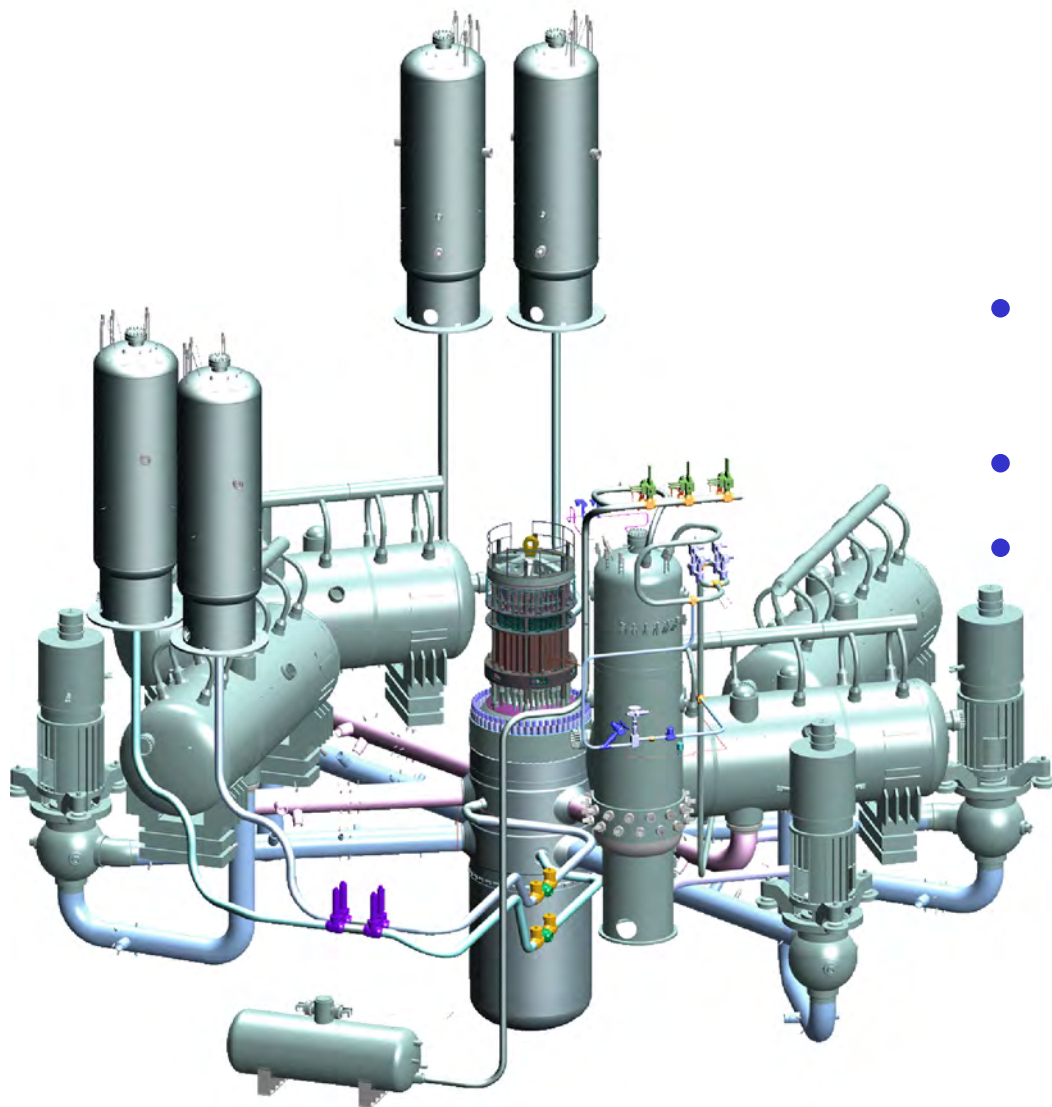


# ТЕХНОЛОГИЯ ВВЭР. СОСТОЯНИЕ. ПРОБЛЕМЫ. ЗАДАЧИ

*ОКБ «ГИДРОПРЕСС»*

III Международная конференция «АЭС: проектирование,  
строительство, эксплуатация»

01.12.2009. Москва



## ле технологии ВВЭР (1/9)

### то такое – ВВЭР?

- Корпусной реактор с легкой водой под давлением
- Петлевая РУ
- Горизонтальный ПГ

Проведенные в последнее время в рамках разработки ФЦП ревизии технологии ВВЭР **подтвердили** ее конкурентоспособность и безопасность!

# 1 Развитие технологии ВВЭР (2/9)

- **Что такое – ВВЭР?**
- Более **1097** реакторо-лет эксплуатации
- **Высокий уровень безопасности**
- **Экономические характеристики, соответствующие требованиям эксплуатирующих организаций в России и за рубежом**



**Технология ВВЭР признана в мировой атомной энергетике!**

# 1 Развитие технологии ВВЭР (3/9)

- **Современные вызовы**
- **Конкурентоспособность АЭС с электростанциями на органическом топливе**
  - повышение КПД и КИУМ
  - реализация маневренных режимов
  - снижение капитальных затрат и времени на строительство и т.д.
- Реализация АЭС мощностного ряда 1600...1200...1000...**600**...300 МВт
- Эффективное использование ВВЭР в **замкнутом топливном цикле**

# 1 Развитие технологии ВВЭР (4/9)

- **Поставленные отраслью задачи**
- **Строительство крупной серии энергоблоков в России;**
- **Разработка и реализация инновационных проектов;**
- **Развитие АЭ в различных регионах:**
  - удаленных от мощных электрических систем;
  - обладающих мощными электрическими системами;
- **Обеспечение надежных позиций на мировом рынке АЭ.**

# 1 Развитие технологии ВВЭР (5/9)

Поставленные задачи решаются в первую очередь путем совершенствования и дальнейшего **развития технологии ВВЭР**

|                 |       |   |  |                 |   |
|-----------------|-------|---|--|-----------------|---|
| Проекты РУ ВВЭР | В-320 | В-392,<br>В-412<br>(АЭС-92);<br>В-428<br>(АЭС-91) | В-466Б;<br>ВВЭР-1200<br>(АЭС-2006);<br>ВВЭР-1200А;<br>ВВЭР-1500;<br>ВВЭР-600 | ВВЭР-СКД        |   |
| Поколение       | 2     | 3   | 3+   | СУПЕР-ВВЭР<br>→ | 4 |

# 1 Развитие технологии ВВЭР (6/9)

- **Критерии выбора новых атомных энергоблоков**
  - **применяемая технология;**
  - **единичная мощность энергоблока;**
  - **критерии безопасности:**
    - соответствие требованиям по безопасности российских НД, рекомендациям МАГАТЭ и требованиям EUR;
    - **оптимальное** сочетание активных и пассивных СБ;
    - наличие систем преодоления ПА и ЗПА;
    - соответствие количественным критериям безопасности;

# 1 Развитие технологии ВВЭР (7/9)

- **Критерии выбора новых атомных энергоблоков**

- **технические критерии:**

- величина КИУМ;
- КПД энергоблока и расход электроэнергии на СН;
- годовая доза облучения оперативного персонала;
- возможность работы в маневренном режиме и условия топливоиспользования;
- состояние с освоением и лицензированием проекта энергоблока;
- возможность использования существующей инфраструктуры и сооружений;
- требуемые сроки ввода в эксплуатацию;

- **стоимостные критерии:**

- удельные капиталовложения;
- эксплуатационные расходы.

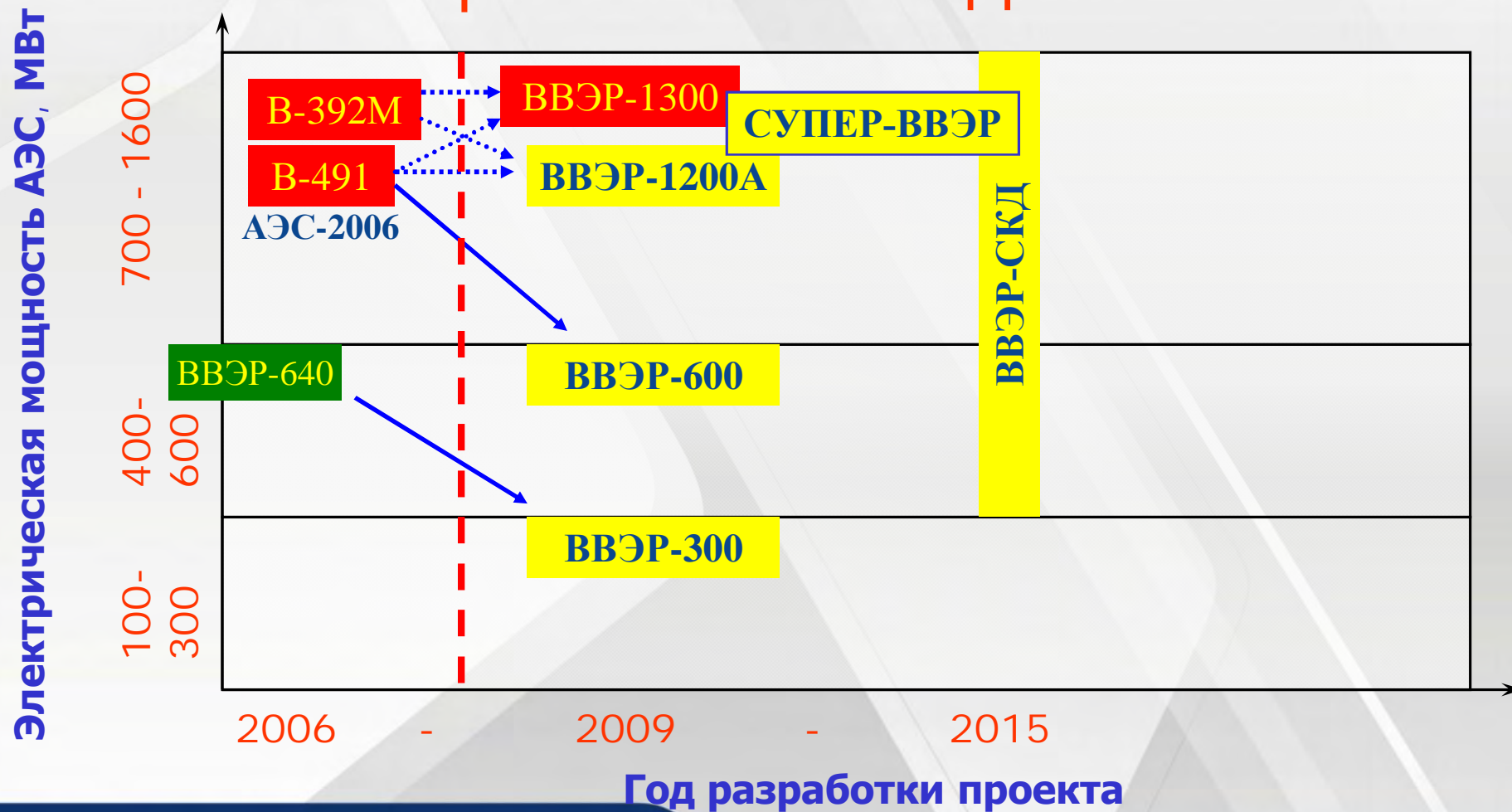
# 1 Развитие технологии ВВЭР (8/9)

## • Проекты ОКБ «ГИДРОПРЕСС»



# 1 Развитие технологии ВВЭР (9/9)

- Новые проекты ОКБ «ГИДРОПРЕСС»



## 2 Перспективные проекты РУ большой мощности. Альтернативный проект ВВЭР-1200А (В-501) (1/10)

С целью **минимизации затрат** на строительство, изготовление, монтаж и обслуживание оборудования в период эксплуатации ведется разработка модернизированной (альтернативной) РУ **ВВЭР-1200А (В-501)** на основе применения **2х-петлевой** компоновки и укрупнения основного оборудования

## 2 Перспективные проекты РУ большой мощности.

Альтернативный проект **ВВЭР-1200А (В-501)** (2/10)

### Концепция проекта:

- **Сокращение** объемов и сроков строительных, монтажных работ и эксплуатационных затрат за счет новых компоновочных решений, уменьшения количества оборудования, поставки на монтаж оборудования максимальной готовности;
- **Отказ** от требования обеспечения транспортабельности оборудования РУ по железной дороге;
- **Увеличение** единичной мощности ПГ и ГЦНА;
- **Повышение** параметров 2-го контура с целью увеличения КПД блока.

## 2 Перспективные проекты РУ большой мощности.

Альтернативный проект ВВЭР-1200А (В-501) (3/10)

### Преимущества 2х-петлевой компоновки:

- Сокращение металлоемкости РУ
- Сокращение сроков монтажа оборудования
- Уменьшение диаметра гермооболочки (до **40 м** с учетом размещения бассейна выдержки внутри ГО)
- Уменьшение затрат времени и дозозатрат на контроль, обслуживание и ремонт оборудования в процессе эксплуатации

## 2 Перспективные проекты РУ большой мощности. Альтернативный проект ВВЭР-1200А (В-501) (4/10)

Основное оборудование:

| Единица оборудования РУ   | Характеристика                                      |
|---|---|
| Реактор   | ВВЭР-1200 (за исключением зоны патрубков)           |
| Парогенератор   | Горизонтальный, новая разработка на базе ПГВ-1500М  |
| ГЦНА  | ГЦНА увеличенной мощности (2 шт., новая разработка) |
| Компенсатор давления  | ВВЭР-1200   |
| Главный циркуляционный трубопровод  | Ду1000  |
| Бассейн выдержки  | ВВЭР-1200   |
| Оборудование для ТТО  | ВВЭР-1200   |
| Внутренний диаметр гермооболочки  | 40 м.<br>(АЭС-2006 – 44 м)                          |
| Характерный высотный размер РУ (от низа корпуса реактора до рельса подкранового пути) | 35,9 м.<br>(АЭС-2006 – 33,3 м)                      |

## 2 Перспективные проекты РУ большой мощности.

Альтернативный проект ВВЭР-1200А (В-501) (5/10)

- **Современные подходы к проектированию СБ**
- **Результаты оптимизации СБ:**
  - Схемные решения **исключают зависимые от исходного события :**
    - **Одновременные отказы каналов пассивных и активных систем,**
    - **Одновременные отказы активных СБ в пределах одного канала (САОЗ ВД и САОЗ НД).**
  - Обеспечивается требование по **диверсификации СБ;**
  - Резервирование двухканальной системы аварийного электропитания при выводе в ремонт **общестанционным дизель-генератором.**

## 2 Перспективные проекты РУ большой мощности.

Альтернативный проект ВВЭР-1200А (В-501) (6/10)

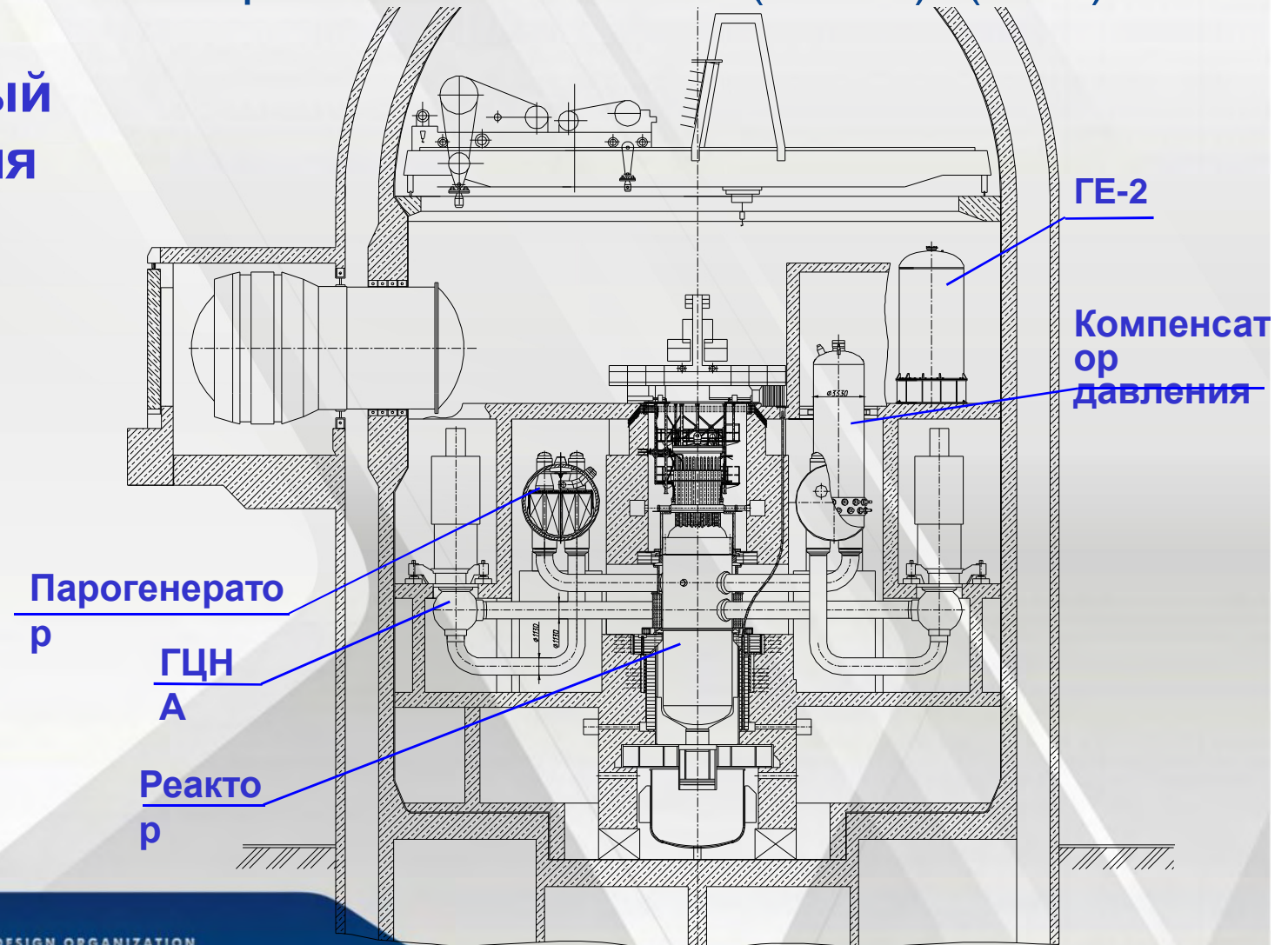
- **Современные подходы к проектированию СБ**
- **Канальность и степень резервирования СБ 1-го контура:**

| Система безопасности                            | Число каналов | Степень резервирования |
|---|---------------|------------------------|
| Система гидроёмкостей первой ступени            | 4             | 4 x 33%                |
| Система гидроёмкостей второй ступени            | 4             | 4 x 33%                |
| САОЗ ВД   | 2             | 2 x 100%               |
| САОЗ НД   | 2             | 2 x 100%               |
| Система аварийного ввода бора                   | 2             | 2 x 100% *             |
| Система защиты 1 контура от превышения давления | 3             | 3 x 50%                |

\* С внутренним резервированием 2x50%

## 2 Перспективные проекты РУ большой мощности. Альтернативный проект ВВЭР-1200А (В-501) (7/10)

Вертикальный  
разрез здания  
реактора



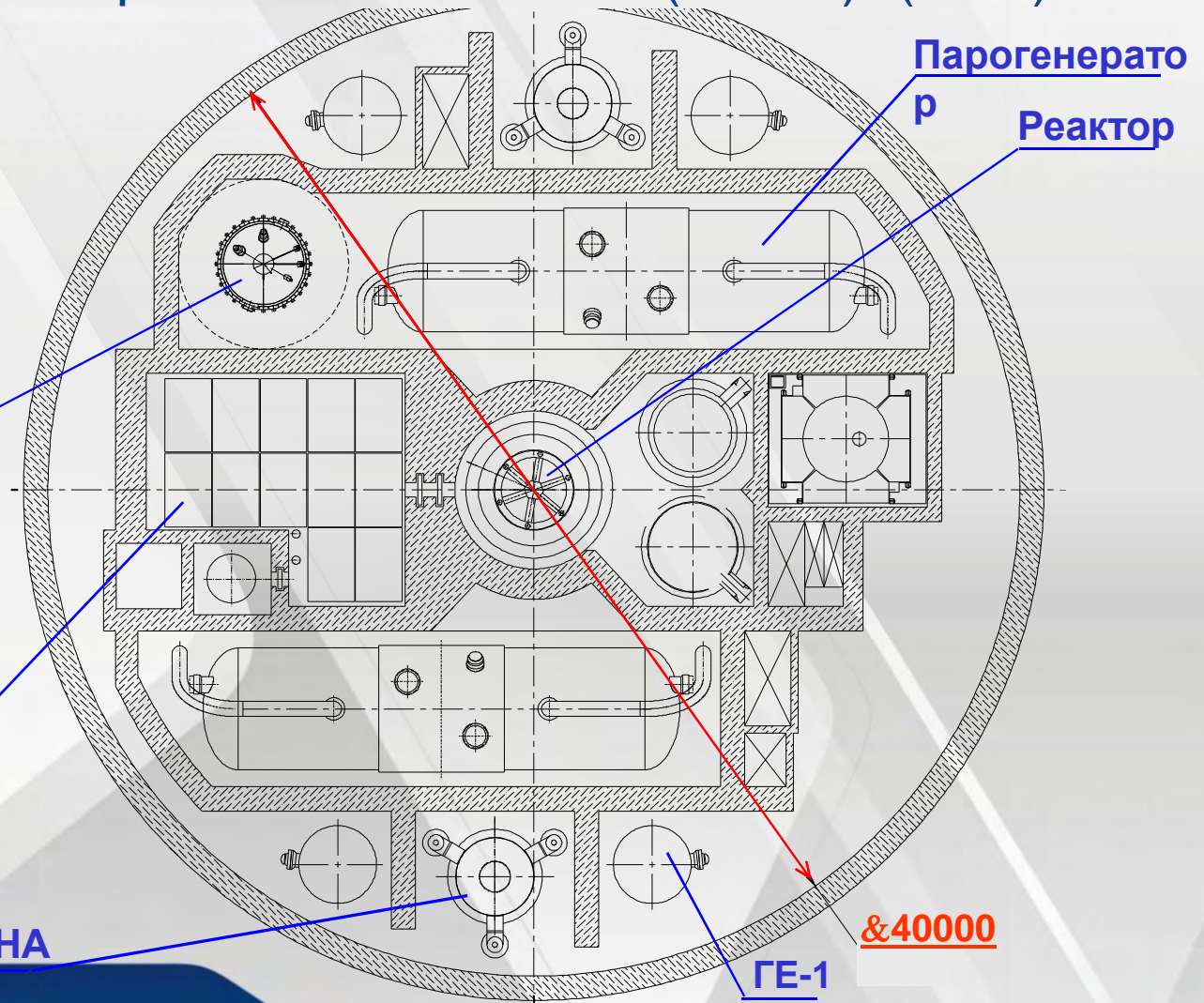
## 2 Перспективные проекты РУ большой мощности. Альтернативный проект ВВЭР-1200А (В-501) (8/10)

План на отметке парогенераторов

Компенсатор парогенератора:  
- диаметр 5,2 м  
- длина 20 м  
- масса  $\approx$  790 т

Бассейн выдержки

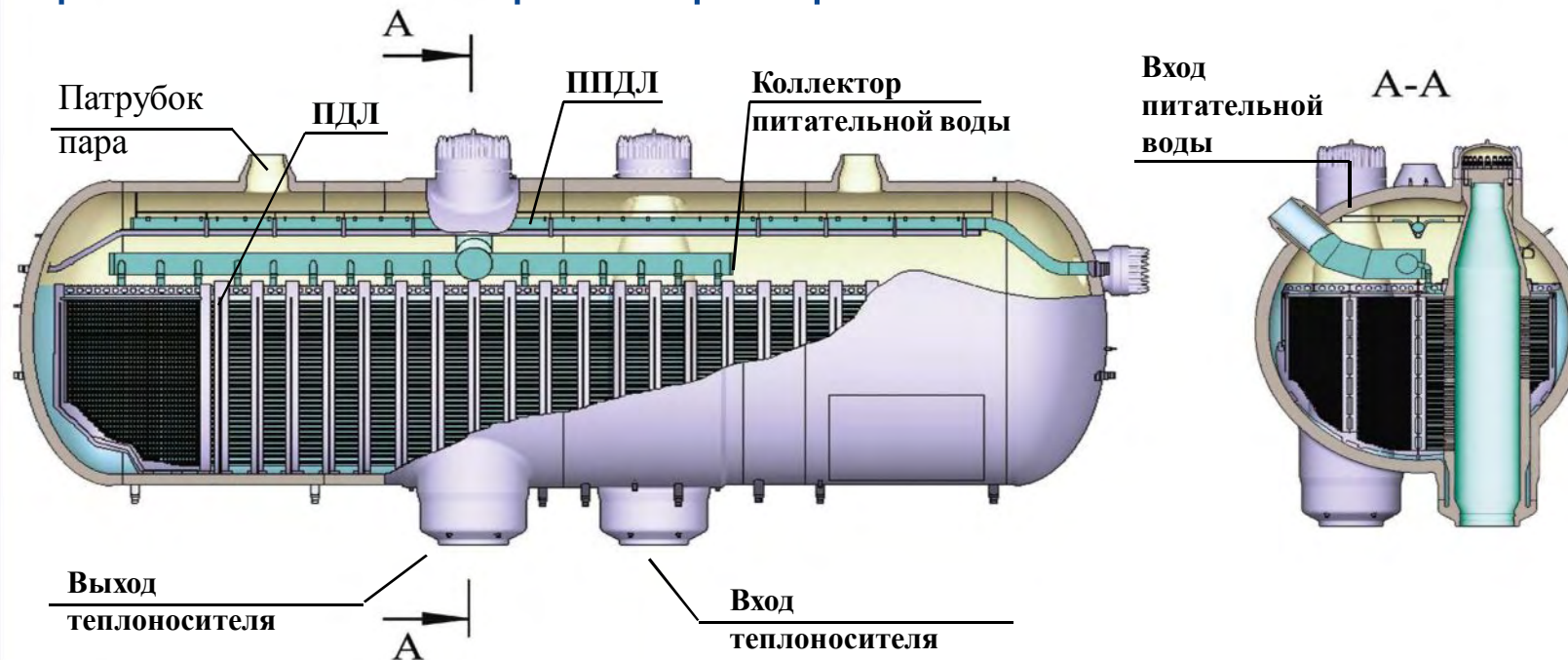
ГЦНА



## 2 Перспективные проекты РУ большой мощности.

Альтернативный проект **ВВЭР-1200А (В-501)** (9/10)

Горизонтальный парогенератор **ПГВ-1200А** на базе **ПГВ-1500М**



| Параметр                | ПГВ-1000МКП | ПГВ-1200А |
|-------------------------|-------------|-----------|
| Давление расчетное, МПа | 8,1         | 9,5       |
| Длина по днищам, м      | 13820       | 19620     |
| Масса ПГ, т             | 450         | 790       |

## 2 Перспективные проекты РУ большой мощности. Альтернативный проект ВВЭР-1200А (В-501) (10/10)

### Сравнение масс оборудования 1 контура

|  | <b>ВВЭР-1200</b> | <b>ВВЭР-1200А</b> |
|--|------------------|-------------------|
| Реактор  | 940 т            | 940 т             |
| ГЦТ  | 252 т            | 145 т             |
| Парогенераторы                                     | 4 3450 = 1800 т  | 2 3790 = 1580 т   |
| Компенсатор давления                               | 215 т            | 215 т             |
| ГЦНА   | 4 3139 = 556 т   | 2 3200 = 400 т    |
| Суммарная масса<br>оборудования 1 конт.            | 3763 т           | 3280 т            |
| Удельная масса оборуд-ния<br>1 конт., т/МВт(тепл.) | <b>1,18</b>      | <b>1,03</b>       |

## 3 Проекты РУ средней мощности (1/8)

К проектам РУ **средней мощности** относятся проекты РУ мощностного ряда **300-700 МВт** электрической мощности АЭС, для обеспечения региональных нужд и экспорта в развивающиеся страны.

Проектирование РУ средней мощности предлагается проводить **на базе основного оборудования РУ большой мощности**. Это приводит:

- к увеличению ресурса основного оборудования;
- к увеличению теплотехнических запасов охлаждения активной зоны;
- к смягчению требования к характеристикам систем безопасности;
- к более гибкой топливной кампании.

## 3 Проекты РУ средней мощности (2/8)

**Проекты РУ средней мощности:**

**ВВЭР-640 (В-407)**

**ВВЭР-600 (В-498)**

Проекты различаются соотношением применения пассивных и активных систем безопасности и систем управления ЗПА и способах их технической реализации.

В обоих проектах в основном применяются отработанные технологии, узлы и системы и максимально используется опыт проектирования, изготовления и эксплуатации предыдущих поколений АЭС с ВВЭР.

## 3 Проекты РУ средней мощности

Проект РУ **ВВЭР-600** (В-498) (3/8)

### Основные положения концепции РУ ВВЭР-600:

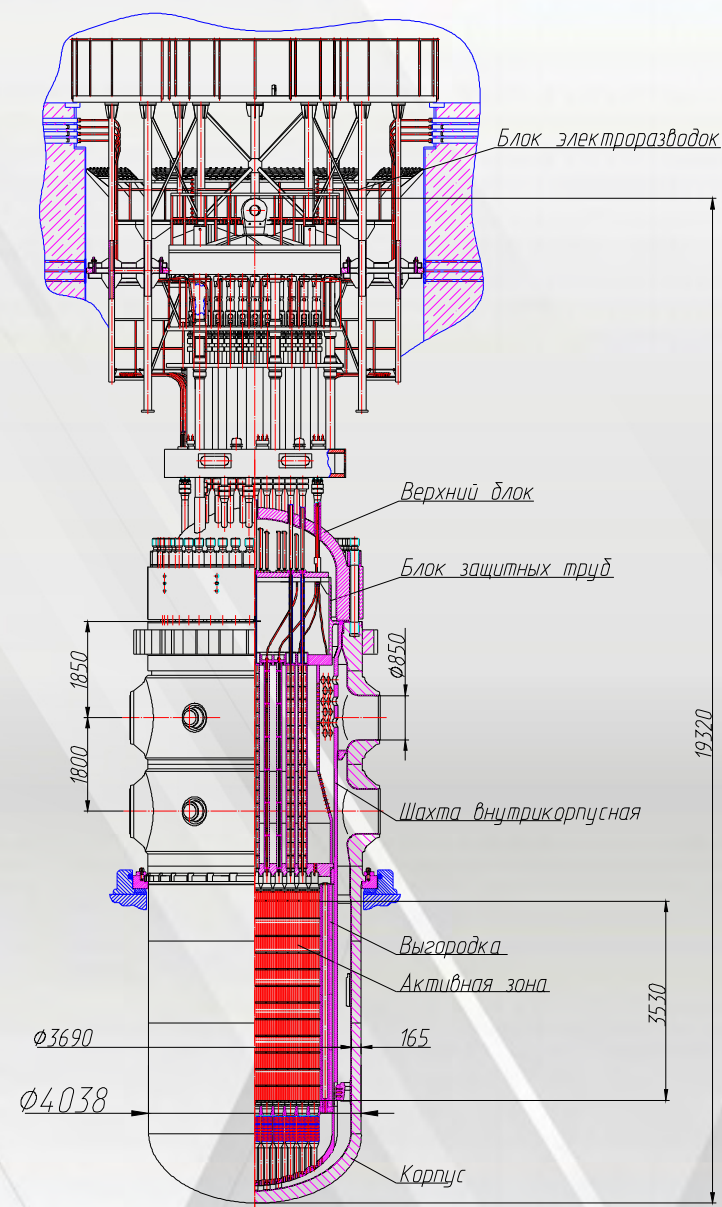
- применение имеющегося оборудования проектов В-392М и В-491;
- **2-петлевая** схема РУ;
- реактор с **2 входными** и **2 выходными** патрубками;
- реализация **оптимального** применения принципов резервирования, независимости и разнообразия для формирования оптимальной по составу и эффективности структуры систем безопасности;
- реализация **концепции удержания расплава** активной зоны при тяжелых авариях внутри корпуса реактора за счет внутреннего и внешнего охлаждения.

# 3 Проекты РУ средней МОЩНОСТИ

## Проект РУ ВВЭР-600 (В-498) (4/8)

### Технические характеристики:

|   |              |
|---|--------------|
| Тепловая мощность реактора, МВт   | 1600         |
| Давление на выходе из реактора, МПа   | 15,7-16,2    |
| Температура теплоносителя, °С:<br>- на входе в реактор<br>- на выходе из реактора | 299<br>327,3 |
| Расход теплоносителя через реактор, м³/ч  | 47140        |



### 3 Проекты РУ средней мощности

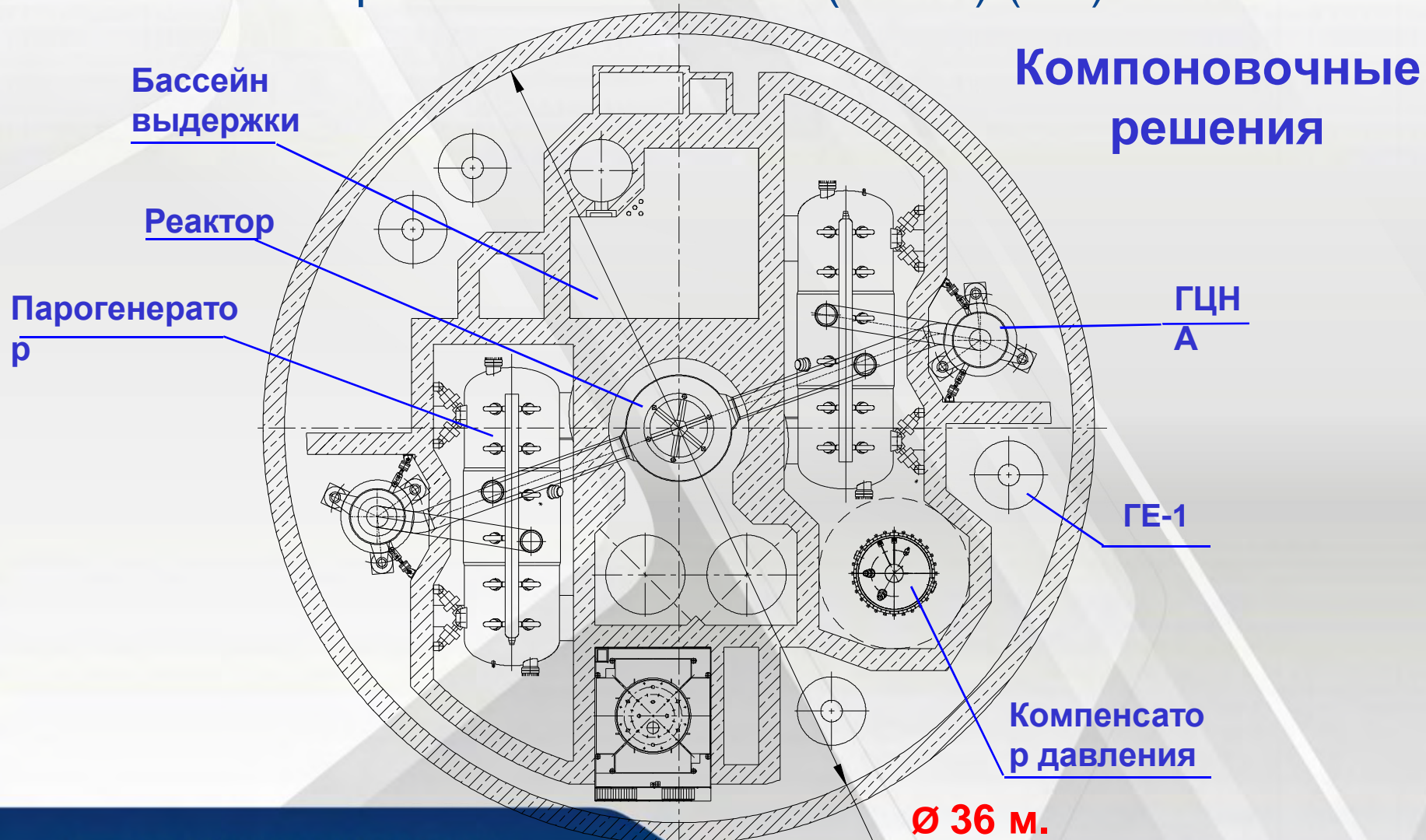
Проект РУ **ВВЭР-600** (В-498) (5/8)

#### Основное оборудование:

| Единица оборудования РУ            | Характеристика   |
|------------------------------------|--|
| Реактор                            | Новая разработка на базе конструкции ВВЭР-1200 (109 ТВС) |
| Парогенератор                      | ПГВ-1000МКП (2 шт.)                                      |
| ГЦНА                               | ГЦНА-1391 (2 шт.)  |
| Главный циркуляционный трубопровод | «Горячие» и «Холодные»<br>нити - Ду850                   |
| Компенсатор давления, барботер     | ВВЭР-1200  |
| Оборудование для ТТО               | ВВЭР-1200  |
| Емкость САОЗ (ГЕ-1)                | ВВЭР-1200 (4 шт.)  |
| Емкость СПЗАЗ (ГЕ-2)               | аналог ВВЭР-1200 (4 шт.)                                 |

# 3 Проекты РУ средней мощности

## Проект РУ ВВЭР-600 (В-498) (6/8)



### 3 Проекты РУ средней мощности

Проект РУ **ВВЭР-600** (В-498) (7/8)

Сравнение масс оборудования 1 контура:

|  | <b>ВВЭР-1200</b> | <b>ВВЭР-600</b><br>(109 ТВС) |
|--|------------------|------------------------------|
| Реактор  | 940 т            | 700 т                        |
| ГЦТ  | 252 т            | 115 т                        |
| Парогенераторы                                       | 4 3450 = 1800 т  | 2 3450 = 900 т               |
| Компенсатор давления                                 | 215 т            | 215 т                        |
| ГЦНА   | 4 3139 = 556 т   | 2 3139 = 278 т               |
| Суммарная масса оборудования 1 контура               | 3763 т           | <b>2208 т</b>                |
| Удельная масса оборудования 1 контура, т./МВт(тепл.) | <b>1,18</b>      | <b>1,38</b>                  |

## 3 Проекты РУ средней мощности

### Проект РУ ВВЭР-600 (В-498) (8/8)

На данный момент проект ВВЭР-600 находится на стадии **технического предложения**.

#### Разработаны:

- концепция энергоблока с ВВЭР-600;
- проект ТЗ на РУ;
- чертежи общего вида РУ и реактора;
- первоочередные нейтронно-физические и теплогидравлические расчеты;
- ПГ, ГЦНА, КД, трубные блоки ГЦТ применены из проекта АЭС-2006.

## 4 Проекты РУ малой мощности (1/1)

К проектам РУ **малой мощности** относятся проекты РУ для АЭС электрической мощностью **до 300 МВт**, для регионов, имеющих электрические сети малой мощности.

В ОКБ «ГИДРОПРЕСС» на стадии технического предложения находится проект **2-петлевой РУ ВВЭР-300**.

Проект базируется на технических решениях по оборудованию предшествующих проектов РУ с ВВЭР. В качестве референтного проекта применен проект **В-407**

## 5 Инновационные проекты РУ (1/6)

ОКБ «ГИДРОПРЕСС», совместно РНЦ КИ, ГНЦ РФ ФЭИ и АЭП по поручению Концерна «Росэнергоатом» участвует в разработке предложений по проекту **СУПЕР-ВВЭР**

### Целевые показатели СУПЕР-ВВЭР :

- более высокая эффективность топливоиспользования (расход природного урана не более **130-135** т/ГВт(э) в год);
- уменьшение сроков возврата инвестиций;
- повышение экономической эффективности и конкурентоспособности;
- более высокий термодинамический КПД;
- ориентация на замкнутый топливный цикл.

## 5 Инновационные проекты РУ (2/6)

### Предложения по проекту **СУПЕР-ВВЭР**:

- **Улучшенный ВВЭР** для работы в замкнутом ядерном топливном цикле (ВВЭР-1300, ВВЭР-1200А или др.)
- **Пароохлаждаемый** быстрый энергетический реактор;
- Одноконтурная РУ **ВВЭР-СКД** со сверхкритическим давлением теплоносителя и **быстро-резонансным** спектром нейтронов;
- Двухконтурный вариант интегральной РУ **ВВЭР-СКД-И** со спектральным регулированием;
- Двухконтурная РУ ВВЭР-СКД с быстро-резонансным спектром нейтронов;
- Корпусной **кипящий** быстрый реактор.

## 5 Инновационные проекты РУ (3/6)

Одноконтурная РУ **ВВЭР-СКД** со сверхкритическим давлением теплоносителя

**ВВЭР-СКД наиболее полно удовлетворяет целевым показателям СУПЕР-ВВЭР.**

Преимущества предложенного проекта:

- Высокий КПД (42 - 45%);
- Высокий коэффициент воспроизводства топлива ( $> 0,8$ );
- Низкие капитальные затраты (уменьшены: металлоемкость; номенклатура и количество оборудования и систем; размеры защитной оболочки)
- Использование освоенной технологии ВВЭР и котло-турбинных установок СКД.

## 5 Инновационные проекты РУ (4/6)

Одноконтурная РУ **ВВЭР-СКД** со сверхкритическим давлением теплоносителя

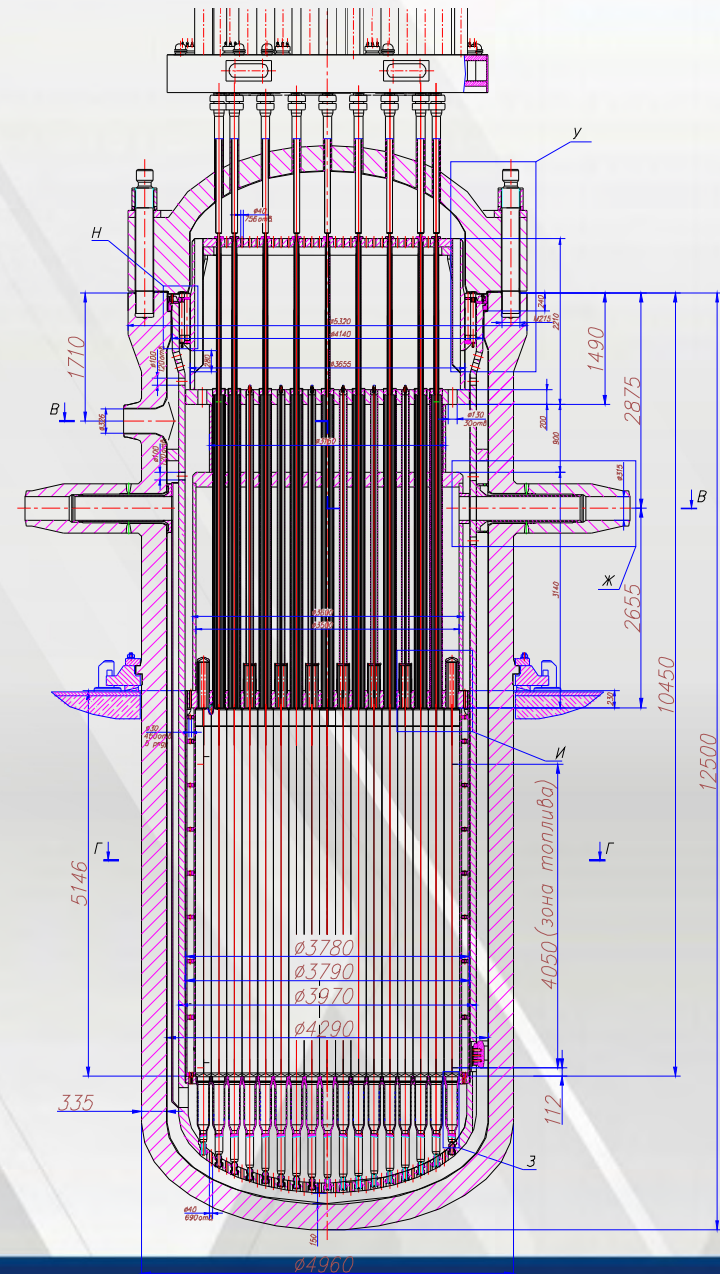
**Проблемные вопросы ВВЭР-СКД, требующие первоочередного решения:**

- Конструкционные материалы корпуса реактора и активной зоны;
- Коррозия материалов и перенос продуктов коррозии;
- Теплогидравлика активной зоны и теплообмен;
- Устойчивость циркуляции теплоносителя в РУ с учетом обратных связей;
- Обеспечение отрицательных коэффициентов реактивности;
- Разработка компьютерных кодов.

# 5 Инновационные проекты РУ (5/6)

Одноконтурная РУ **ВВЭР-СКД**  
со сверхкритическим  
давлением теплоносителя

Вариант реактора ВВЭР-СКД  
с однозаходной активной  
зоной



## 6 Заключение

1. Предложенные в рамках выполнения ФЦП проекты на базе технологии ВВЭР **удовлетворяют современным требованиям по безопасности и экономичности;**
2. Разрабатываются **инновационные проекты ВВЭР**, отвечающие современным вызовам;
3. Технология ВВЭР востребована и может эффективно использоваться в **РУ 4-го поколения.**