



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»



НИЦ «Курчатовский институт»

Перспективные проекты реакторных установок ВВЭР

Беркович В.Я.

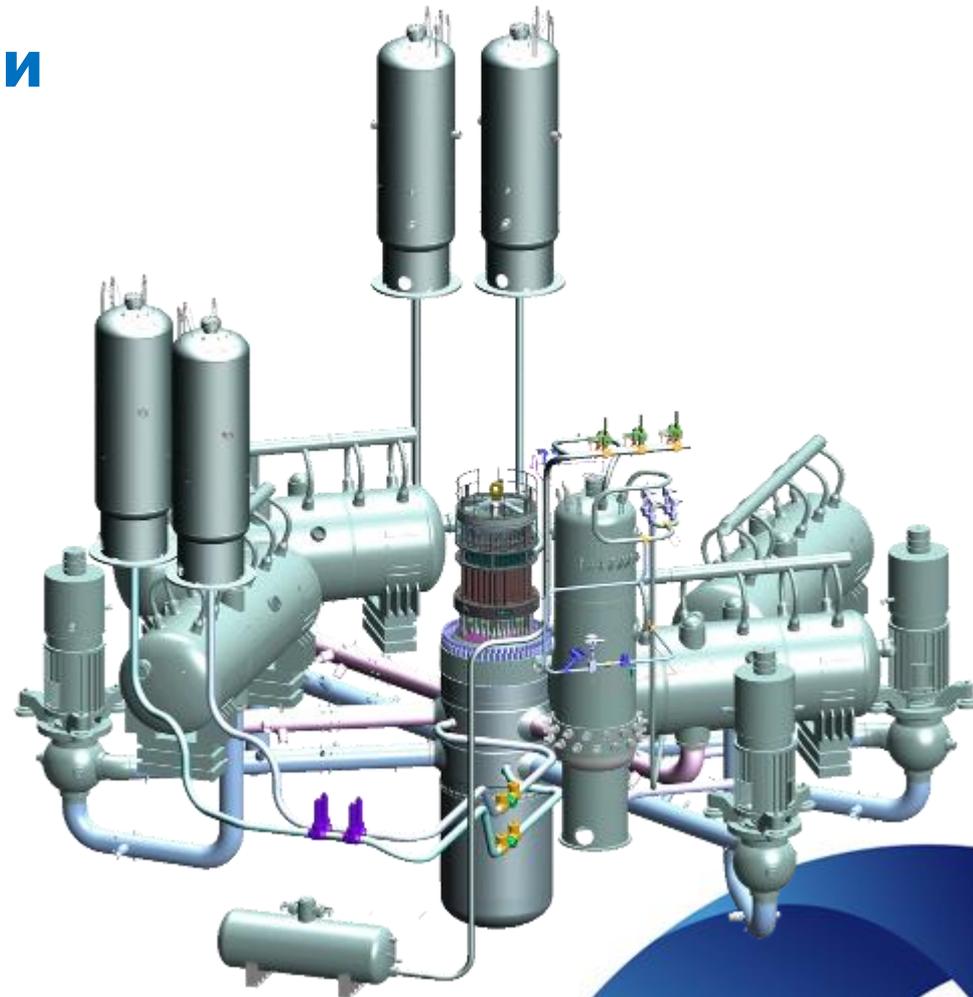
Семченков Ю.М.

Восьмая международная научно-техническая конференция «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики»

МНТК-2012

г.Москва, 23-25 мая 2012 г.

Основой для эволюционного развития и совершенствования РУ ВВЭР, является проект **ВВЭР-1200** для **АЭС-2006**, которая сооружается в настоящее время на площадках НВАЭС-2 и ЛАЭС-2.



Новые проекты

- ✓ 4-петлевая РУ **ВВЭР ТОИ**;
- ✓ 3-петлевая РУ **ВВЭР-900 (1000)** на базе оборудования и технологии ВВЭР-1200 (1300);
- ✓ 2-петлевая РУ **ВВЭР-600 (650, 700)** на базе оборудования и технологии ВВЭР-1200 (1300);
- ✓ 2-петлевая РУ **ВВЭР-1200А** с использованием конструкторского задела по ПГВ-1500;
- ✓ 3-петлевая РУ **ВВЭР-1800** с использованием конструкторского задела по ВВЭР-1500 и ВВЭР-1200А;
- ✓ Эволюционный вариант **СУПЕР-ВВЭР** со спектральным регулированием (экономия природного урана до 30%);
- ✓ Инновационный вариант **СУПЕР-ВВЭР** со сверхкритическими параметрами пара (**ВВЭР-СКД**) для работы в структуре ЗЯТЦ (коэффициент воспроизводства топлива ~ 1).

Т

ИПОВОЙ:

- Референтность
- Унификация
- Лицензирование

О

ПТИМИЗИРОВАННЫЙ:

- Стоимость и сроки сооружения, удельные показатели АЭС
- Уровень безопасности
- Эксплуатационные показатели

И

НФОРМАТИЗИРОВАННЫЙ:

Новые технологии управления информацией жизненного цикла АЭС

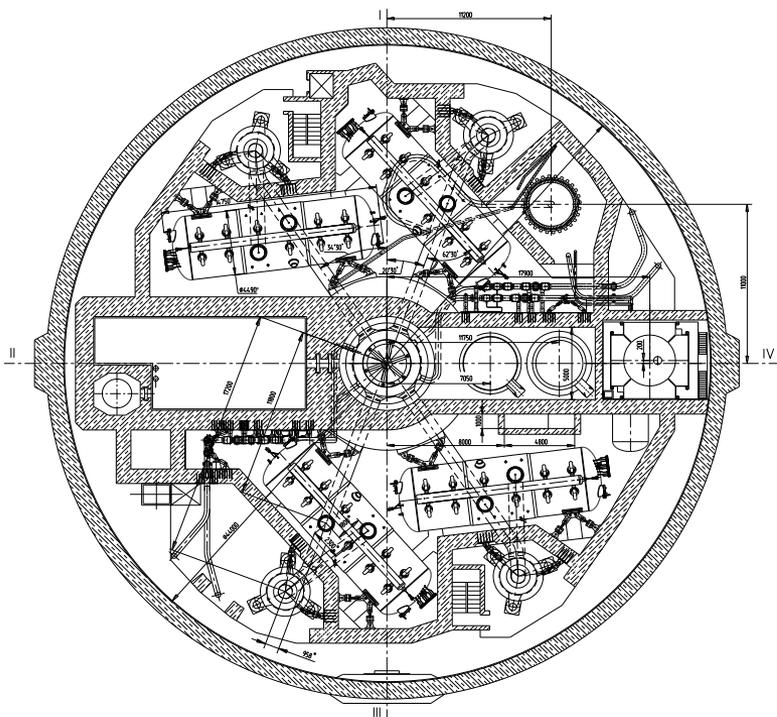
Оптимизация технологии ВВЭР

Основные параметры РУ

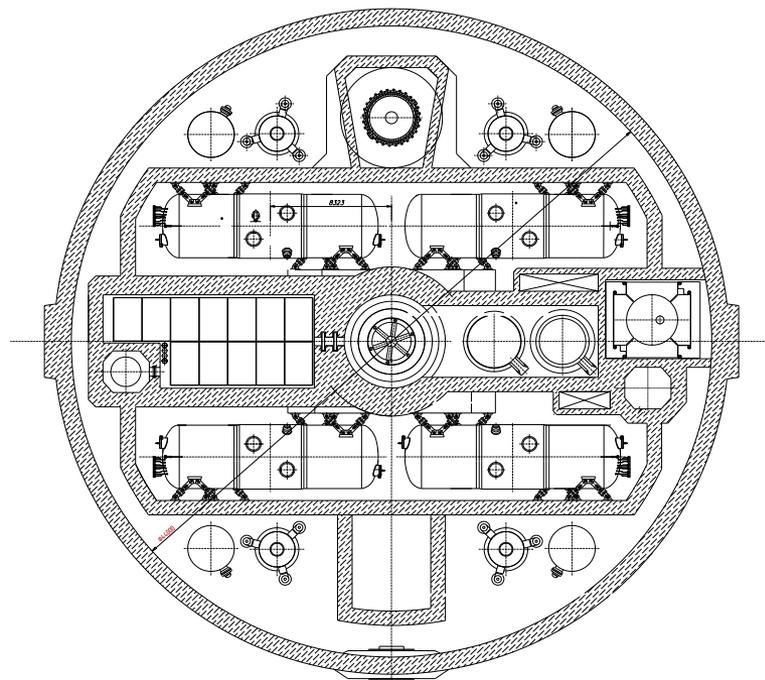
Параметры	В-392	ВВЭР-1200	ВВЭР ТОИ
Номинальная тепловая мощность реактора, МВт	3000	3200	3300
КИУМ	0,8	0,9	0,93
Давление теплоносителя на выходе из реактора, МПа	15,7	16,2	16,2
Температура теплоносителя на входе в реактор, °С	290	298,6	297,2
Температура теплоносителя на выходе из реактора, °С	320	329,7	328,8
Максимальный линейный тепловой поток, Вт/см	448	420	420
Давление пара на выходе из коллектора пара ПГ (абсолютное), МПа	6,27	7,0	7,0
Расчетное давление первого контура, МПа	17,64	17,64	17,64
Расчетное давление второго контура, МПа	7,84	8,1	9,0
Максимальная по ТВС глубина выгорания топлива в выгружаемых ТВС (в базовом стационарном топливном цикле), МВт сут/кгU	49	до 70	до 70
Межперегрузочный период, мес	12	12/18	12/18
Время нахождения топлива в активной зоне, год	4	4-5	4-5

1. Повышение мощности
2. Компоновка реакторного отделения
3. Оптимизация конструкции корпуса реактора
4. Оптимизация конструкции активной зоны
5. Оптимизация конструкции ПГ
6. Оптимизация конструкции ГЦНА
7. Достижение КТИ 0,93
8. Оптимизация систем безопасности

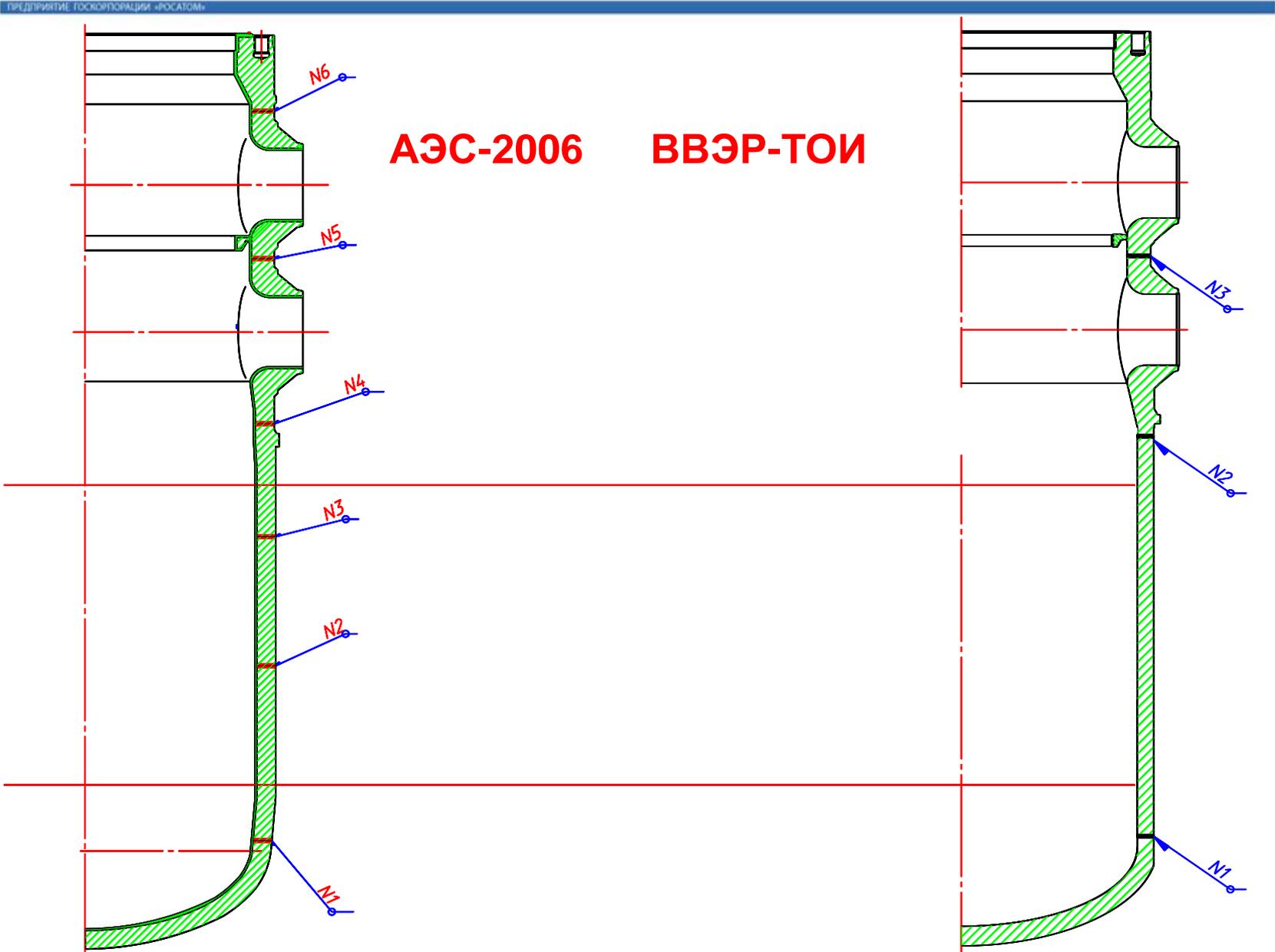
НВАЭС-2



ВВЭР-ТОИ



Новая компоновка позволяет при неизменном внутреннем диаметре герметичной оболочки (44 м) разместить парогенераторы большей длины

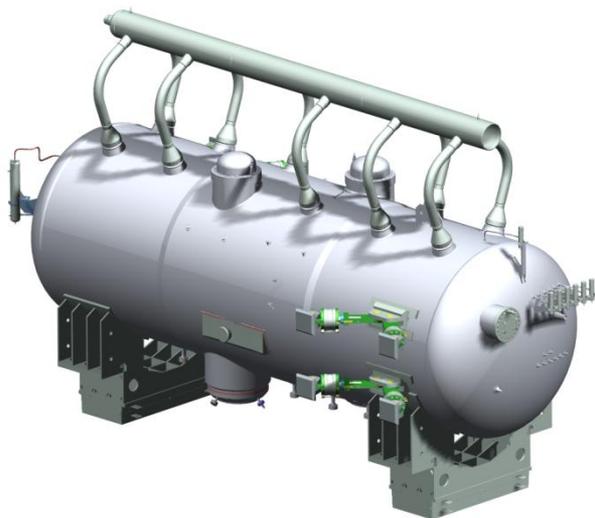


Направления:

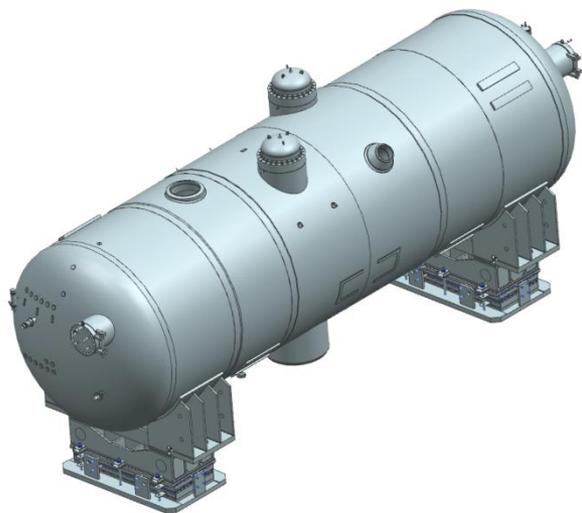
- увеличение загрузки топлива в активной зоне и увеличение поверхности теплообмена:
 - удлинение топливного столба
 - увеличение наружного диаметра топливной таблетки
 - уменьшение диаметра центрального отверстия топливной таблетки
 - увеличение количества топливных элементов в ТВС
 - повышение обогащения топлива до значения превышающего 5% (перспектива)
- оптимизация размещения датчиков ВРК и ОР СУЗ;
- применение аксиального профилирования твэгов по содержанию поглотителя;
- применение уран-эрбиевого топлива (перспектива);
- интенсификация теплообмена и перемешивания теплоносителя в ТВС (перспектива).

Результаты:

- При повышенной, по сравнению с АЭС-2006, тепловой мощности (3300 МВт):
- реализуется 18-ти месячный топливный цикл;
 - сохраняется ограничение на максимальный линейный тепловой поток;
 - выполняются проектные критерии по запасу до кризиса теплоотдачи.



ПГВ-1000 МКП Масса 337 т Длина 13820 мм

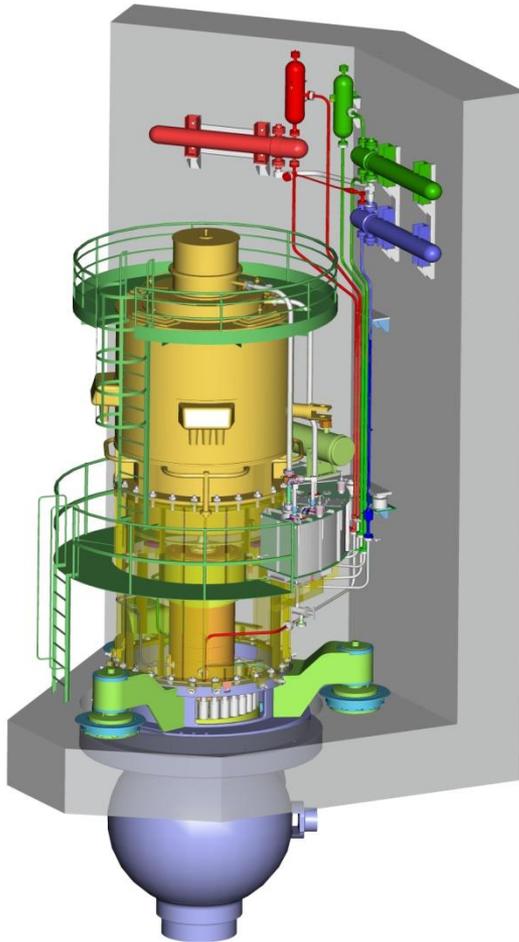


ПГВ-1000 МКО Масса 353 т Длина 14820 мм

Парогенератор ПГВ-1000 МКО обладает оптимизированной исходя из мощности реактора 3300 МВт площадью зеркала испарения и площадью поверхности теплообмена.

В связи с увеличением габаритов ПГ требуется проведение оценок условий транспортабельности ПГ по ж/д.

$P_{\text{расч}} = 9,0 \text{ МПа}$



Для АЭС с ВВЭР-1200 и ВВЭР ТОИ планируется использовать ГЦНА с охлаждением и смазкой подшипников насоса и двигателя **ВОДОЙ**, ЧТО ПОЗВОЛИТ:

- исключить масло в боксе ГЦНА;
- повысить пожаробезопасность АЭС;
- упростить систему пожаротушения АЭС;
- упростить компоновку в боксе ГЦНА;
- упростить процедуру пуска ГЦНА.

- 18-месячный топливный цикл (в перспективе 24-месячный топливный цикл с обогащением по $U235 > 5\%$);
- Ремонтный цикл оборудования 4,5 года, не менее;
- Применение автоматизированных средств ТО и Р;
- Снижение количества сварных швов на оборудовании;
- Применение в конструкции быстросъемных элементов;
- Оптимизация графиков каждого ремонта;
- Применение в ходе ТО прогрессивных технологий (совмещение операций ТО, выполнение части работ при работе блока на мощности).

Комбинация пассивных и активных СБ без внутреннего резервирования.

Направления оптимизации:

- модернизация ГЕ-2, внедрение ГЕ-3 для обеспечения автономности после 24 часов (до 72 часов) при ЗПА;
- расширение функциональных требований и проектных основ пассивных систем безопасности, исходя, в первую очередь, из возможности преодоления ими проектных аварий;
- исключение элементов внутреннего резервирования в каналах активных СБ и получение за счет этого экономии оборудования, трубопроводов, кабелей, затрат на монтаж и эксплуатацию;
- оптимизация характеристик ГЕ-1 для обеспечения непрерывной подачи теплоносителя совместно с ГЕ-2 в условиях отказов активной части САОЗ.

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

Электронная модель РУ ВВЭР ТОИ

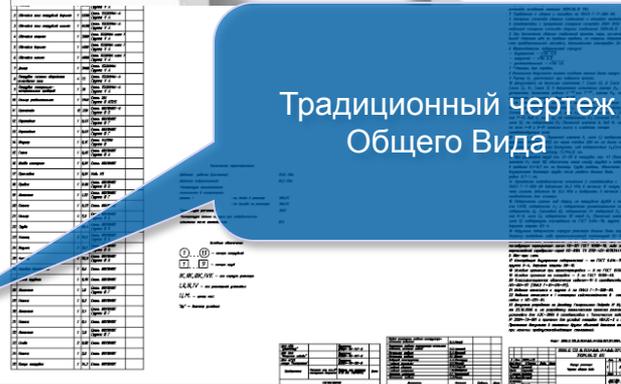
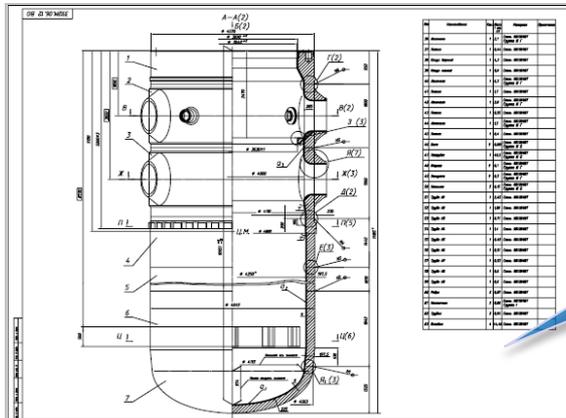
Информация в ЭМИ
достаточна и не требует
документирования



Удостоверяющий лист на
ЭМИ необходим для
утверждения

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»
ОКБ «ГИДРОПРЕСС»
ВВЭР ТОИ

Обозначение электронного документа (или файла) / Ревизия	Наименование изделия, код документа	Примечание		
510.01.01.01.01.04. SAT.00	Корпус реактора Электронная 3D-модель	Габаритная модель		
Основание для выпуска		Дата выпуска		
		Фамилия	Подпись	Дата
Разработал		Сидоров		
Проверил		Бочаров		
Начальник бюро		Бочаров		
Инженер по качеству		Богданович		
Начальник бюро		Чугариков		
Начальник отдела		Питов		
Начальник цеха		Шевкин		
Начальник участка		Васильев		
Начальник цеха		Мухомов		
Начальник цеха		Сидоров		
Начальник цеха		Мельник		

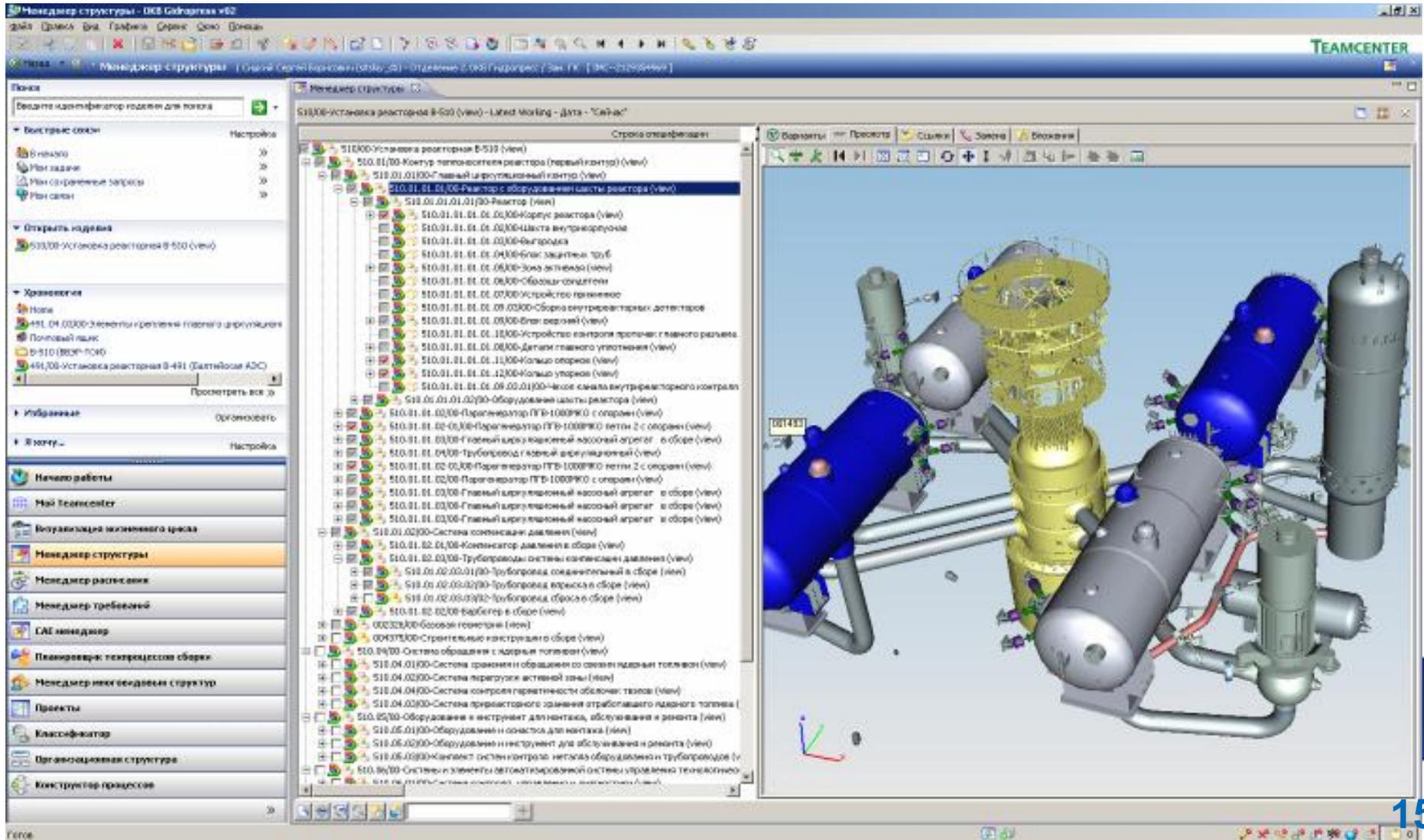


ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»
ОКБ «ГИДРОПРЕСС»
ВВЭР ТОИ



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

3D модель РУ ВВЭР ТОИ



Концепция проекта ВВЭР-600 (650, 700):

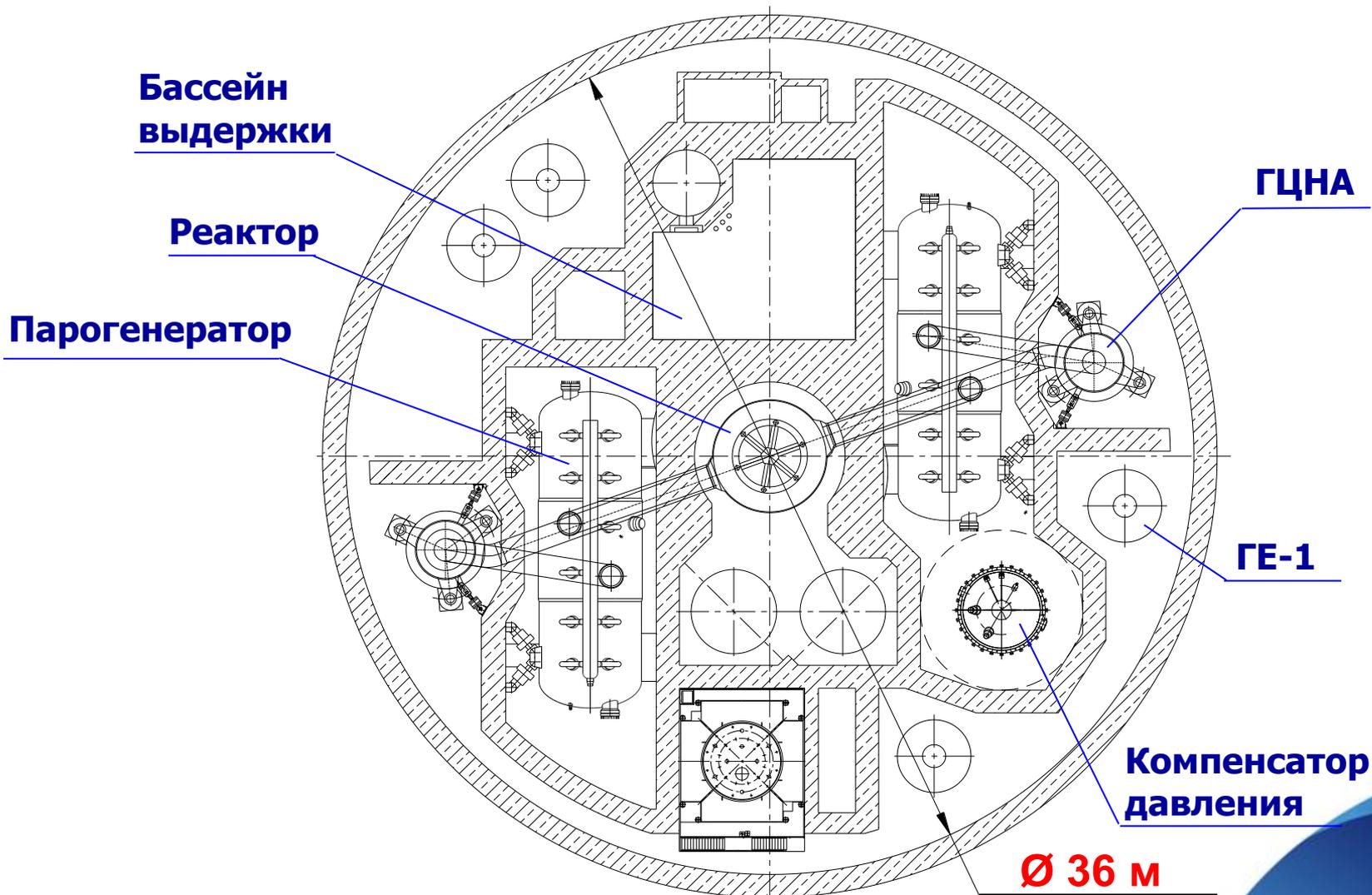
- ✓ 2-петлевая РУ;
- ✓ Разработка на базе ВВЭР-1200 (1300):
 - прямое заимствование оборудования;
 - референтность;
- ✓ Обеспечение безопасности не ниже требований к АЭС поколения 3+;
- ✓ Проектный срок службы 60 лет;
- ✓ Удержание расплава активной зоны в корпусе реактора в ходе тяжелой ЗПА;
- ✓ Максимальное использование результатов выполненных НИОКР по проектам РУ с ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200;
- ✓ Постановка оборудования на производство не требует значительных затрат;
- ✓ Реализация концепции "мощность петли" вместо "мощность РУ", **разработка 3-петлевой РУ ВВЭР-900 (1000).**

Преимущества 2-петлевой компоновки перед 4-петлевой:

- ✓ Сокращение удельной металлоемкости РУ;
- ✓ Сокращение сроков монтажа оборудования;
- ✓ Уменьшение внутреннего диаметра гермооболочки;
- ✓ Сокращение эксплуатационных затрат на **20-25%**.

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

2-петлевая РУ средней мощности ВВЭР-600



2-петлевая РУ средней мощности ВВЭР-600

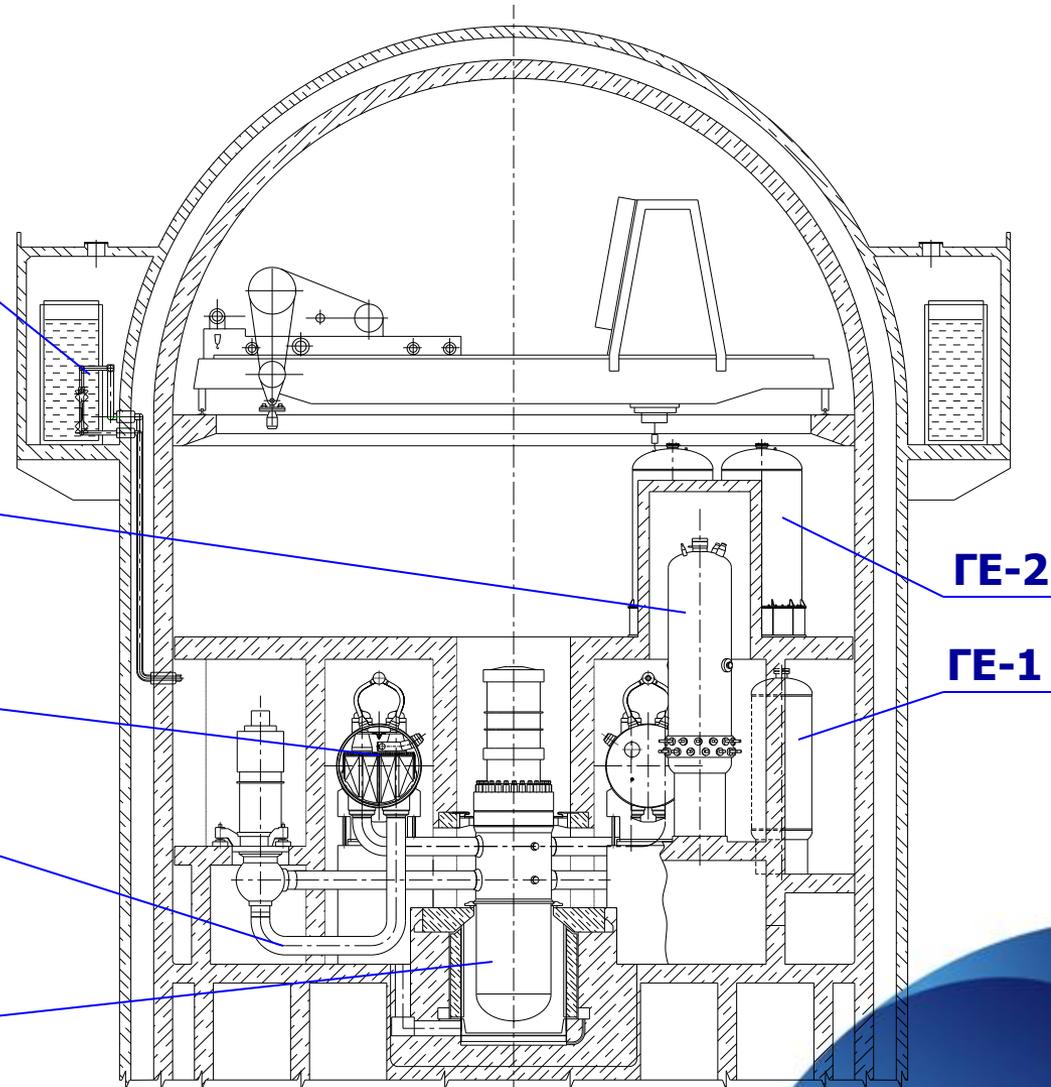
Система пассивного
отвода тепла

Компенсатор
давления

Парогенератор

Главный
циркуляционный
трубопровод

Реактор



ГЕ-2

ГЕ-1

Концепция проекта ВВЭР-1200А

- ✓ **2-петлевая РУ;**
- ✓ **Отказ от требования обеспечения транспортабельности оборудования РУ по железной дороге;**
- ✓ **РУ ВВЭР-1200 с увеличенным диаметром ГЦТ (Ду1000);**
- ✓ **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;**
- ✓ **Обеспечение безопасности не ниже требований к АЭС поколения 3+;**
- ✓ **Проектный срок службы 60 лет;**
- ✓ **Реализация концепции "мощность петли" вместо "мощность РУ".**

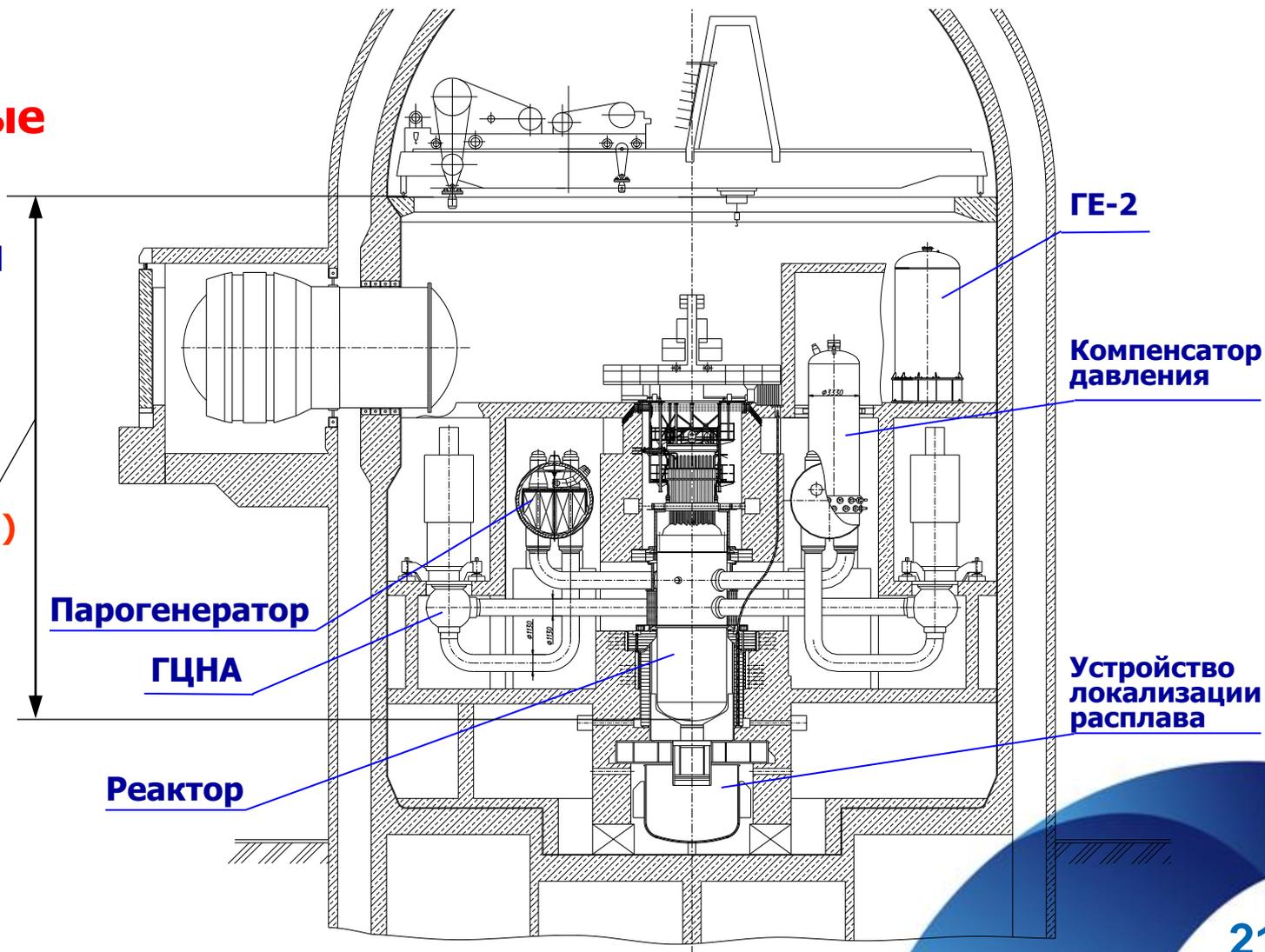
2-петлевая РУ ВВЭР-1200А

**Компоновочные
решения**

**Вертикальный
разрез здания
реактора**

35,9 м

(АР-1000 – 47 м)



Сравнение масс оборудования 1 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 контура	3763 т	3280 т
Удельная масса оборудования 1 контура, т/МВт(тепл.)	1,18	1,03

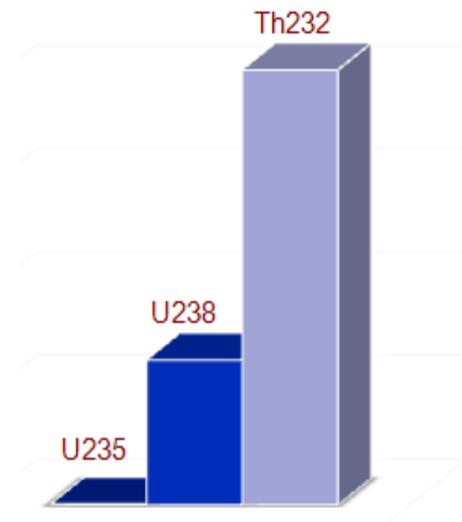
Супер-ВВЭР

Концерном «Росэнергоатом» поставлена задача создания нового поколения реакторов ВВЭР для работы на переходном этапе и в замкнутом топливном цикле.

Это направление инновационного реактора с кардинально улучшенным использованием топлива получило название «Супер-ВВЭР».

- Использование в современной АЭ только ~0,4% природного урана, в основном изотопа урана-235, запасы которого ограничены.
- Наличие большого запаса урана-238 и тория-232, энергетический ресурс которых на порядки больше, чем у нефти и газа.
- Необходимость создания надежной и устойчивой АЭ России на основе **МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ** структуры АЭ.

Относительные энергетические запасы ядерного топлива



- Повышение экономической эффективности и конкурентоспособности **освоенной технологии** ВВЭР на различных «рыночных пространствах»;
- Ориентация на индустриальное (серийное) производство на основе использования мирового опыта и передовых технологий;
- Максимальное использование освоенных технологий на основе легководного теплоносителя в ЗЯТЦ;
- Снижение расхода природного урана до уровня (130 – 135) т/ГВт(э) в год;
- Создание реактора, адаптируемого к требованиям ИЯЭС с ЗЯТЦ в рамках концепции устойчивого развития.

Варианты Супер-ВВЭР

Эволюционный Супер-ВВЭР – вариант, максимально использующий традиционные технологии ВВЭР.

Инновационный Супер-ВВЭР – вариант высокоэффективной АЭС четвертого поколения, наиболее полно реализующий цели Супер-ВВЭР.



Облик:

- параметры традиционных ВВЭР;
- тесная решетка ТВЭЛОВ;
 - ✓ более жесткий спектр;
 - ✓ повышенный КВ (КК);
- спектральное регулирование;
- максимальное уменьшение количества поглотителей в активной зоне в процессе выгорания;
- широкие эксплуатационные возможности (маневрирование, топливные циклы и др.)

Для достижения цели необходимо в традиционном ВВЭР изменить ТВС, ПС СУЗ, ВКУ, привода СУЗ (возможно, потребуется изменение высоты корпуса реактора и конструкции ГЦНА).

Два варианта

Средняя мощность

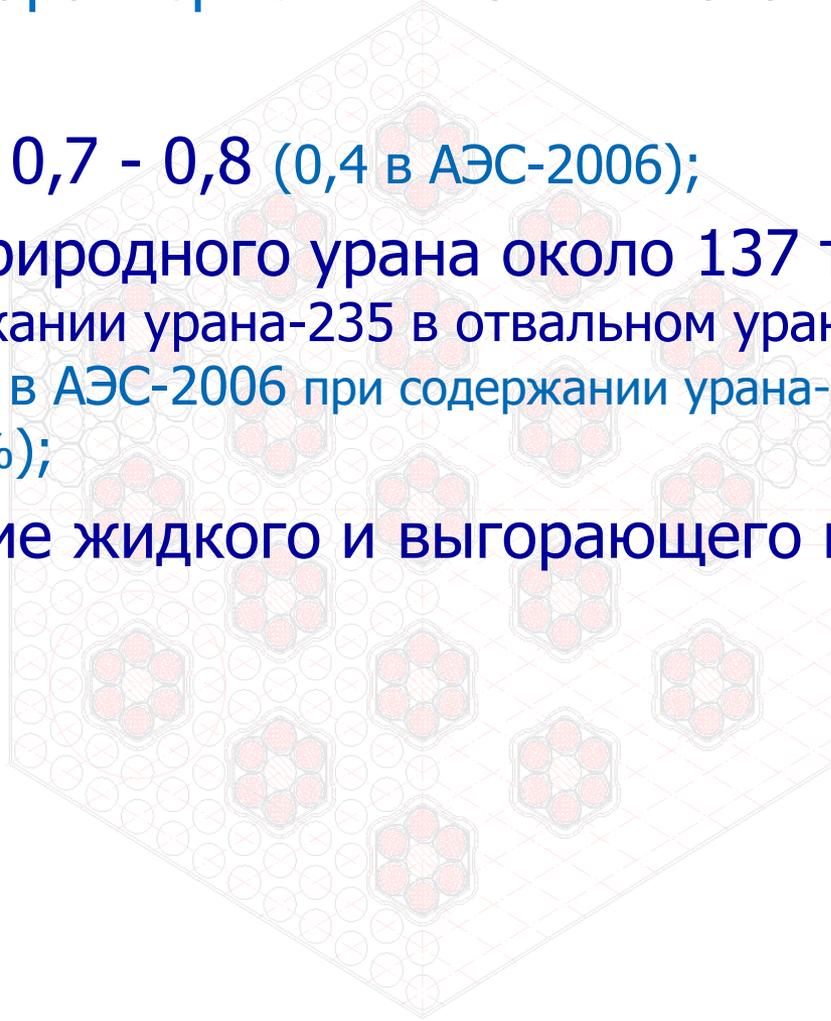
- реактор ВВЭР-600СР
(на базе ВВЭР-1200);
- две петли;
- ТВЭЛЫ \varnothing 9,1 мм;

Большая мощность

- реактор ВВЭР-1000СР
(на базе ВВЭР-1000 или 1200);
- четыре петли;
- ТВЭЛЫ \varnothing 6,8 мм;

Ожидаемые характеристики топливного цикла:

- КВ около 0,7 - 0,8 (0,4 в АЭС-2006);
- расход природного урана около 137 т/ГВт_э при содержании урана-235 в отвальном уране ~0,1% (197 т/ГВт_э в АЭС-2006 при содержании урана-235 в отвальном уране ~0,2%);
- Отсутствие жидкого и выгорающего поглотителя.



Инновационный Супер-ВВЭР – это реактор, охлаждаемый водой СКД (ВВЭР-СКД).

Создание подобных водо-водяных энергетических реакторов со сверхкритическими параметрами пара и регулируемым спектром нейтронов предусмотрено в Энергетической стратегии России, которая была утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 г.

В июле 2011 г. Россия подписала системное соглашение Международного форума «Поколение-4» (GIF) по направлению реакторов с водой сверхкритического давления SCWR.

Участники GIF по направлению SCWR:

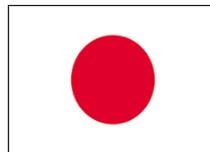
Евросоюз



Канада



Япония

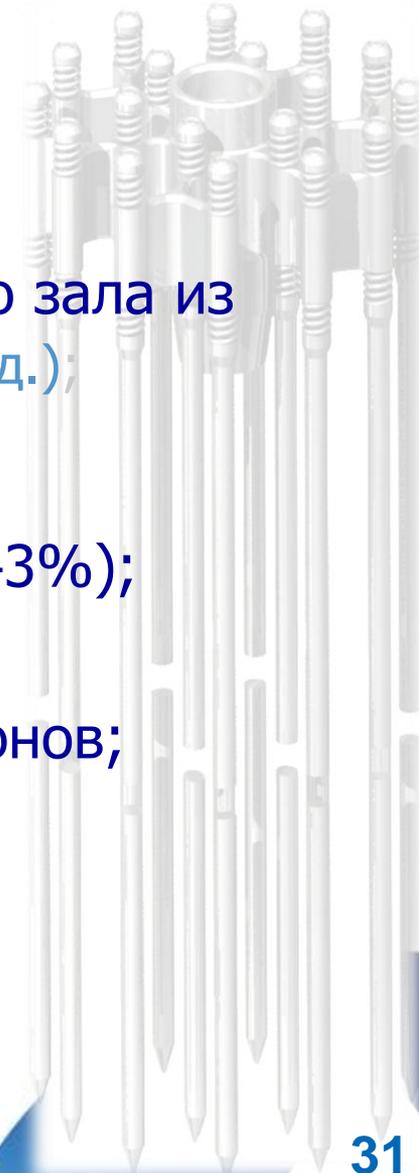


Россия



Ожидаемые преимущества АЭС с ВВЭР-СКД

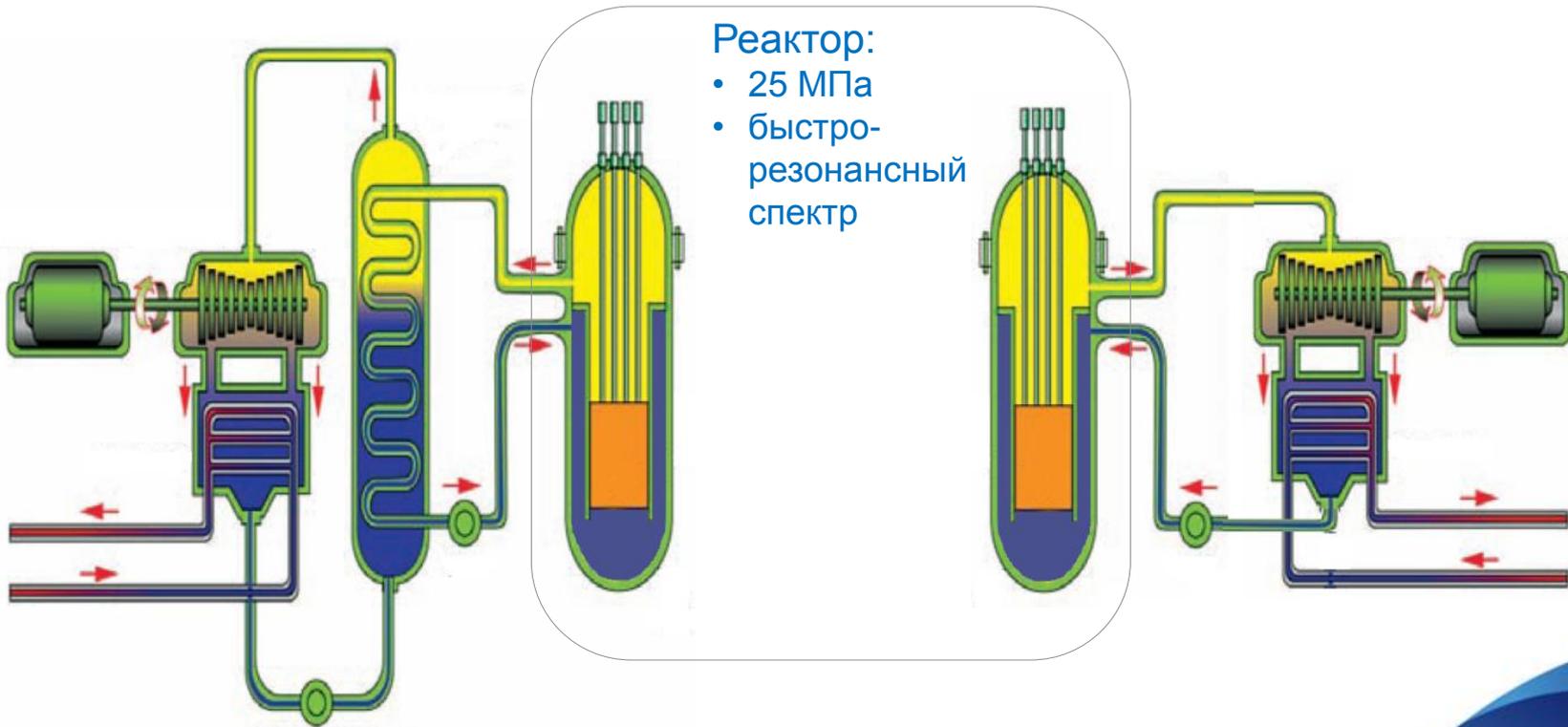
- снижение капитальных затрат;
- применение серийного оборудования машинного зала из тепловой энергетики (турбины, подогреватели и т.д.);
- сокращение сроков строительства;
- высокий коэффициент полезного действия (41-43%);
- высокий коэффициент воспроизводства топлива (0,9-1,0), за счет более жесткого спектра нейтронов;
- низкий расход природного урана.



Концепция ВВЭР-СКД

Двухконтурная РУ

Одноконтурная РУ



2 контур: 24 МПа

Международная кооперация

1. В рамках GIF:

- Необходимо подписание проектных соглашений по действующим проектам:
 - ✓ теплогидравлика и безопасность,
 - ✓ материалы и химия воды.
- Необходимо выступить с инициативой нового проектного соглашения по разработке и сооружению в России экспериментального реактора малой мощности (продемонстрирована заинтересованность стран-участников);

2. В рамках двухсторонних соглашений и контрактов с заинтересованными странами.

3. В рамках координационных исследовательских проектов МАГАТЭ.



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Благодарю за внимание!

