



Эволюционное и инновационное развитие реакторных установок ВОДО-ВОДЯНОГО ТИПА

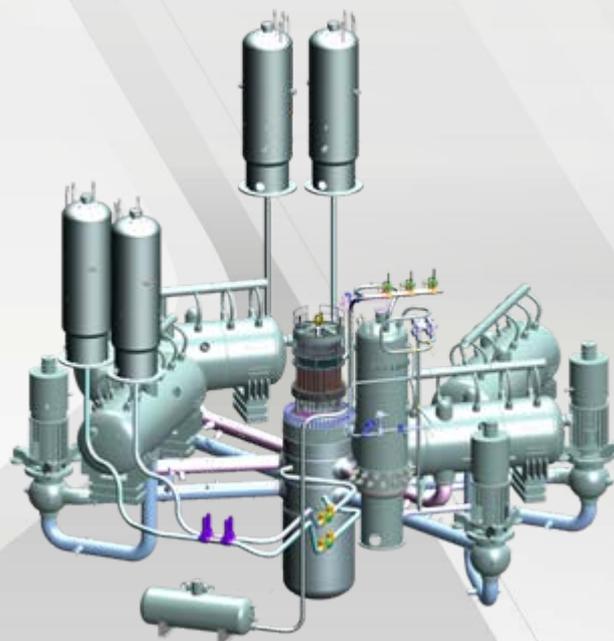
**Доклад директора – генерального конструктора
ОКБ «Гидропресс» С.Б. Рыжова**

2010

Пути развития РУ с ВВЭР

- ✓ **эволюционный** (ближайшая перспектива)
- ✓ **инновационный** (среднесрочная и далекая перспектива)

Основа для дальнейшего развития и совершенствования - РУ ВВЭР-1200 (РУ АЭС-2006).



Эволюционный путь развития

Эволюционное развитие РУ с ВВЭР предусматривает несколько направлений:

- ✓ **Модернизация ВВЭР-1200 и разработка новых реакторных установок;**
- ✓ **Оптимизацию комплекса систем безопасности;**
- ✓ **Усовершенствование характеристик активной зоны и топлива;**
- ✓ **Улучшение эксплуатационных характеристик энергоблока;**
- ✓ **Мероприятия по эволюционному развитию энергоблока с РУ ВВЭР.**

Эволюционный путь развития

Модернизация ВВЭР-1200 и разработка новых реакторных установок

- ✓ Уплотнение компоновки четырехпетлевой РУ ВВЭР-1200;
- ✓ Разработка двухпетлевой РУ ВВЭР-600 на базе оборудования и технологии ВВЭР-1200;
- ✓ Разработка двухпетлевой РУ ВВЭР-1200А с использованием конструкторского задела по ПГВ-1500;
- ✓ Разработка трехпетлевой РУ ВВЭР-1800 с использованием конструкторского задела по реактору ВВЭР-1500, а также оборудования петель РУ ВВЭР-1200А;
- ✓ информатизация жизненного цикла, внедрение датацентричных технологий, 3D-проектирования.

Эволюционный путь развития

Уплотнение компоновки четырехпетлевой РУ ВВЭР-1200

Задача – уменьшение диаметра гермооболочки при сохранении проектных основ РУ. Перечень изменений конструкции оборудования по сравнению с АЭС-2006 минимизирован:

- ✓ Угол между патрубками Ду850 на корпусе реактора 70° (АЭС-2006 - 55°);
- ✓ Трассировка ниток ГЦТ новая, с применением колен с угломгиба 35° ;
- ✓ Парогенераторы ПГВ-1000МКП изготавливаются в двух зеркальных исполнениях;
- ✓ Места крепления ГА на ПГ разнесены вверх и вниз от продольной оси корпуса ПГ;
- ✓ Количество горизонтальных рядов блоков ТЭН КД увеличено с 2-х до 4-х в связи с невозможностью монтажа-демонтажа блоков ТЭН в двух секторах по 85° в плане;
- ✓ Люк-лаз емкости САОЗ (ГЕ-1) размещен на боковой цилиндрической поверхности емкости.

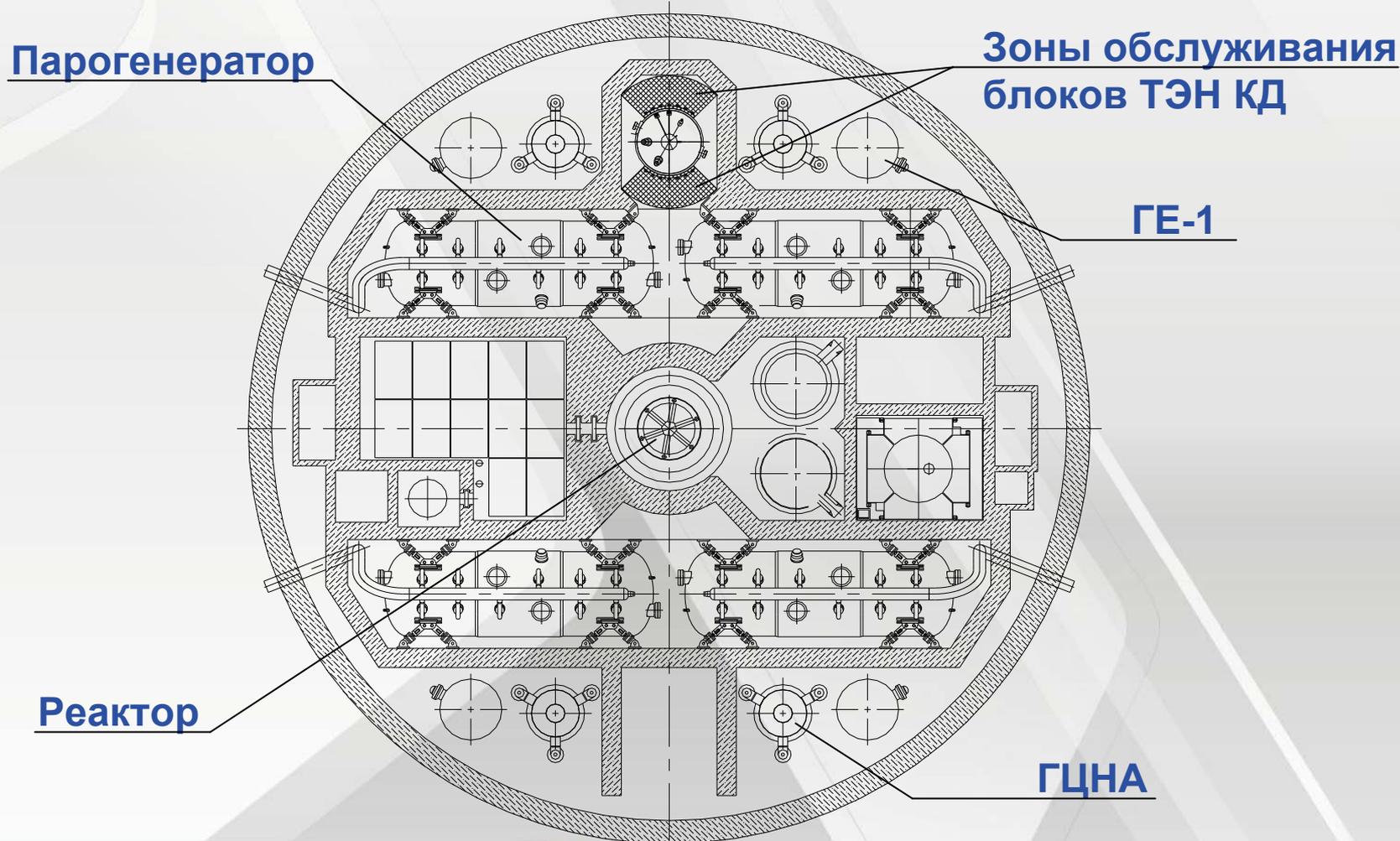
Эволюционный путь развития

Уплотнение компоновки четырехпетлевой РУ ВВЭР-1200



Эволюционный путь развития

Уплотнение компоновки четырехпетлевой РУ ВВЭР-1200



Эволюционный путь развития

Разработка РУ средней мощности ВВЭР-600

Концепция проекта:

- ✓ **2-х-петлевая РУ;**
- ✓ Разработка на базе ВВЭР-1200 (ЛАЭС-2), в том числе путем **прямого заимствования** оборудования; **референтность** основных конструкторских и проектных решений по РУ (что особенно важно при работе с зарубежным заказчиком);
- ✓ Обеспечение безопасности не ниже требований к АЭС поколения «**3+**»;
- ✓ Проектный срок службы **60 лет;**
- ✓ **Удержание расплава** активной зоны в корпусе реактора в ходе тяжелой запроектной аварии и, соответственно, отказ от применения внереакторного устройства локализации расплава;
- ✓ Максимальное использование результатов **выполненных НИОКР** по проектам РУ с ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200;
- ✓ Постановка оборудования на производство не требует значительных затрат.

Эволюционный путь развития

Разработка РУ средней мощности ВВЭР-600

Преимущества **2-х-петлевой** компоновки перед 4-х-петлевой:

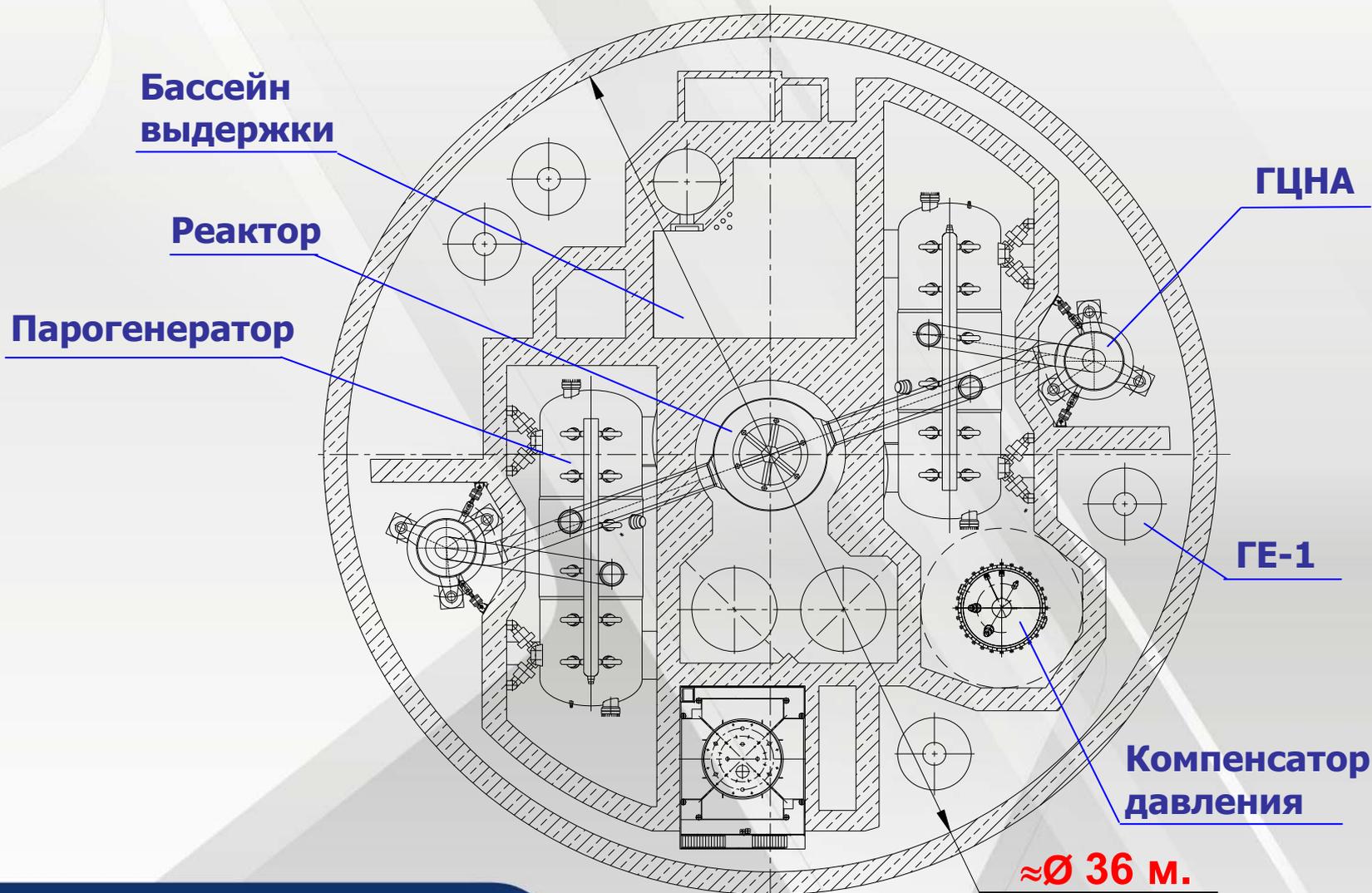
- ✓ Сокращение удельной металлоемкости РУ;
- ✓ Сокращение сроков монтажа оборудования;
- ✓ Уменьшение внутреннего диаметра гермооболочки;
- ✓ Сокращение эксплуатационных затрат **на 20÷25%** на контроль, обслуживание и ремонт оборудования в процессе эксплуатации;

Максимальное заимствование основного оборудования из проекта ВВЭР-1200 позволяет сократить сроки разработки проекта РУ и упростить постановку оборудования на производство.

Готовый **проект турбогенераторной установки** заимствуется из проекта АЭС с ВВЭР-640.

Эволюционный путь развития

Разработка РУ средней мощности ВВЭР-600



Эволюционный путь развития

Разработка РУ средней мощности ВВЭР-600

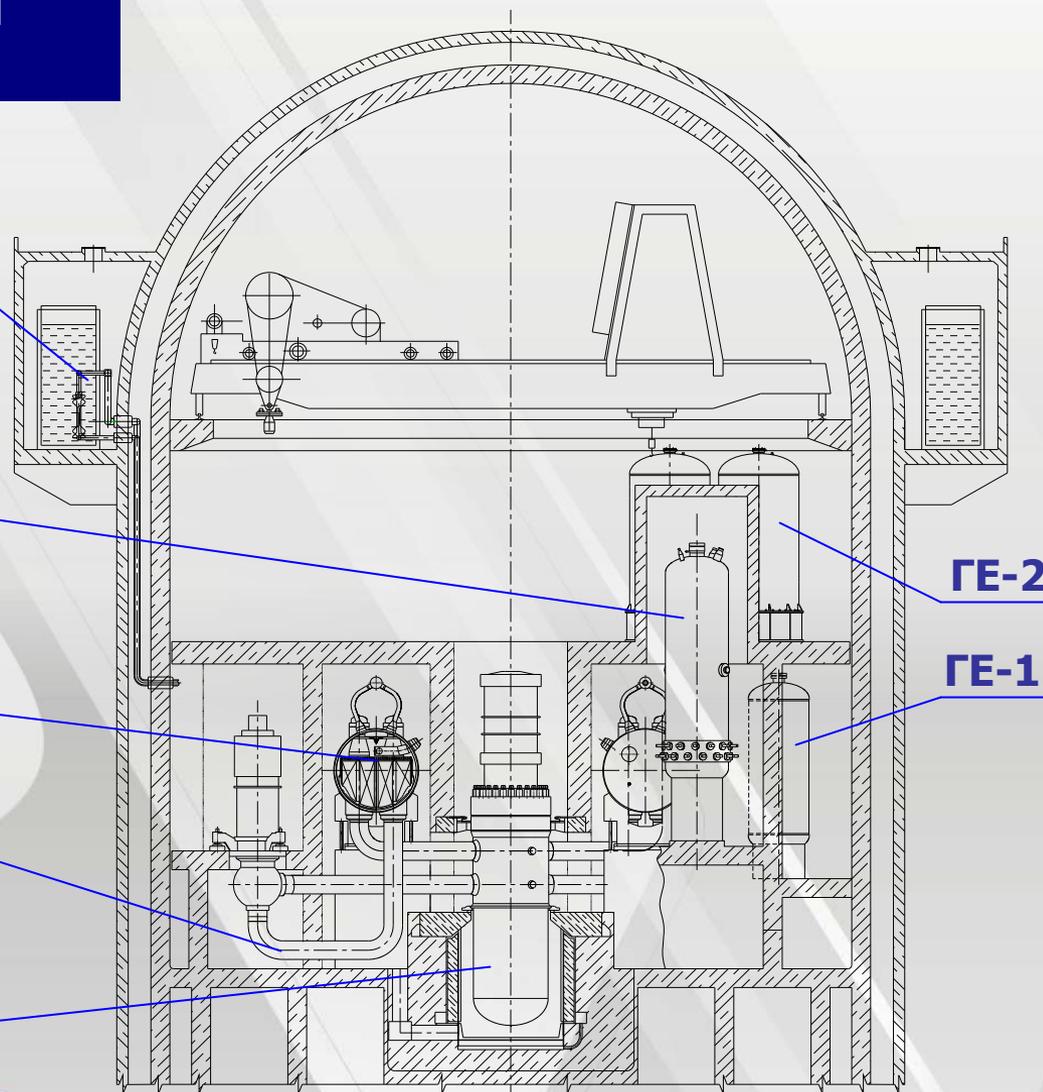
Система пассивного отвода тепла

Компенсатор давления

Парогенератор

Главный циркуляционный трубопровод

Реактор



ГЕ-2

ГЕ-1

Эволюционный путь развития

Разработка РУ ВВЭР-1200А

Концепция проекта:

- ✓ **2-х-петлевая РУ;**
- ✓ Отказ от требования обеспечения **транспортабельности** оборудования РУ по железной дороге;
- ✓ Реактор ВВЭР-1200 **с увеличенным диаметром** патрубков ГЦТ;
- ✓ Парогенератор на базе ПГВ-1500 (с увеличенной длиной и площадью теплообменной поверхности);
- ✓ повышение рабочих и расчетных параметров второго контура ($P_{\text{раб. II конт.}} = 7,35 \text{ МПа}$; $P_{\text{расч. II конт.}} = 9,5 \text{ МПа}$);
- ✓ ГЦНА – новая разработка;
- ✓ ГЦТ – труба $\varnothing 1130 \times 70$ (Ду1000) по действующим ТУ;
- ✓ Обеспечение безопасности не ниже требований к АЭС поколения «**3+**»;
- ✓ Проектный срок службы **60 лет.**

Эволюционный путь развития

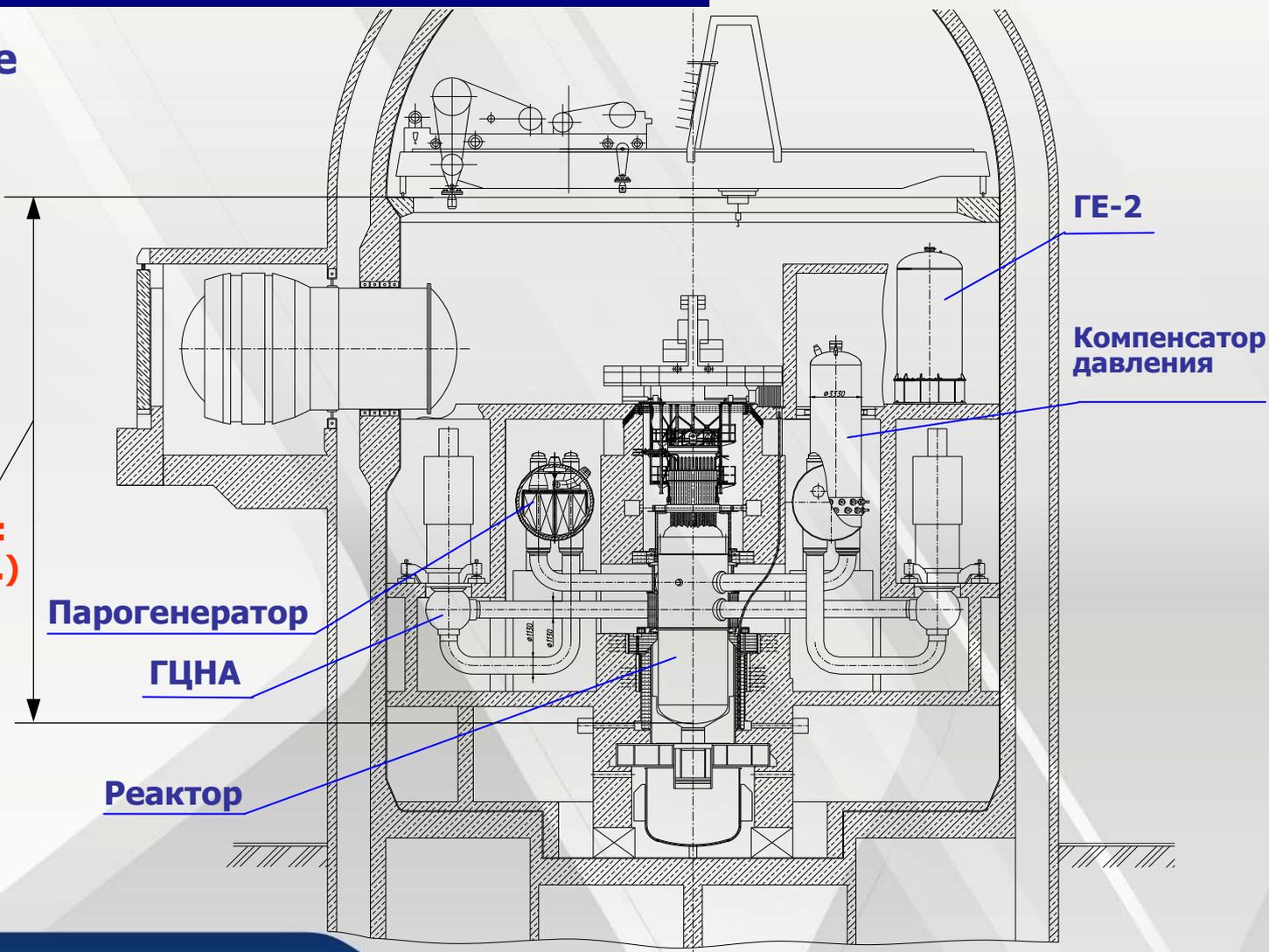
Разработка РУ ВВЭР-1200А

Компоновочные
решения.

Вертикальный
разрез здания
реактора

35,9 м.

(для сравнения:
АР-1000 – 47 м.)



Эволюционный путь развития

Разработка РУ ВВЭР-1200А

Компоновочные
решения.

План на отметке
парогенераторов

Компенсатор
давления

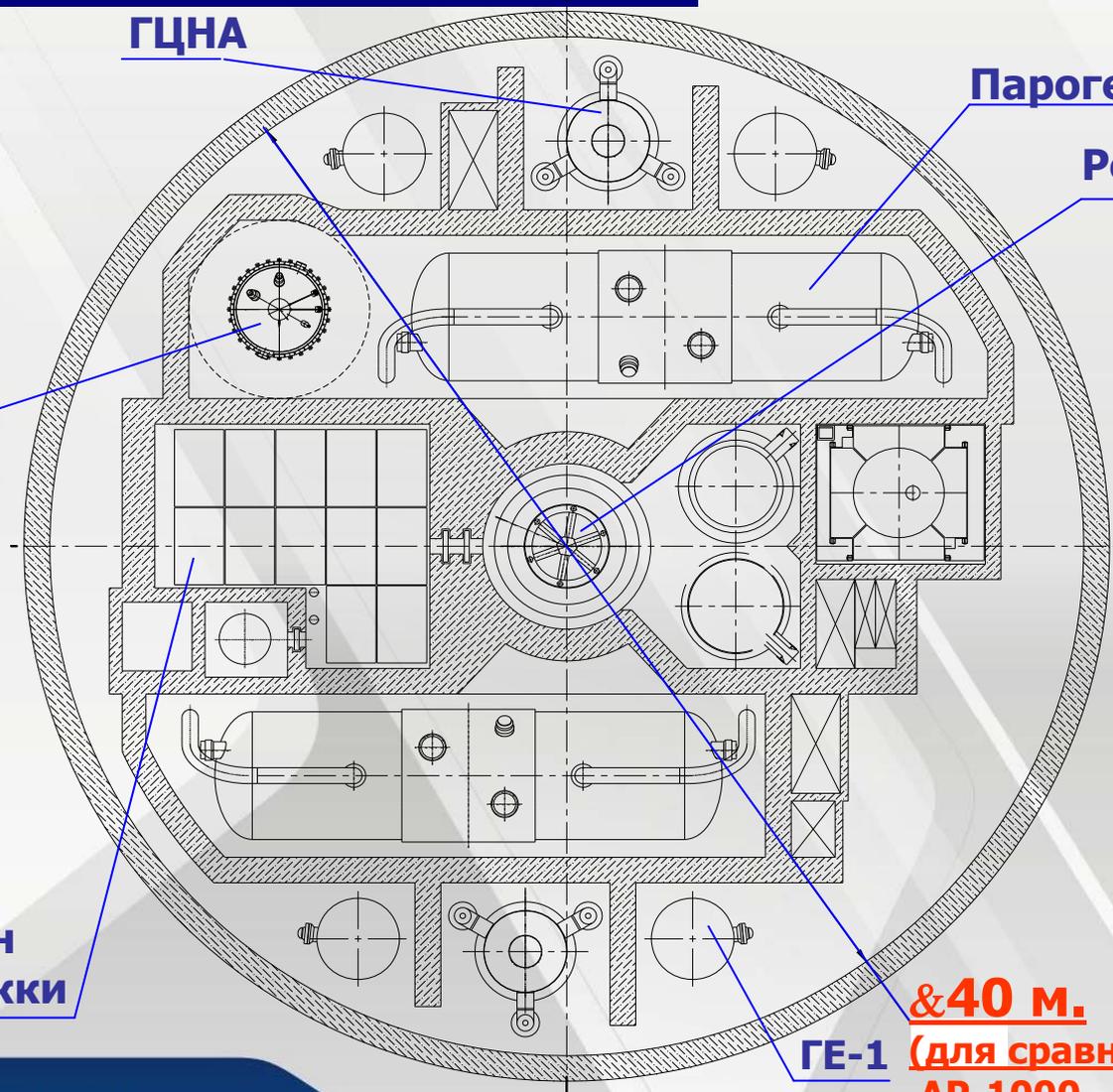
Парогенератор:
Диаметр 5,2 м.
Длина 20 м.
Масса ≈ 790 т.

Бассейн
выдержки

ГЦНА

Парогенератор

Реактор



&40 м.

**ГЕ-1 (для сравнения:
АР-1000 – 39,6 м.)**

Эволюционный путь развития

Разработка РУ ВВЭР-1200А

Повышение рабочего и расчетного давления второго контура обеспечивает:

- ✓ Повышенный КПД энергоблока;
- ✓ Расширенный диапазон для **оптимизации уставок** по давлению второго контура;
- ✓ Расширенный диапазон давления второго контура, доступный для изменения мощности (**маневрирования**) за счет использования температурного эффекта реактивности;
- ✓ Возможности для оптимизации алгоритма преодоления **течи теплоносителя из первого контура во второй** в сторону снижения требований к оборудованию СБ и снижения выбросов.
- ✓ Экономии **ресурса** приводов СУЗ, оборудования системы подпитки, ГЦТ при работе в маневренных режимах;
- ✓ Снижение количества **ЖРО** (в связи с отсутствием или снижением необходимости перекомпенсации положения ОР СУЗ в режимах маневрирования).

Эволюционный путь развития

Разработка РУ ВВЭР-1200А

Сравнение масс оборудования первого контура
ВВЭР-1200 и ВВЭР-1200А

	ВВЭР-1200	ВВЭР-1200А
Реактор	940 т.	940 т.
ГЦТ	252 т.	145 т.
Парогенераторы	4 3450 т.	2 3790 т.
Компенсатор давления	215 т.	215 т.
ГЦНА	4 3139 т.	2 3200 т.
Суммарная масса оборудования 1-го контура	3763 т.	3280 т.
Удельная масса оборудования 1-го контура, т./МВт(тепл.)	1,18	1,03

Эволюционный путь развития

Разработка РУ ВВЭР-1800

Концепция проекта:

- ✓ **3-х-петлевая РУ;**
- ✓ **Реактор ВВЭР-1800 на базе ВВЭР-1500 (с увеличенной мощностью);**
- ✓ **Оборудование петель циркуляции (ПГ, ГЦНА, ГЦТ) будет заимствовано из проекта ВВЭР-1200А;**
- ✓ **Обеспечение безопасности не ниже требований к АЭС поколения «3+»;**
- ✓ **Проектный срок службы 60 лет.**

Эволюционный путь развития

Разработка РУ ВВЭР-1800

Компоновочные
решения. Вариант 1

План на отметке
парогенераторов

Компенсатор
давления

Бассейн
выдержки

ГЦНА

Парогенератор

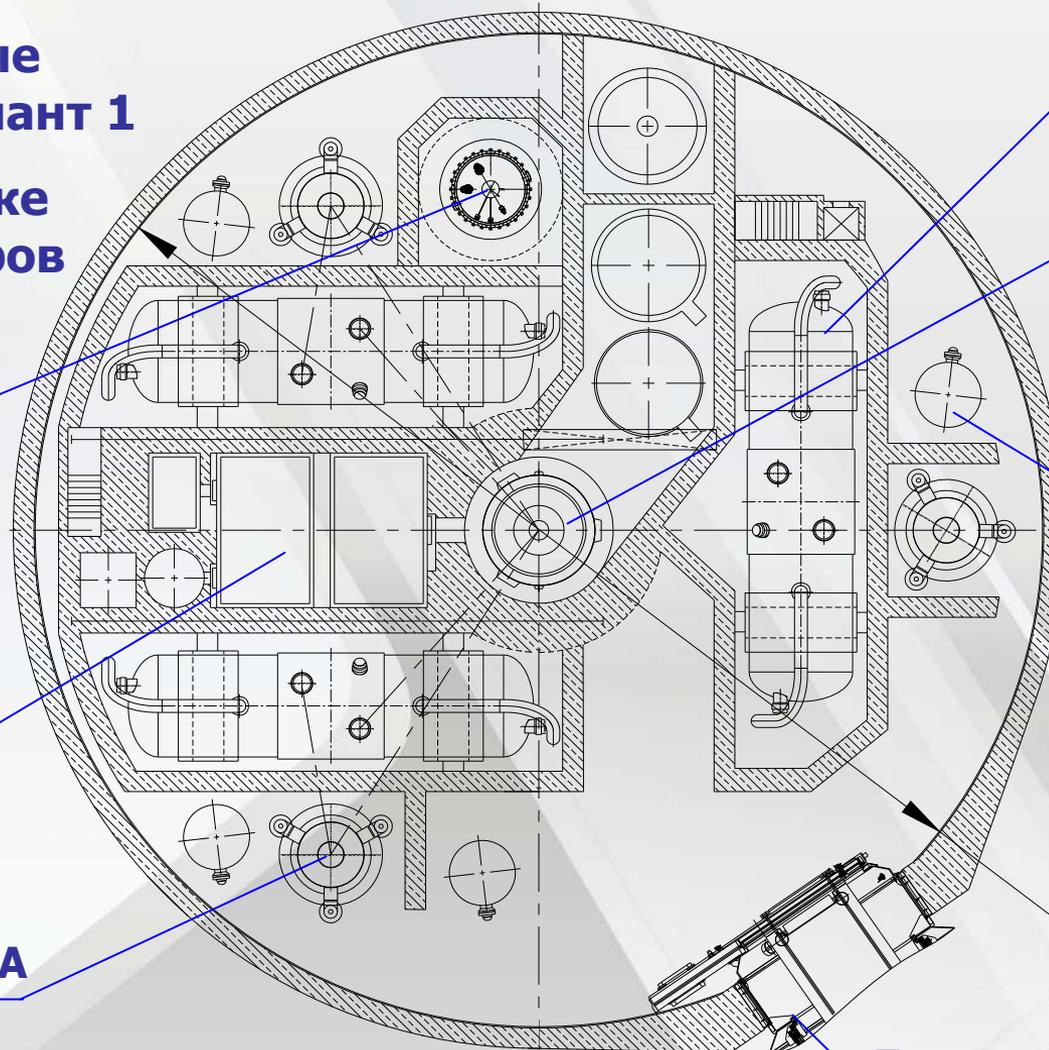
Реактор

ГЕ-1

&49 м.

(для сравнения:
EPR-1600 – 46 м.)

Транспортный шлюз



Эволюционный путь развития

Разработка РУ ВВЭР-1800

Компоновочные
решения. Вариант 2

План на отметке
парогенераторов

Компенсатор
давления

Бассейн
выдержки

ГЦНА

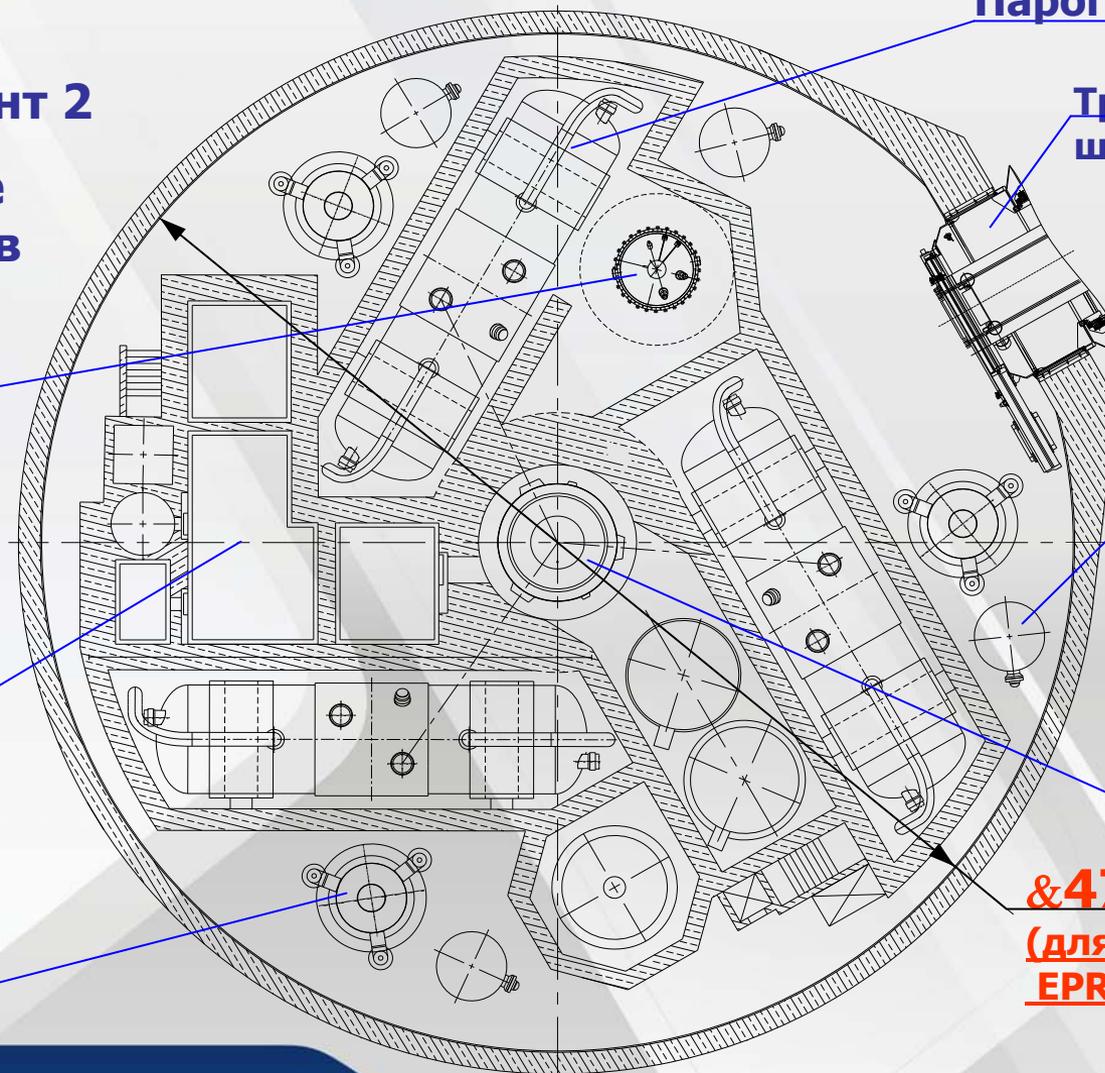
Парогенератор

Транспортный
шлюз

ГЕ-1

Реактор

&47 м.
**(для сравнения:
EPR-1600 – 46 м.)**

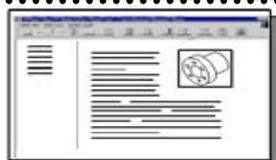


Эволюционный путь развития

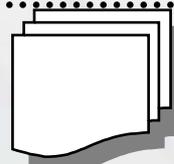
Информатизация жизненного цикла, внедрение датацентричных технологий, 3D-проектирования



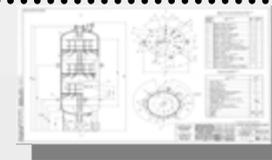
Анимированные инструкции



Технические публикации



Пояснительные записки



Чертежи

➤ Единая модель данных РУ

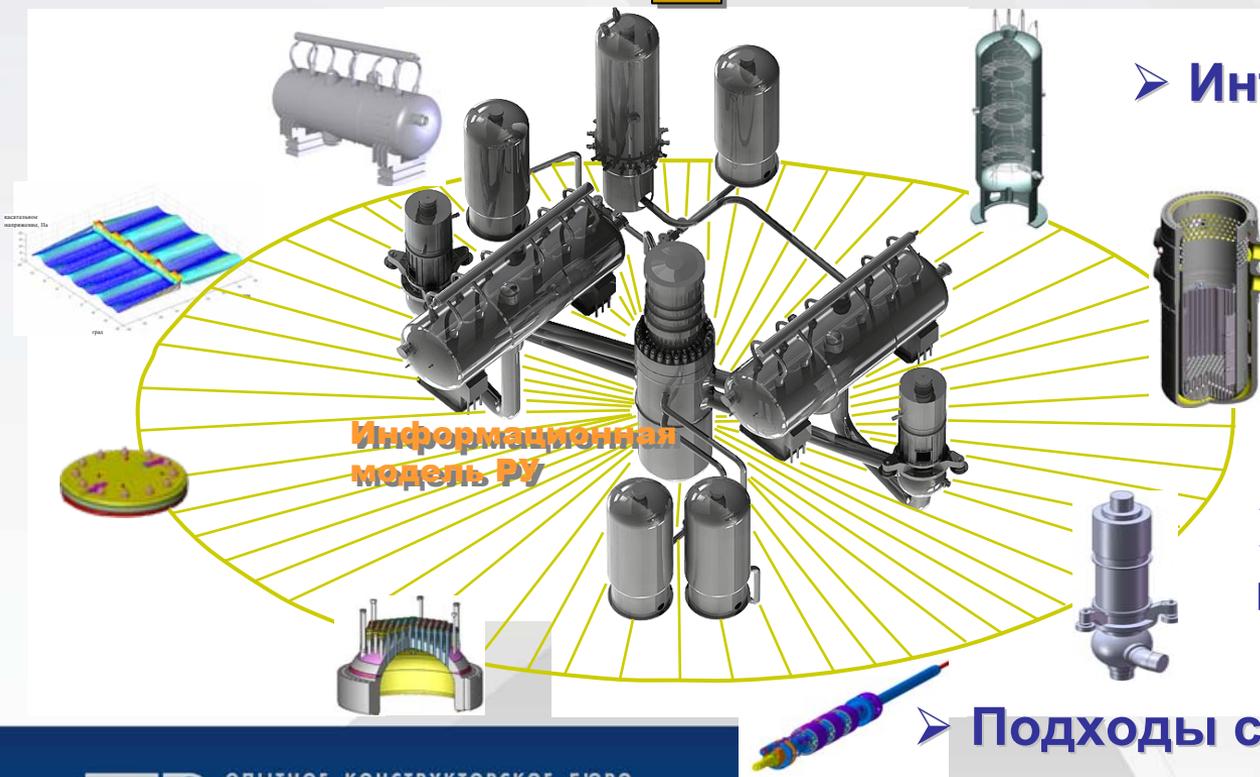


➤ Интеграция данных УЖЦ

➤ Качественное проектное решение

➤ Документация из модели данных РУ

➤ Подходы системной инженерии



Эволюционный путь развития

Оптимизация комплекса систем безопасности

Совершенствование систем безопасности РУ с ВВЭР предусматривает:

- ✓ Построение комплекса систем безопасности с использованием оптимального сочетания **активных и пассивных** систем;
- ✓ Обоснование **концепции удержания расплава** активной зоны в корпусе реактора при тяжелой запроектной аварии (для ВВЭР-600 и, в перспективе, для ВВЭР-1200)

Эволюционный путь развития

Оптимизация комплекса систем безопасности

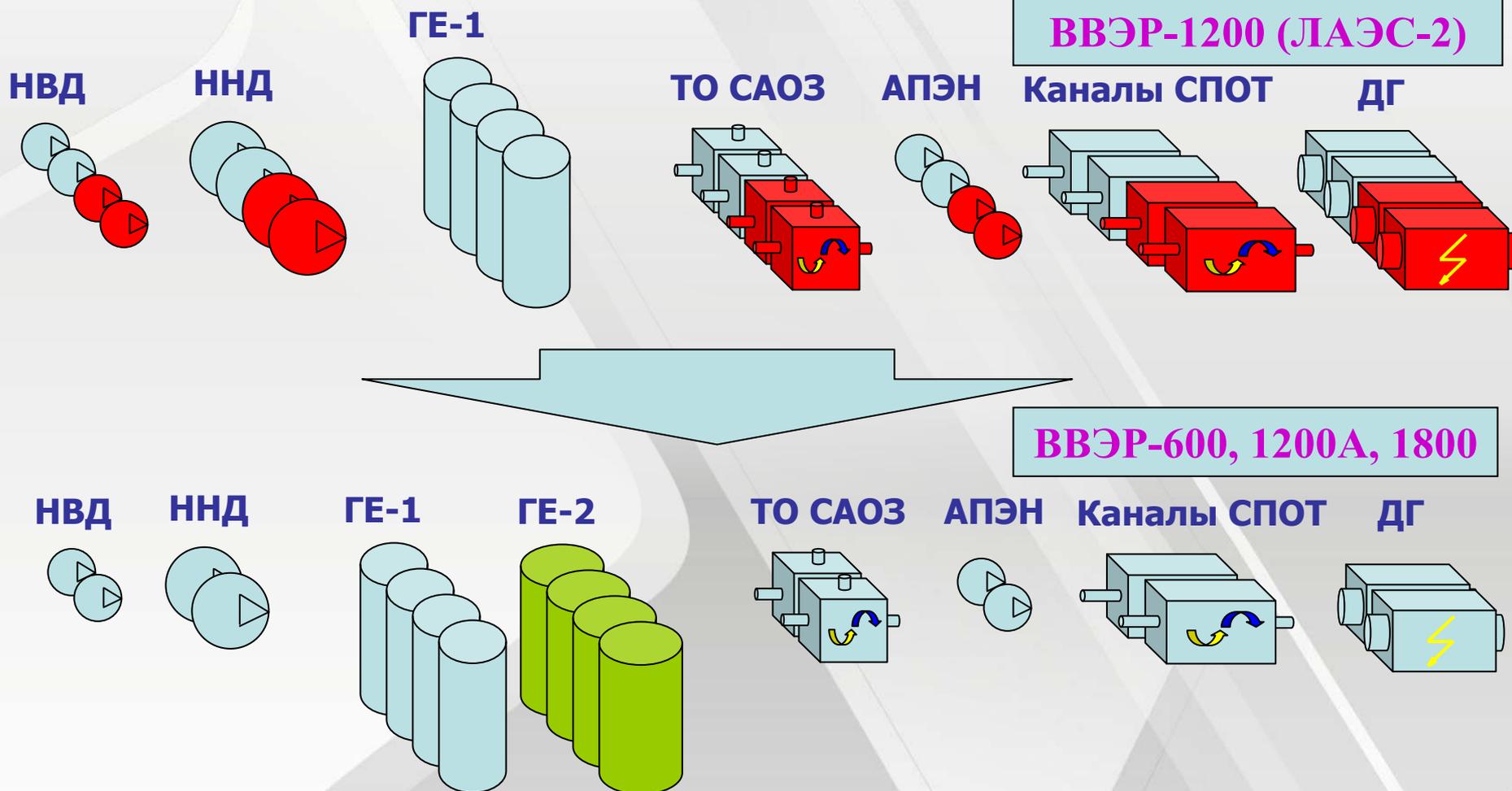
Цель - сокращение капитальных и эксплуатационных затрат на оборудование активных систем безопасности (СБ). Представляется целесообразным переход от 4-х-канальной к **2-х-канальной** структуре активных систем безопасности с отказом от полного внутреннего резервирования активных каналов (за счет повышения роли пассивных систем). При этом необходимо обеспечить:

- ✓ Возможность преодоления проектных аварий пассивными СБ;
- ✓ исключение зависимых от исходного события одновременных отказов каналов пассивных и активных систем;
- ✓ резервирование 2-х-канальной системы аварийного электропитания при выводе в ремонт общестанционным дизель-генератором.

Также следует рассмотреть возможности разработки общестанционных обеспечивающих систем безопасности.

Эволюционный путь развития

Результаты оптимизация комплекса систем безопасности



Эволюционный путь развития

Концепция удержания расплава активной зоны в корпусе реактора

Цели обоснования удержания расплава в корпусе реактора:

- ✓ Отказ от использования в проекте подреакторного устройства локализации расплава;
- ✓ Уменьшение высоты здания реактора (~ на 8 м.);
- ✓ Сокращение за счет этого капитальных затрат на сооружение энергоблока.

Эволюционный путь развития

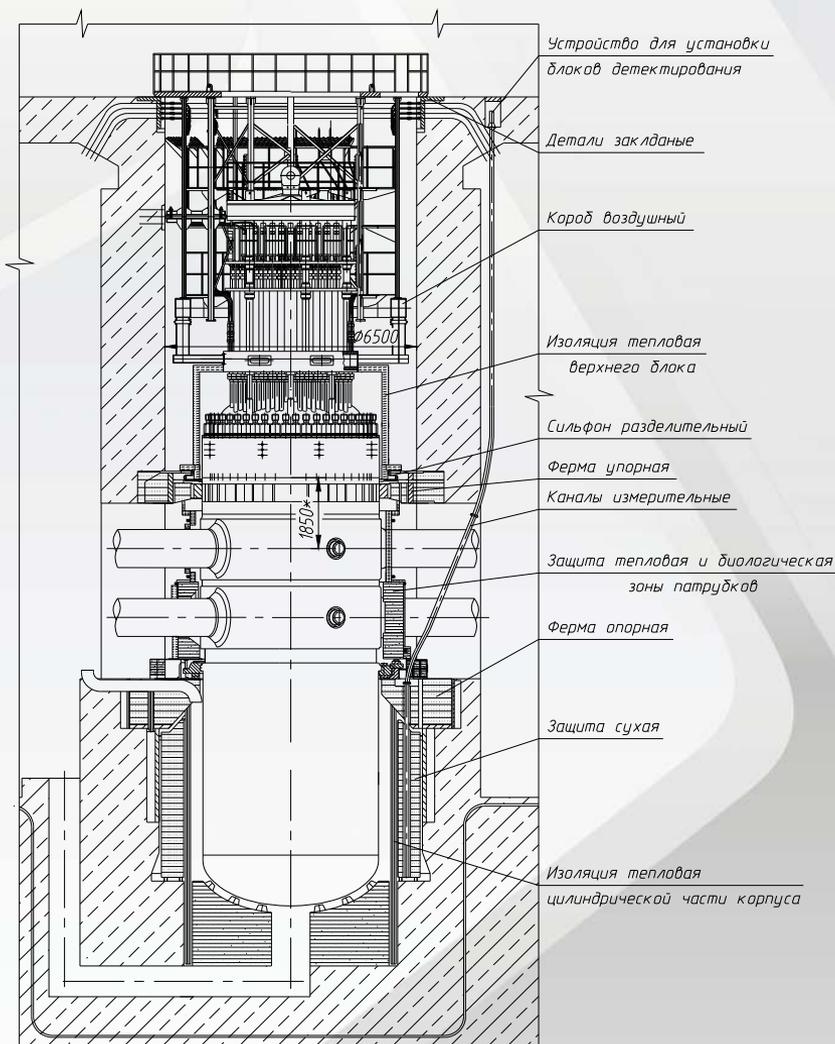
Концепция удержания расплава активной зоны в корпусе реактора

Допущения, используемые при обосновании удержания:

- ✓ При моделировании процесса, приводящего к плавлению активной зоны, **не постулируются отказы каналов пассивных систем безопасности.**
- ✓ Длительность отвода остаточных тепловыделений с использованием пассивных систем безопасности может составлять **от 24 до 72 часов** в зависимости от запаса воды в емкостях системы пассивного залива активной зоны.
- ✓ При моделировании механизма деградации постулируется **полное расплавление (100%)** активной зоны.

Эволюционный путь развития

Концепция удержания расплава активной зоны в корпусе реактора



Проектные решения:

- ✓ Нижняя часть корпуса размещена в прямке шахты бетонной;
- ✓ При аварии с течью 1-го контура прямок шахты заполняется водой; при этом нижняя часть корпуса омывается водой аварийного бассейна;
- ✓ Для отвода пара предусмотрены каналы в ферме опорной;
- ✓ Для подвода воды в прямок с пола боксов ПГ предусмотрены специальные каналы.

Эволюционный путь развития

Усовершенствование активной зоны и топлива

Усовершенствование характеристик активной зоны и топлива предусматривает:

- ✓ внедрение спектрального регулирования;
- ✓ применение тесных решеток и достижение $K_B = 0,7 \div 0,8$;
- ✓ совершенствование ТВС с интенсификаторами теплообмена.

Эволюционный путь развития

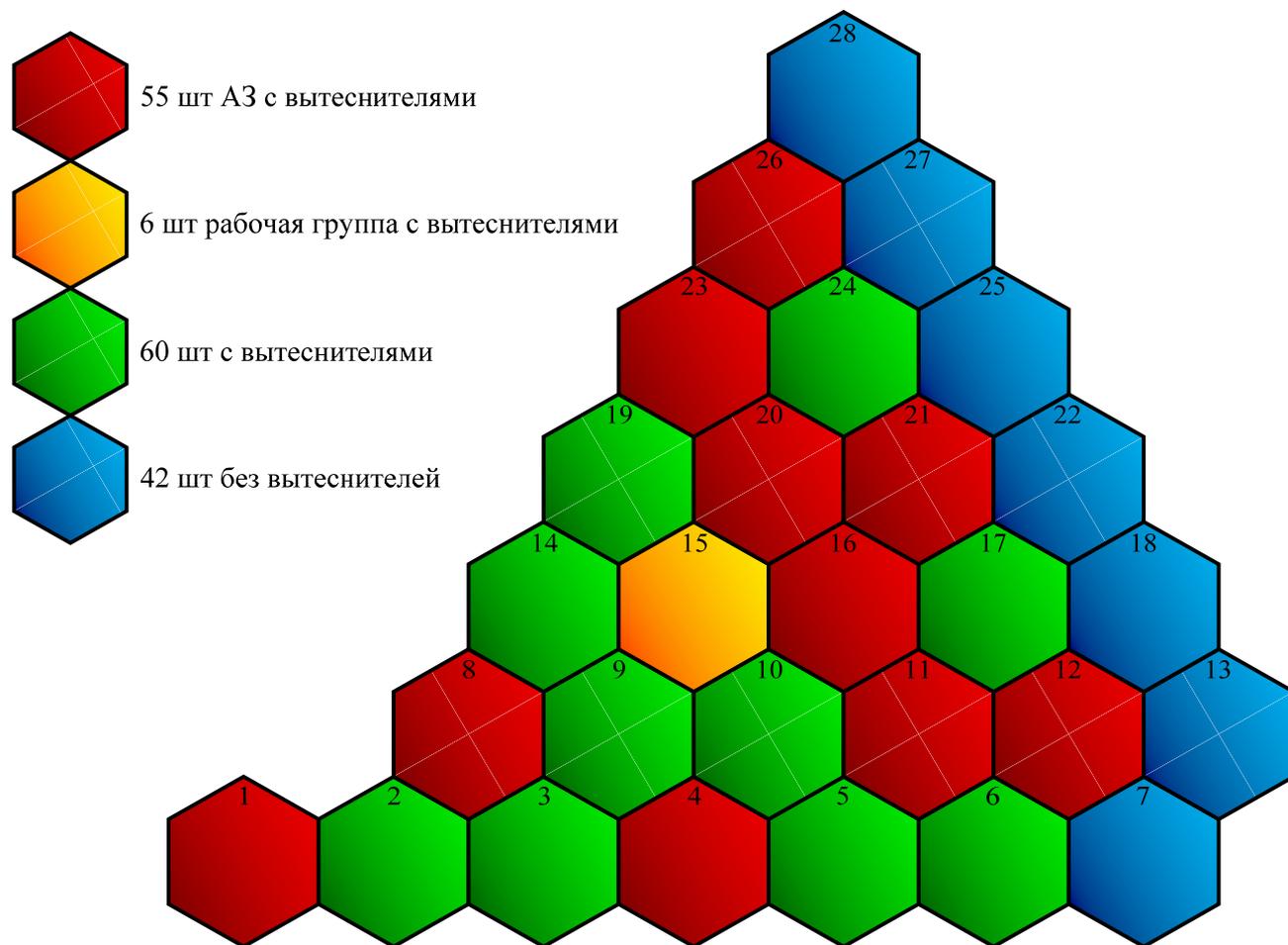
Внедрение спектрального регулирования

Активная зона со спектральным регулированием (вариант 163 ТВС)

Ожидаемые характеристики топливного цикла:

✓ **КВ около 0,7 - 0,8**
(0,4 в АЭС-2006)

✓ **расход природного урана около 130 т/ГВтэ**
(197 т/ГВтэ в АЭС-2006)

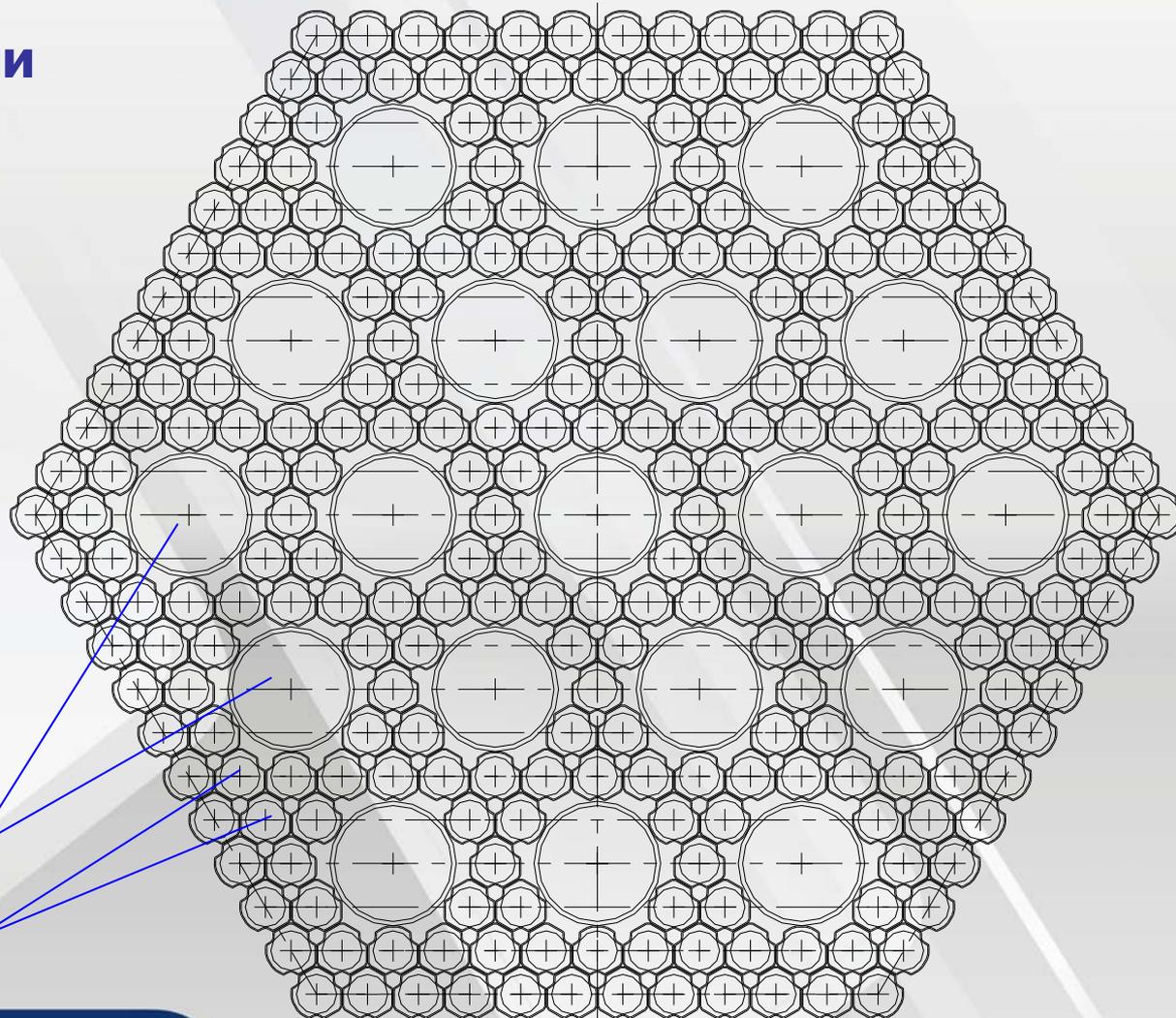


Эволюционный путь развития

Внедрение спектрального регулирования

Вариант конструкции ТВС с каналами вытеснителей.

При извлечении вытеснителей каналы заполняются водой, спектр нейтронов становится мягче.

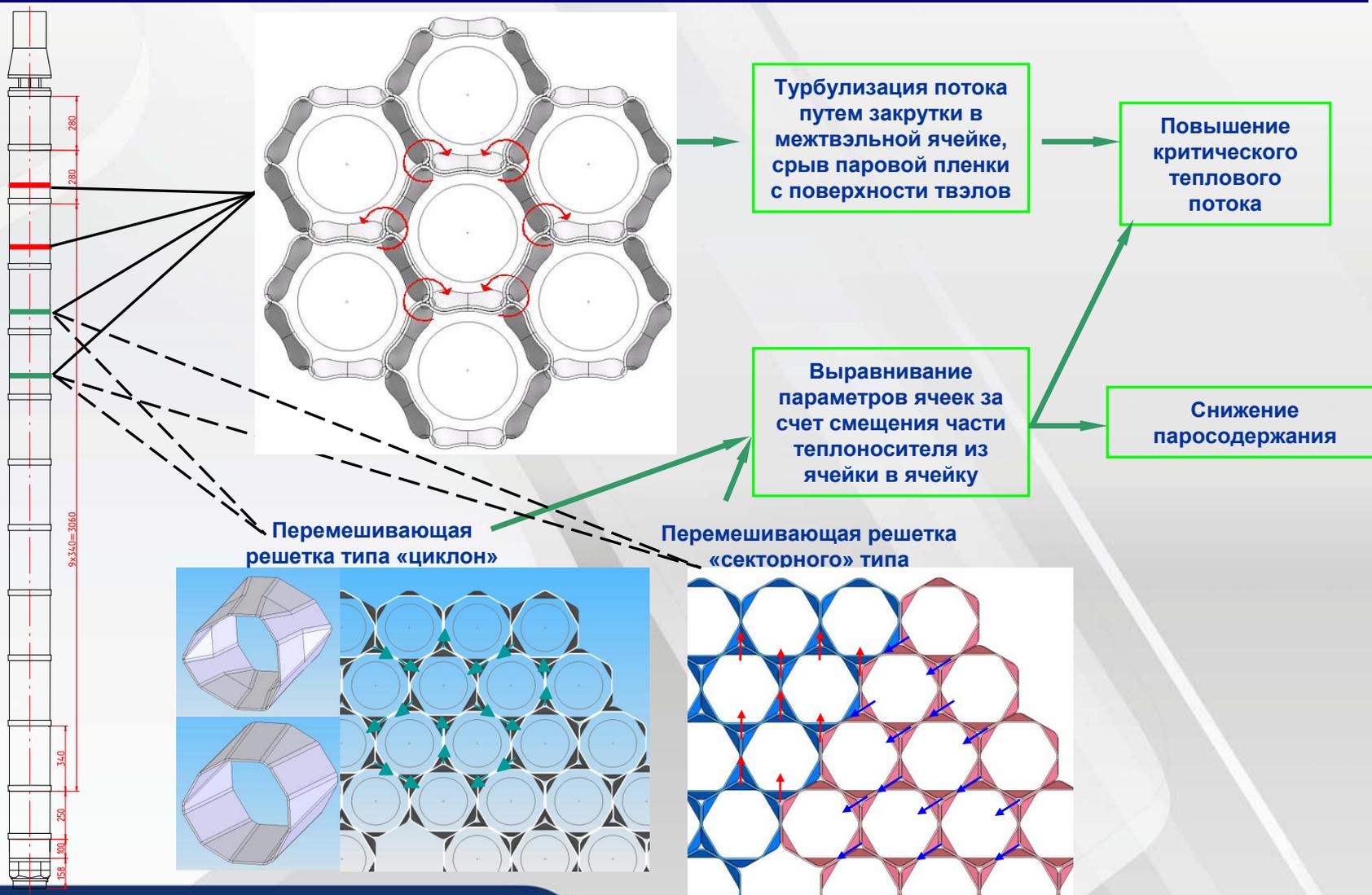


Каналы вытеснителей

ТВЭЛы

Эволюционный путь развития

Совершенствование ТВС с интенсификаторами теплообмена



Эволюционный путь развития

Улучшение эксплуатационных характеристик энергоблока

- ✓ обоснование работы РУ в маневренных режимах;
- ✓ обеспечение обслуживания и вывоза топлива при работе РУ на мощности.

Мероприятия по эволюционному развитию проектов энергоблока с РУ ВВЭР

- ✓ совершенствование проектно-конструкторских решений по РУ, технологий строительства и монтажа с целью сокращения сроков возведения АЭС;
- ✓ информатизация жизненного цикла, внедрение 6D-проектирования;
- ✓ обеспечение применимости в проекте энергоблока турбогенераторов любой конфигурации.

Инновационный путь развития

Инновационный путь развития технологии ВВЭР - разработка **РУ IV-го поколения с легководным теплоносителем сверхкритических параметров** с корпусным реактором ВВЭР-СКД и быстро-резонансным спектром нейтронов.

Ожидаемые преимущества АЭС с реакторами СКД:

- ✓ снижение **капитальных затрат**;
- ✓ применение **серийного оборудования** машинного зала из тепловой энергетики (турбины, подогреватели и т.д.);
- ✓ сокращение **сроков строительства**;
- ✓ высокий коэффициент полезного действия (**41-43 %**);
- ✓ высокий **коэффициент воспроизводства** или конверсии топлива (около 1), за счет более жесткого спектра нейтронов;
- ✓ низкий **расход природного урана**.

Инновационный путь развития

Разработка РУ ВВЭР-СКД

Мировые тенденции

- ✓ РУ с водой **сверхкритического давления (СКД)** является одним из шести проектов Международного форума **Поколение-4 (GIF-4)**.
- ✓ ЕС, Япония, Канада, США, Китай, Южная Корея ведут работы по созданию подобных реакторов.
- ✓ Во всем мире выполняется большой объем НИОКР по РУ с водой СКД.

Инновационный путь развития

Разработка РУ ВВЭР-СКД

Варианты ВВЭР-СКД:

- ✓ Одноконтурный ВВЭР-СКД;
- ✓ Двухконтурный интегральный ВВЭР-СКДИ;
- ✓ Двухконтурный петлевой ВВЭР-СКДП.

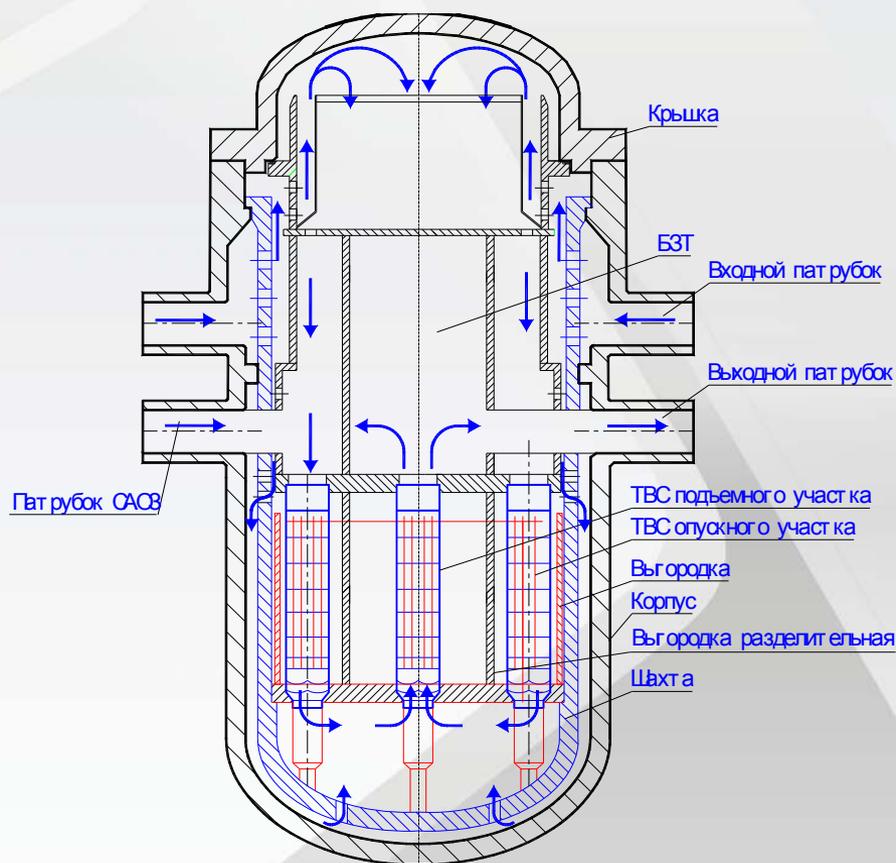
Этапы разработки РУ ВВЭР-СКД:

- ✓ Выполнение **НИОКР** по конструкционным материалам;
- ✓ Разработка, аттестация, верификация **программного обеспечения**;
- ✓ Изучение переноса активности и обоснование предпочтительной **тепловой схемы** (одноконтурная или двухконтурная);
- ✓ Разработка **проекта РУ** и энергоблока;
- ✓ **Сооружение** опытно-демонстрационного энергоблока.

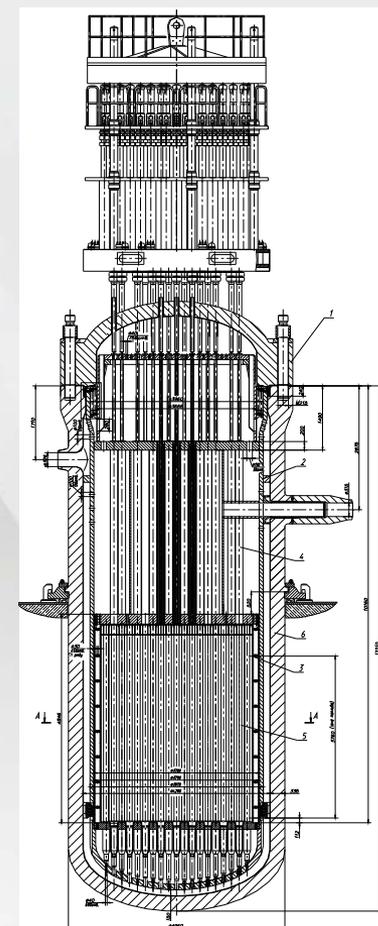
Инновационный путь развития

Реактор ВВЭР-СКД с двухзаходной циркуляцией через активную зону для одноконтурной ЯЭУ

Схема циркуляции в реакторе



Конструкция реактора



Выводы

Технология ВВЭР обладает значительным потенциалом развития, как эволюционного, так и инновационного.

Потенциал эволюционного пути:

- ✓ Создание линейки мощности;
- ✓ Повышение удельных экономических характеристик РУ и АЭС;
- ✓ Сокращение расхода природного урана;
- ✓ Включение ВВЭР в структуру ЗЯТЦ (применение МОКС-топлива, повышение КВ);
- ✓ Информатизация жизненного цикла, внедрение датацентричных технологий, 3D-проектирования.

Потенциал инновационного пути:

Разработка РУ IV-го поколения ВВЭР-СКД.