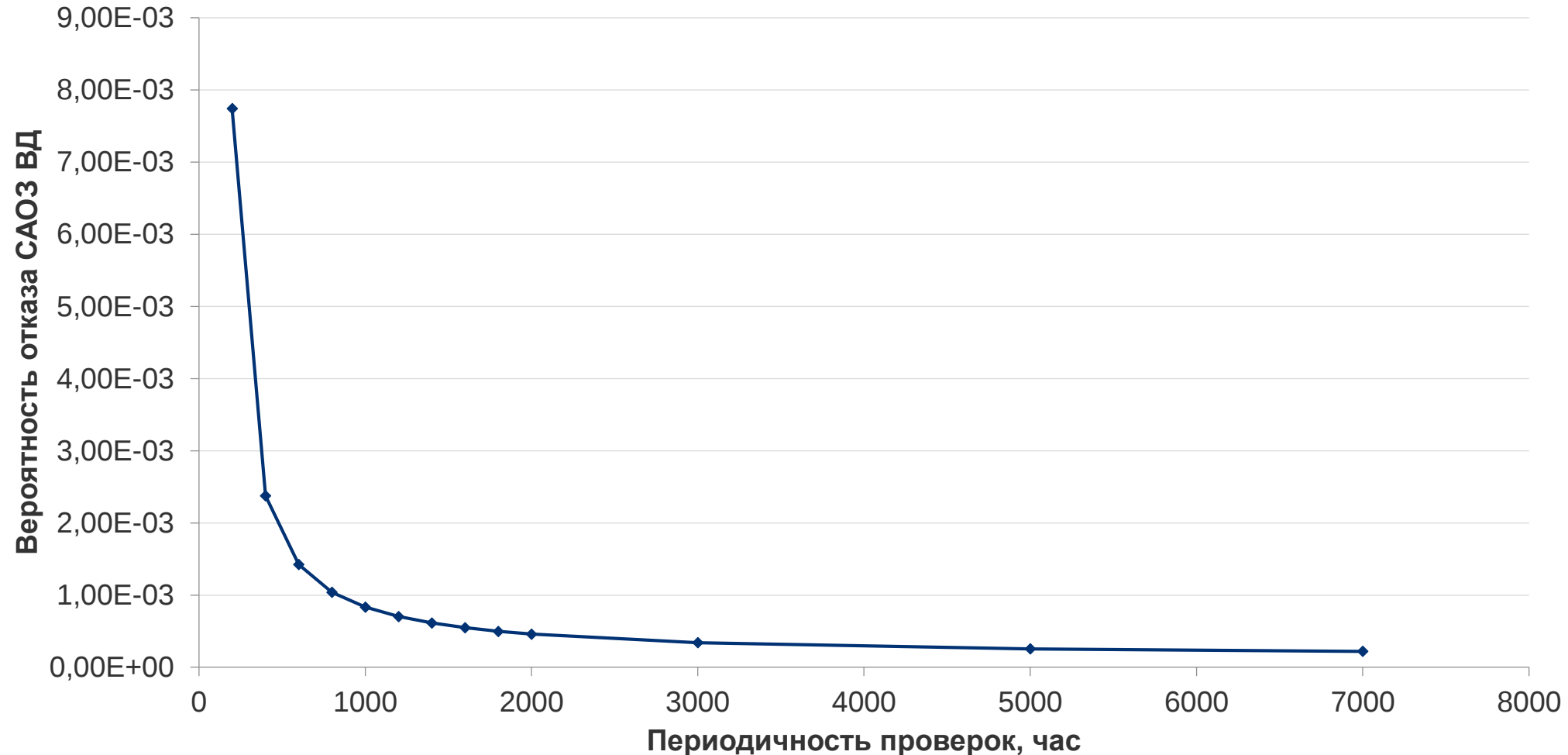
Изменение параметров надежности периодически контролируемого восстанавливаемого элемента



Зависимость вероятности отказа САОЗ ВД ЛАЭС-2 на запуск от периодичности контроля



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



Выводы по методике обоснования периодичности плановых проверок СБ



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

1. Анализ ТРБЭ АЭС показывает, что требования к периодичности плановых проверок СБ обоснованы недостаточно
2. При выполнении требований ТРБЭ еженедельно запускается около 150 единиц оборудования, что приводит к расходованию их ресурса, дизельного топлива, увеличивает нагрузку на персонал АЭС, увеличивает вероятность отказа
3. Традиционный подход к обоснованию периодичности плановых проверок СБ не позволяет учесть множество факторов, влияющих на вероятность отказа этих систем. Разработанная АО "Атомэнергoproject" «Методика обоснования периодичности плановых проверок систем безопасности АЭС» (СТО 8841271.001-2017) лишена данного недостатка
4. Для обоснования периодичности проверок СБ предпочтительным является использование ПК БАРС. Для этих целей может использоваться и ПК Risk Spectrum
5. При разработке ТРБЭ реакторных установок АЭС для каждой системы безопасности необходимо выполнить комплекс расчетов, аналогичных описанным в настоящем докладе
6. Результаты расчетов могут быть дополнены оценкой экономических параметров (стоимости ТО и Р) и анализом влияния периодичности проверок на показатели готовности энергоблоков
7. Принятая в настоящее время продолжительность интервалов времени между очередными проверками **(1 раз в месяц)** не является оптимальной, более того – отрицательно сказывается на надежности и безопасности АЭС Предварительные оценки показали, что оптимальной является проверка СБ **1 раз в три месяца**

Обоснование условий безопасной эксплуатации энергоблока АС в части допустимого времени работы на мощности при наличии отказавшего оборудования

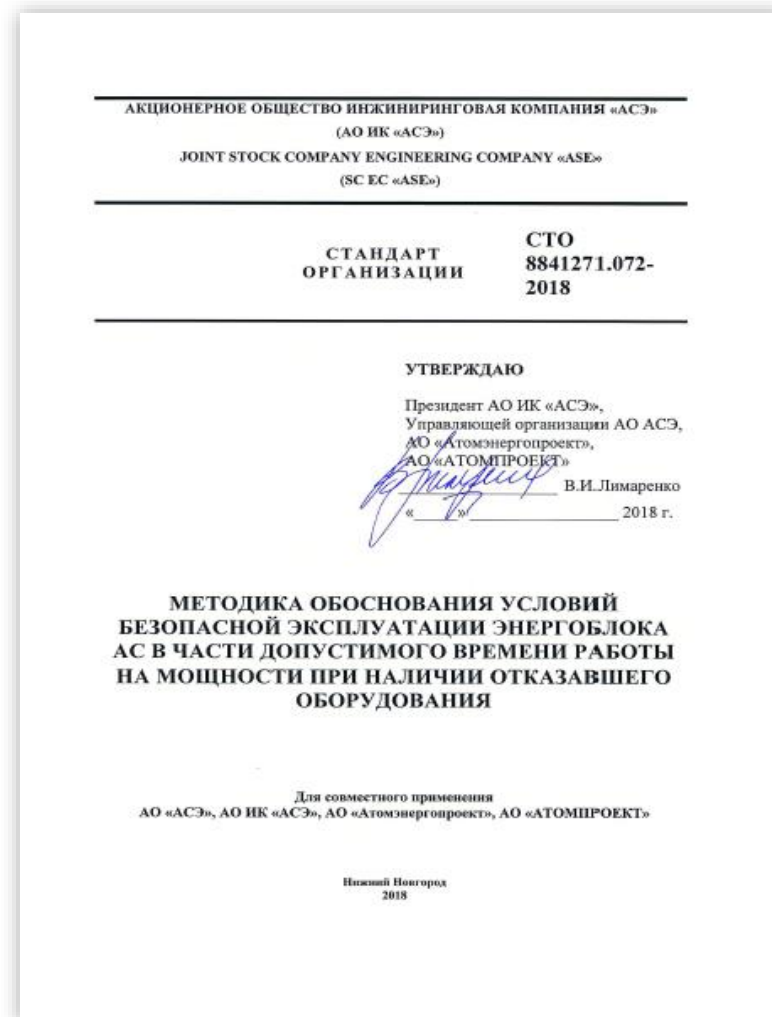


АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

«Методика обоснования условий безопасной эксплуатации энергоблока АС в части допустимого времени работы на мощности при наличии отказавшего оборудования» (СТО 8841271.072-2018) введена в действие приказом АО ИК «АСЭ»

Основные разделы методики:

1. Цель и назначение методики обоснования допустимого времени
2. Общие положения
3. Вероятностные показатели
4. Последовательность выполнения основных этапов обоснования
5. Использование дополнительных критериев для обоснования допустимого времени вывода оборудования в ремонт
6. Алгоритм выполнения обоснования
7. Обоснование подходов к оценке допустимого времени



Пример выполнения обоснования для отдельных систем безопасности ЛАЭС-2 (JDH, BS, LAR)

Система	KKS	ДВВР, час	
		Отказ одного канала	Отказ двух каналов
Система аварийного ввода бора	JDH	2168,9	1681,2
Система аварийного электроснабжения 0,4 кВ	BS	Без ограничений	988,2
Система аварийной питательной воды	LAR	2139,3	1096,6

Как видно из таблицы, полученные допустимые времена работы на мощности при отказе одного и двух каналов рассмотренных систем существенно превышают допустимые времена, установленные ТРБЭ (720 часов – при отказе одного канала СБ, и 72 часа – при отказе двух каналов СБ)

Ожидается, что схожие результаты могут быть получены и при обосновании прочих систем безопасности ЛАЭС-2

Выводы по методике обоснования допустимого времени



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

1. Методика позволяет решить актуальную задачу, обусловленную повышенными требованиями к безопасности АЭС - назначение оптимального допустимого времени вывода оборудования в ремонт при наличии отказавшего оборудования
2. Обоснование условий безопасной эксплуатации в части допустимого времени вывода оборудования в ремонт при наличии отказавшего оборудования должно осуществляться с использованием вероятностных методов, на основе полномасштабного ВАБ
3. Обоснование изменений ТРБЭ может привести не только к улучшению показателей безопасности, но и к улучшению показателей готовности энергоблока (вследствие снижения количества неплановых остановов)
4. Расчеты допустимого времени работы на мощности для ЛАЭС-2 показывают, что оно может быть увеличено в три и более раз
5. Для АЭС с 2-канальными СБ СТО также позволяет более качественно обосновать требования ТРБЭ к допустимому времени работы на мощности при наличии отказов в СБ

Примеры механизмов старения



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Механизм старения	КСК, склонные к деградации
Усталость — Повреждение, развивающееся под воздействием механической переменной нагрузки или из-за изменений температуры. Приводит к появлению трещин и разрывов	Все металлические конструкции. Вибрирующие и вращающиеся механизмы, сварные швы патрубков и другие подобные области концентрации напряжений
Эрозионная коррозия. При эрозионной коррозии текущая жидкость вымывает слой коррозии, образовавшейся на металлической поверхности, тем самым ускоряя коррозию	Углеродистые и низколегированные стали. Неоднородности потока, которые образуются в отводах и изгибах труб, дроссельных отверстиях, в местах соединений КСК
Кавитация. В потоке жидкости давление может снижаться до давления насыщения. Образующиеся при этом пузырьки пара разрушаются при переходе в зону с более высоким давлением, вызывая локальные гидроудары, которые ускоряют эрозию	Все компоненты и материалы из металла, где давление может изменяться из-за высокой скорости потока или высокой температуры: клапаны, насосы, дроссели (сопла), внутренние элементы парогенераторов
Нитевидные кристаллы (вискеры). Представляют собой очень тонкие металлические монокристаллические нити, растущие из поверхности, покрытой цинком, оловом или серебром, вследствие индукционного процесса. Могут вызывать короткое замыкание в электрических цепях	Электрические кабели, радиотехнические компоненты, контактные клеммы
Щёлочно-агрегатная реакция. Определённый вид оксида кремния в заполнителе бетона растворяется в щелочной среде бетона, вызывая его расширение и, в конечном итоге, растрескивание	Бетонные конструкции, которые содержат определённые типы аморфных или слабо-кристаллизованных форм диоксида кремния или смеси оксида кремния и силикатных минералов

Схема управления ресурсом на стадии эксплуатации АС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



Заключение



- Основное внимание при разработке ВАБ должно уделяться ВАБ уровня 1, т.к. он является основой для всех других видов ВАБ
- Детальному анализу должна подлежать информация о частотах (вероятностях) исходных событий, параметрах надежности оборудования, включая информацию, специфическую для блока АС, и источниках этих данных
- ВАБ должен выполняться для всех эксплуатационных состояний АС, для всех источников радиоактивности, для всех исходных событий.
- Важное место при экспертизе результатов ВАБ должно уделяться оценке неопределенности, значимости и чувствительности
- Помимо оценки соответствия ВПБ энергоблока установленным требованиям анализу должны подвергаться наиболее значимые аварийные последовательности, минимальные сечения отказов, базисные события, вклады исходных событий, вклады отдельных систем
- Необходимо требовать, чтобы все программные средства, используемые при выполнении ВАБ, в том числе и для детерминистических оценок в поддержку ВАБ, были аттестованы установленным порядком.
- ВАБ должен использоваться для обоснования риск-ориентированных решений при проектировании, сооружении и эксплуатации АС и других ОИАЭ

Спасибо за внимание

Ершов Геннадий Алексеевич

Заместитель директора-начальник управления ТЭЭ АЭС, д.т.н., профессор

23.01.2025