



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

# Технология

# ВВЭР





ОКБ «ГИДРОПРЕСС»  
ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ»

## Основные цели при разработке новых проектов РУ

- повышение единичной мощности реактора;
- увеличения срока службы основного оборудования РУ;
- повышение КИУМ;
- дальнейшее совершенствование систем безопасности с целью ограничения доз облучения персонала и выхода радиоактивных веществ в окружающую среду в условиях НЭ, ПА, ЗПА;
- уменьшение объема радиоактивных отходов;
- исключение возможности внезапных больших разрывов трубопроводов первого контура за счет внедрения концепции ТПР;
- максимальное удовлетворение требований потенциального заказчика по качеству, обоснованности проекта, потребительским свойствам РУ в составе энергоблока (к примеру, требование по маневренности, использование МОХ-топлива и др.) надежности



ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

# Проектные основы РУ ВВЭР

## Свойства внутренней самозащитенности

- срабатывание органов регулирования в режиме аварийной защиты на основе гравитационных сил;
- самоограничение энерговыделения активной зоны за счет отрицательных коэффициентов реактивности по температуре топлива и теплоносителя, по мощности;
- отсутствие врезок и отверстий ниже главных патрубков корпуса реактора и, соответственно, ниже верхней отметки активной зоны;
- применение пассивных элементов, отсечных, ограничительных и сбросных устройств;
- использование инерционного выбега специальных маховых масс ГЦНА для обеспечения необходимого спада расхода через активную зону при обесточивании.



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

# Проектные основы РУ

## ВВЭР

### Свойства пассивной безопасности

- увеличенный объем теплоносителя над активной зоной реактора в сравнении с ВВЭР-1000 (тип В-320);
- большой объем теплоносителя в первом контуре по отношению к массе топлива и тепловой мощности активной зоны реактора (по сравнению с PWR);
- большой объем компенсатора давления (по сравнению с PWR);
- использование горизонтальных парогенераторов с большим объемом воды во втором контуре по сравнению с PWR и увеличенным объемом по сравнению с ВВЭР-1000;
- использование дополнительного объема воды в гидроемкостях системы охлаждения активной зоны второй ступени



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

# Проектные основы РУ

## ВВЭР

### Обеспечение целостности барьеров безопасности

- применение высокотехнологичных и качественных материалов для оборудования и трубопроводов РУ;
- обеспечение качества проектирования;
- применение современных методик расчетно-экспериментального обоснования обеспечения прочности и плотности оборудования и трубопроводов РУ;
- обеспечение качества изготовления и монтажа оборудования и трубопроводов;
- расширенный эксплуатационный контроль основного металла и металла сварных соединений оборудования.

# Основные целевые показатели

- Номинальная электрическая мощность АЭС должна быть **1000-1300 МВт** (брутто);
- Проектный срок службы основного оборудования станции без необходимости его замены – **60 лет**;
- Коэффициент технического использования, усредненный за весь срок службы АЭС – не менее **92%**;
- Продолжительность межремонтного цикла – до **8 лет**;
- Показатели надёжности:
  - частота аварийных остановов не более 1-го за год работы;
  - средняя за проектный срок службы неготовность энергоблока менее 1,4 % (менее 5 суток за год);



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

# Основные целевые показатели

- Максимальное выгорание топлива по ТВС – до 70 МВт·сут/кг U;
- Длительность межперегрузочного периода – до 24 месяцев;
- Требования к маневренным характеристикам энергоблока в целом – в соответствии с EUR;
- Достижение состояния безопасного останова для любых нарушений проектных условий нормальной эксплуатации для проектных и запроектных аварий (кроме тяжелых аварий) – в течение 24 часов;
- Запас питательной воды на блоке должен быть достаточен для отвода остаточных тепловыделений в течение 24 часов;
- Суммарная частота повреждения активной зоны менее  $10^{-6}$  на реактор в год.

## Условия достижения целевых показателей

Условия достижения целевых показателей РУ и АЭС без снижения уровня безопасности, достигнутого на современных

АЭС:

- **снижение избыточного консерватизма**, закладываемого в расчетное обоснование оборудования, систем и РУ в целом;
- **повышение параметров** первого и второго контуров;
- **увеличение периода технического освидетельствования** оборудования и его капитального ремонта **с 4-х лет до 8-ми лет**;



# Реакторная установка В-428

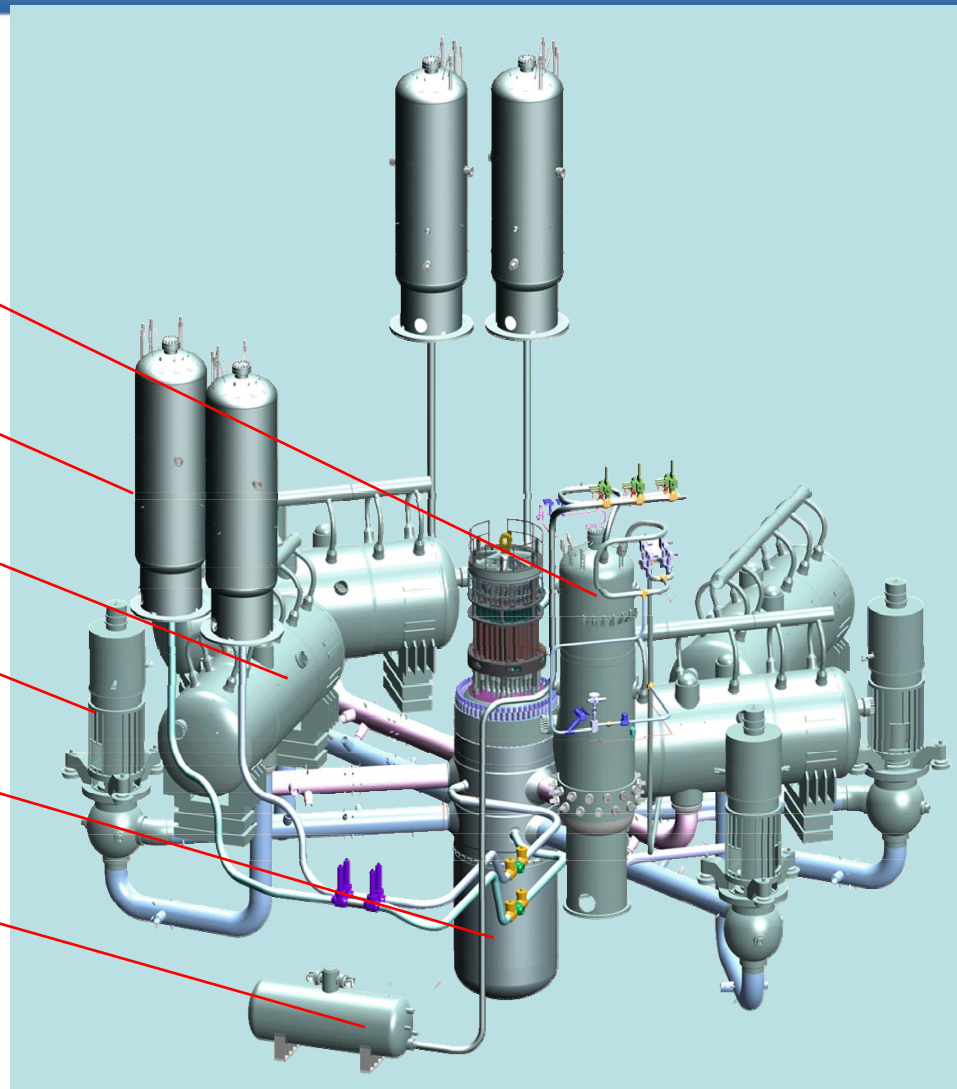
Компенсатор  
давления  
Емкость САОЗ

Парогенератор

ГЦН

А

Реактор  
Барботер



# Основные усовершенствования

## РЕАКТОР

Увеличенная высота  
корпуса реактора

Увеличенное число  
приводов СУЗ

Образцы-свидетели металла корпуса  
реактора размещены на стенке корпуса  
реактора

Для обечаек активной зоны  
применена сталь с повышенной  
радиационной стойкостью

Ловушка расплава  
активной зоны

Усовершенствованы  
внутрикорпусные  
устройства

Усовершенствованные  
ТВС

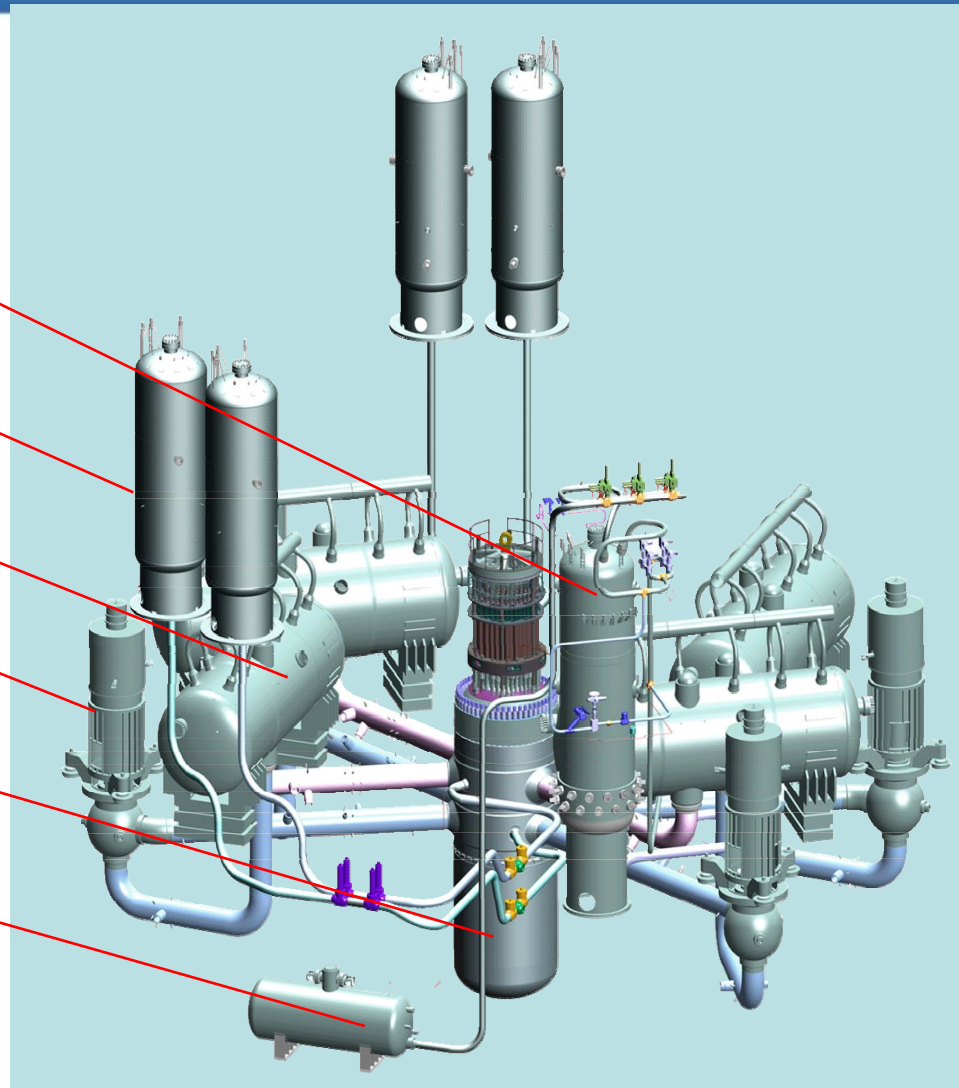
Компенсатор  
давления  
Емкость САОЗ

Парогенератор

ГЦН

А

Реактор  
Барботер

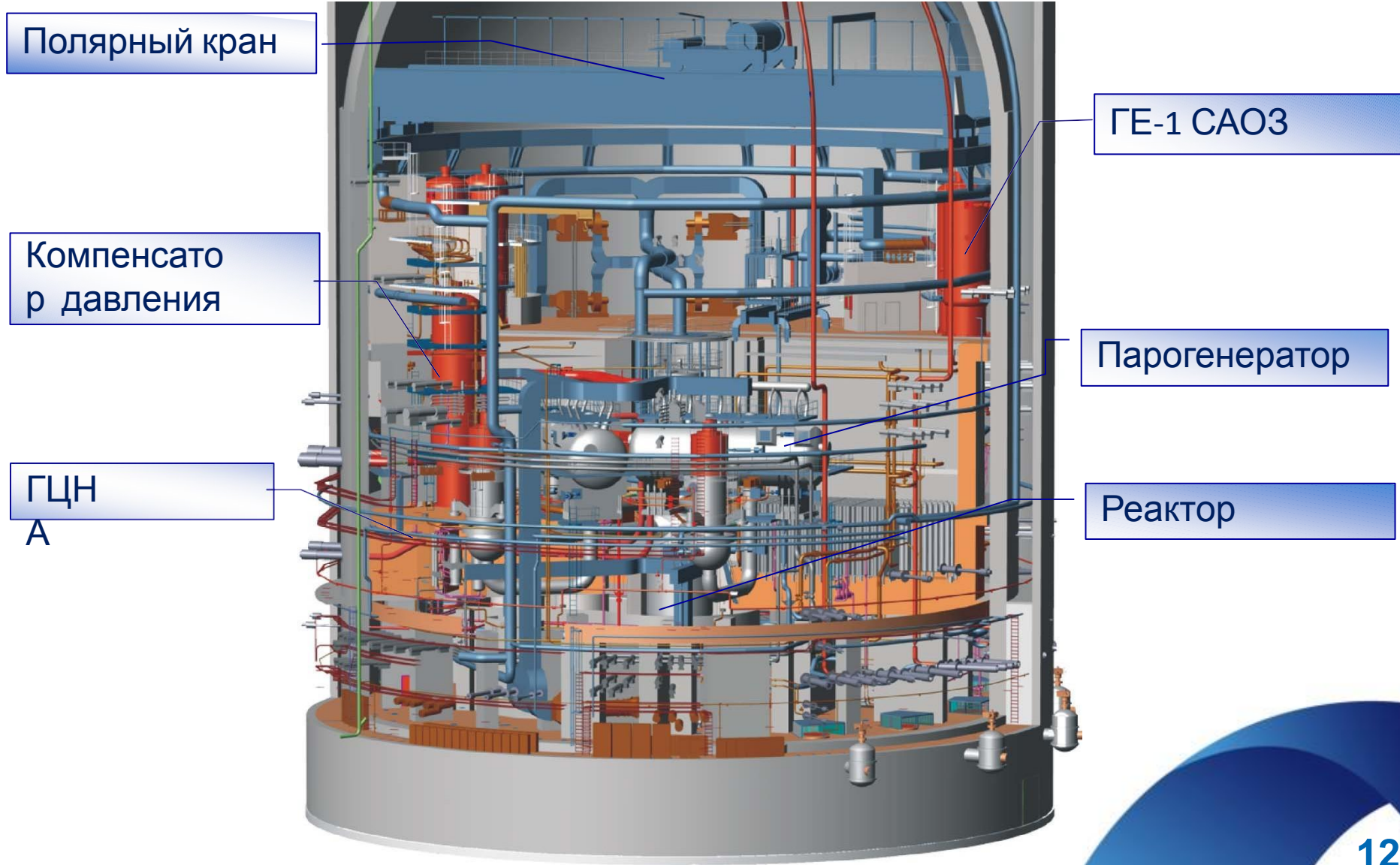




ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

# Реакторное отделение





ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

# Основные параметры РУ

Параметры	АЭС-91	АЭС-2006	АЭС-92
Номинальная тепловая мощность реактора, МВт	3000	3200	3000
КИУМ	0,78	0,92*	0,78
Давление теплоносителя на выходе из реактора, МПа	15,7	16,2	15,7
Температура теплоносителя на входе в реактор, °С	291	298,6	290
Температура теплоносителя на выходе из реактора, °С	321	329,7	319,6
Максимальный линейный тепловой поток, Вт/см	448	420	448
Давление пара на выходе из коллектора пара ПГ (абсолютное), МПа	6,27	7,0	6,27
Расчетное давление первого контура, МПа	17,64	17,64	17,64
Расчетное давление второго контура, МПа	7,84	8,1	7,84
Максимальная по ТВС глубина выгорания топлива в выгружаемых ТВС (в базовом стационарном топливном цикле), МВт сут/кгU	44	59,7/ до 70*	55
Средняя по ТВС глубина выгорания топлива в выгружаемых ТВС (в базовом стационарном топливном цикле), МВт сут/кгU	43	55	49
Межперегрузочный период, мес	12	12/(18-24)*	12
Время нахождения топлива в активной зоне, год	4	4/5*	4
Относительное положение нижних концов топлива и ПЭЛ на жестком упоре, мм, номинальное	52,5	0 *	52,5

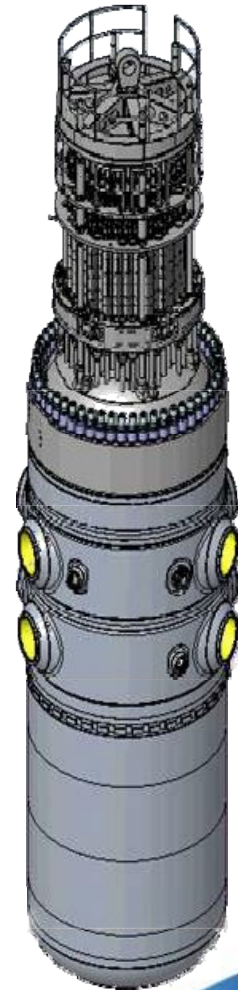
\* - целевые

- ✓ Реакторная установка В-428 тепловой мощностью 3012 МВт
- ✓ КТИ не менее 0,87;
- ✓ Обеспечение безопасности на уровне поколения 3;
- ✓ Максимальное расчетное землетрясение по системе MSK-64 – до 8 баллов (0,20g);
- ✓ Срок службы основного оборудования РУ - 40 лет.
- ✓ Референтным проектом для основного оборудования РУ В-428 является РУ В-392.

# Реактор ВВЭР-1000

В конструкции реактора для АЭС-91 (В-428), по сравнению с серийной РУ, учитываются улучшения, использованные для проекта РУ ВВЭР-1000:

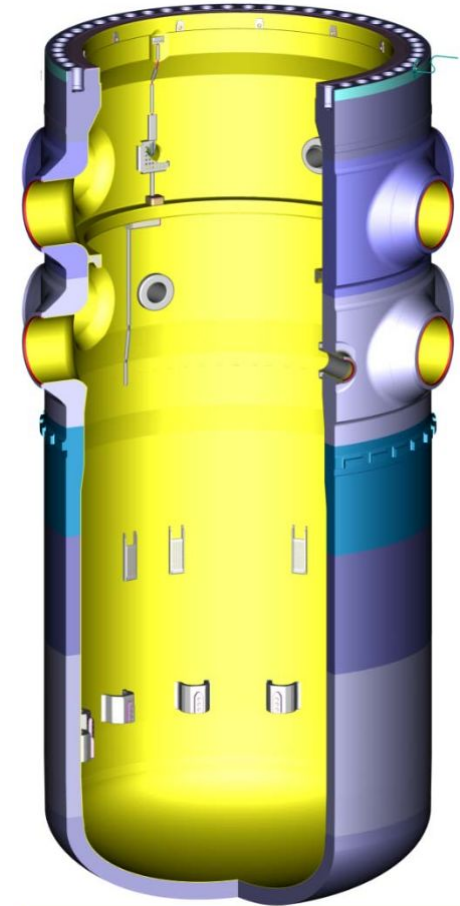
- уменьшение потока нейтронов на корпус реактора;
- улучшение условий охлаждения активной зоны в аварийных ситуациях с потерей теплоносителя;
- снижение дозовых нагрузок на персонал, обслуживающий ГЦНА и парогенераторы;
- увеличенное количество органов СУЗ;
- повышение достоверности контроля флюенса на корпус реактора.



## Корпус реактора

### Отличия корпуса В-428 от В-320:

1. Применение усовершенствованной стали.
2. Патрубок КИП с 16 точками замера.
3. Размещение образцов-свидетелей на стенке корпуса реактора.
4. Корпус удлинен на 300 мм.
5. Оптимизировано расположение сварных швов в районе активной зоны.

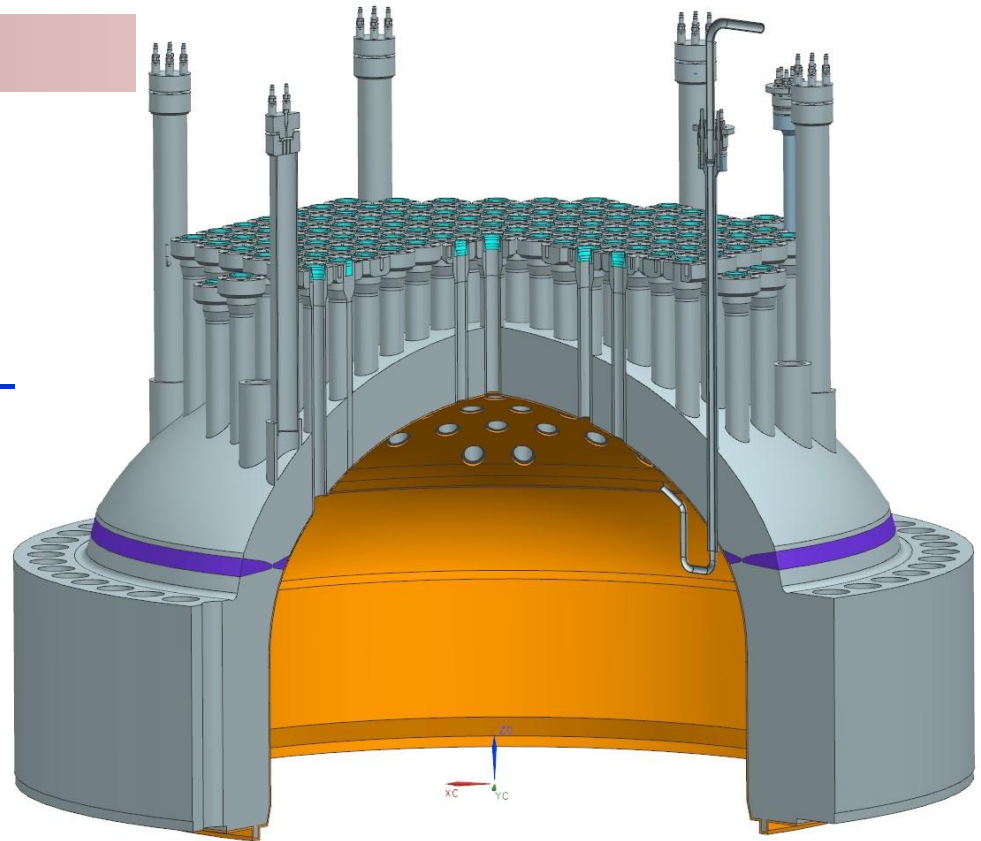




## Крышка реактора

### Отличия крышки В-428 от В-320:

1. Количество патрубков СУЗ-121шт.
2. Количество патрубков СВРД-18шт, расположенных на периферии.

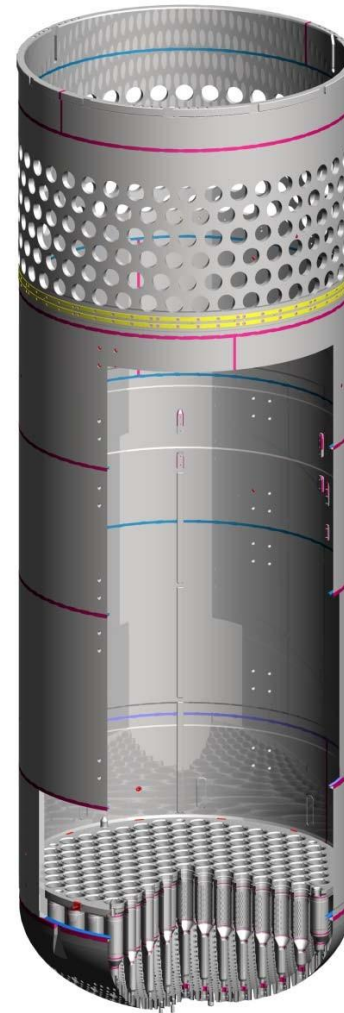


## Шахта внутрикорпусная

### Отличия шахты

#### **внутрикорпусной В-428 от В-320:**

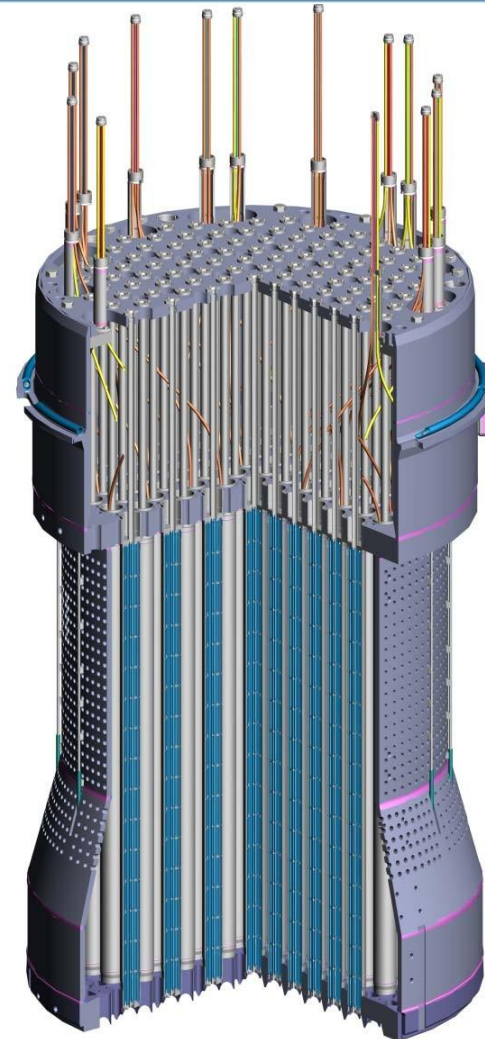
1. Применение съемных компенсационных пластин для регулировки зазора в районе разделительного бурта.
2. Регулируемые по высоте опорные стаканы под ТВС.
3. Выступающие упоры в центральной части днища для прохода теплоносителя в активную зону в ситуации разрушения шахты по полному поперечному сечению.



## Блок защитных труб

### Отличия блока защитных труб В-428 от В-320:

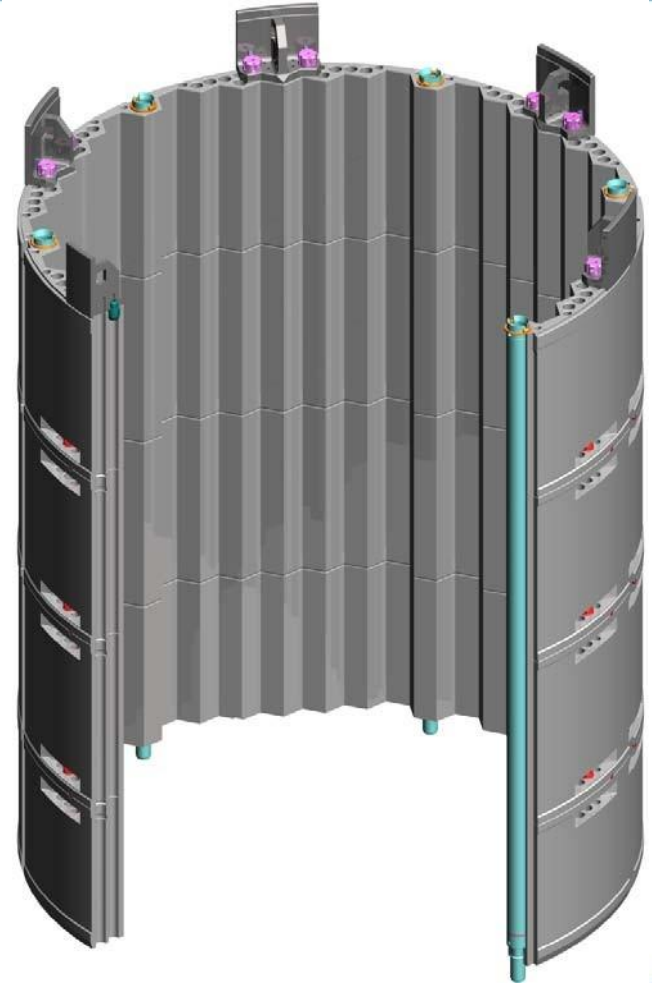
1. Выполнена фиксация БЗТ относительно выгородки при разрыве шахты внутрикорпусной полным сечением.
2. Применение для внутрореакторного контроля только СВРД одинаковой длины.



## Выгородка

### Отличия выгородки В-428 от В-320:

1. Установлены шесть упоров для удержания БЗТ от бокового смещения относительно выгородки и обеспечения возможности падения органов регулирования в случае обрыва шахты.
2. Оптимизированы сверления обечаек выгородки.



## Тепловыделяющая сборка

### ТВС-2

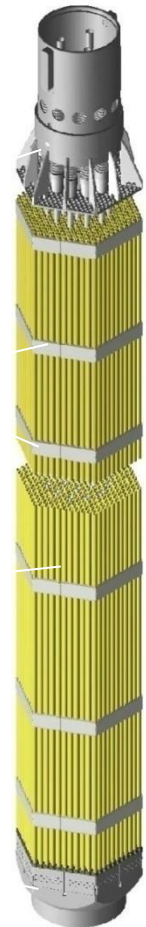
1. Увеличение высоты топливного столба 3530 ⇒ 3680 мм за счет:
  - укорочения головки ТВС;
  - укорочения хвостовика ТВС.
2. Увеличение загрузки топлива в твэле ТВС за счет увеличения длины топливного столба и изменения размеров топливной таблетки

Головка

Дистанционирующая решетка

Тепловыделяющие элементы

Хвостовик



## Привод СУЗ

### Привод СУЗ ШЭМ-3:

- 1.Срок службы – 30 лет. 2.
- Пошаговая индикация положения.
- 3.Установлен один разъем на ДПШ.



## Сборки внутриреакторных детекторов

### Отличие внутриреакторного контроля В-428 от В-320:

1. Отказ от отдельного термоконтроля
2. Применение для контроля внутриреакторных параметров СВРД 3-х типов:
  - КНИТ
  - КНИТТ
  - КНИТУ
3. Наличие термодатчиков с диапазоном измерения температуры до 1200°C
4. Наличие аварийного уровнемера



## Компенсатор

Параметр	Значение
Объём, м <sup>3</sup>	79
Объём воды, м <sup>3</sup>	55
Давление, МПа	15,6
Температура, °С	345,2

1. Модернизирована система регулирования давления в первом контуре путем ввода дополнительной линии впрыска для реализации автоматического алгоритма «течь из 1 контура во второй».
2. Использование наплавки вместо рубашек в патрубках и отверстиях.





## Гидроемкость системы аварийного охлаждения

### Отличие гидроемкости В-428 от В-320:

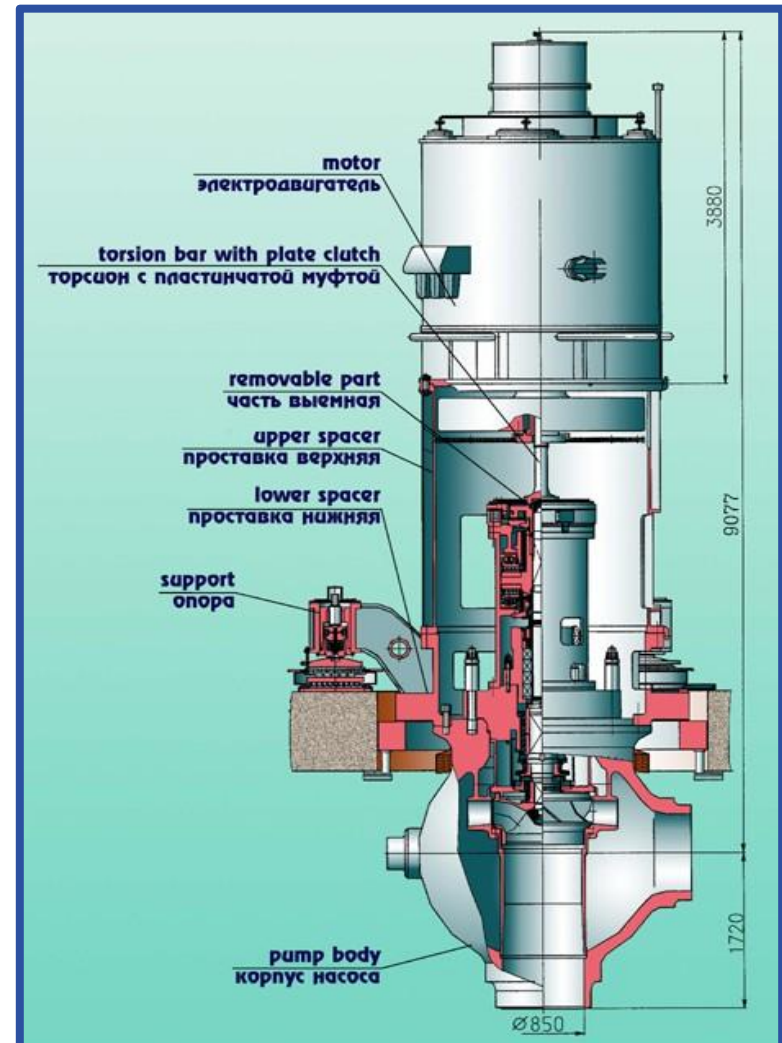
Большее количество точек контроля  
теплофизических параметров в гидроемкости



# Основное оборудование РУ

## ГЦНА-1391

- применение торсиона с пластинчатой муфтой вместо зубчатой муфты;
- использование главного радиально-осевого подшипника с водяной смазкой;
- в режиме стоянки теплоотвод от нижнего радиального подшипника осуществляется естественной циркуляцией;
- сферическая форма сварно-штампованного корпуса;
- двигатель имеет следующие преимущества:
  - ❖ индивидуальная система смазки;
  - ❖ пуск двигателя осуществляется в начале до 750 об/мин, а затем производится переход на номинальную скорость вращения 1000 об/мин.



## Функции СУЗ

- ❑ Аварийная и предупредительная защита реактора
- ❑ Управление технологическими системами безопасности
- ❑ Автоматическое регулирование мощности реактора
- ❑ Ручное управление регулируемыми стержнями реактора
- ❑ Контроль положения регулирующих стержней реактора

## Основные требования к СУЗ

- ❑ Удовлетворение принципу единичного отказа
- ❑ Защита от отказов по общей причине
- ❑ Высокая надежность системы
- ❑ Возможность проверки и восстановления при отказах
- ❑ Обеспечение требований программы обеспечения качества при проектировании и производстве

# Система управления и защиты

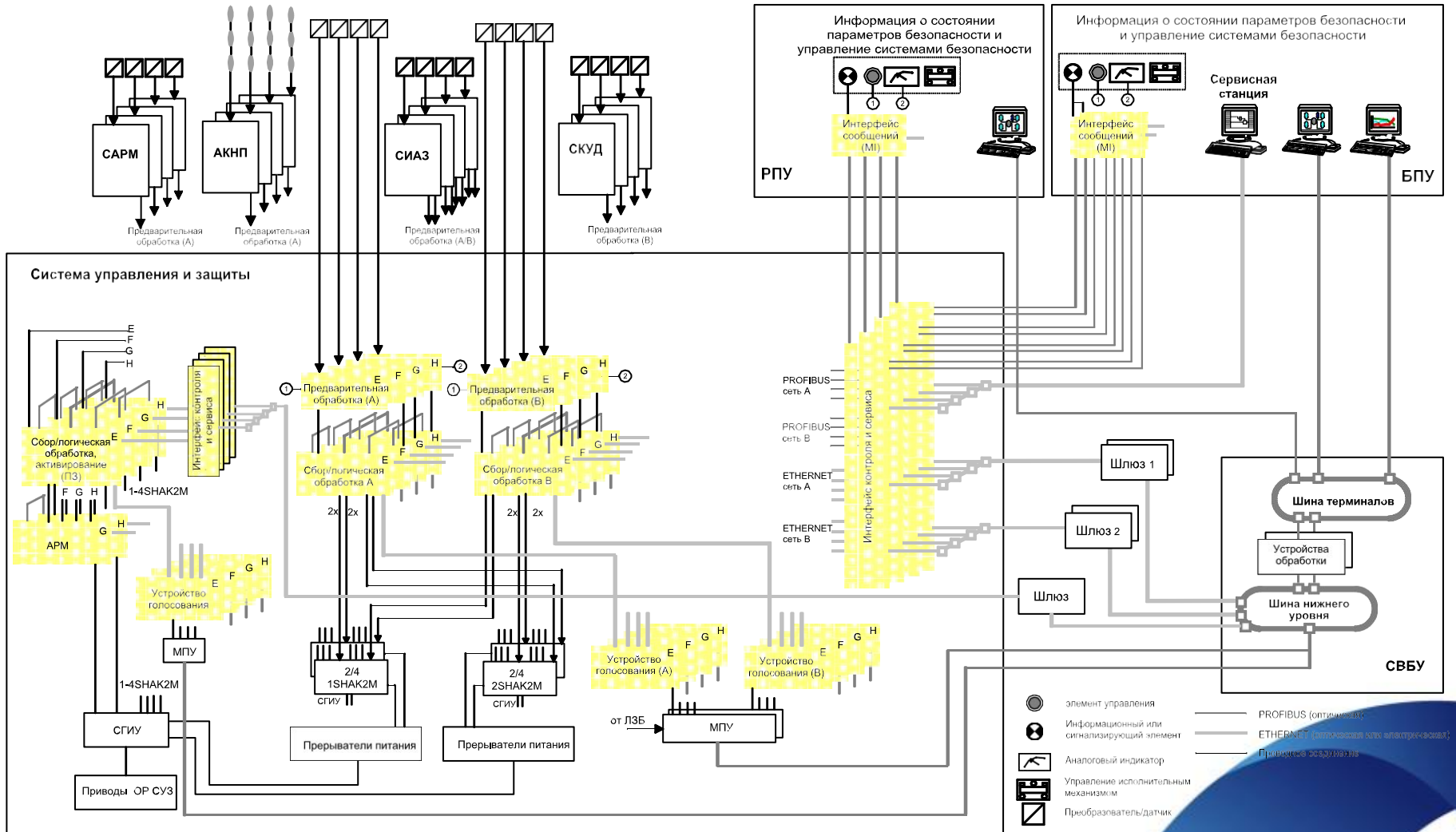
## Проектные основы

- ❑ Принцип единичного отказа
- ❑ Защита от отказов по общей причине (реализация принципа разнообразия)
- ❑ Высокая надежность системы
- ❑ Возможность проверки и восстановления при отказах
- ❑ Обеспечение требований программы обеспечения качества при проектировании и производстве
- ❑ Принцип однократного ввода информации (сокращение количества первичных преобразователей и линий связи)
- ❑ Открытость системы (возможность расширения функций при эксплуатации за счет резерва входных и интерфейсных сигналов)

## Особенности:

- ❑ Два независимых комплекта АЗ, реализованных на базе программно-технических средств
- ❑ Четыре канала УСБТ, реализованных на базе программно-технических средств
- ❑ Один комплект ПЗ, реализованный на базе программно-технических средств
- ❑ Применение СГИУ и АРМ на базе программно-технических средств
- ❑ Использование функционального разнообразия

# Система управления и защиты



## Назначение СКУД

СКУД представляет собой децентрализованную систему, состоящую из систем, объединяемых общей задачей контроля и диагностирования РУ в процессе ее эксплуатации.

СКУД построена по принципу объединения функционально законченных систем, выполняющих свои функции в полном объеме объединенных информационными потоками.



## Состав СКУД

В состав СКУД входят следующие системы:

- система внутриреакторного контроля (СВРК);
- системы в составе:

комплекса автоматического диагностирования системы контроля вибраций (СКВ), системы контроля систем (СКД), системы (СКТ) теплоносителя первого контура (СКТ), система обнаружения свободных предметов (СОСП), система контроля остаточного ресурса (САКОР);

- система комплексного анализа (СКА).

## Основные задачи СКУД

СКУД обеспечивает выполнение следующих основных задач:

- контроль нейтронно-физических и теплогидравлических параметров и показателей состояния активной зоны реактора, теплогидравлических параметров первого и второго контуров в объеме, необходимом для определения средневзвешенной мощности реактора;
- формирование и передачу в иницирующую часть СУЗ (АЗ, ПЗ) сигналов аварийной и предупредительной (ПЗ-1, ПЗ-2) защиты по внутрореакторным локальным параметрам (минимальный запас до кризиса теплообмена, максимальное линейное энерговыделение ТВЭЛ в диапазоне мощностей реактора для аварийной защиты); работе полем энергоблока в режимах с мощностью по планируемому изменению нагрузки (диспетчерский график) в диапазоне от 100 до 20 % от номинальной мощности;

- диагностирование в процессе эксплуатации основного технологического оборудования РУ в части контроля вибронагруженности и надежности крепления элементов оборудования РУ, обнаружения свободных и слабозакрепленных предметов в контуре циркуляции, контроля герметичности ГЦК и оценки остаточного ресурса;

эксплуатационного контроля параметров эксплуатации в пределах и за пределами безопасной и безопасной эксплуатации, формирование сигналов об отклонении за пределы и за пределами безопасной эксплуатации, отображение этой информации на мониторах ПТС СКУД и передачу данной информации (в том числе для отображения на БПУ) в СВБУ и на АРМ КЭ СУЗ/СКУД, с целью предотвращения развития аварии и исключения повреждения активной зоны и основного оборудования РУ;

- представление информации о текущем состоянии активной зоны и основного оборудования РУ на ПТС СКУД и передачу данной информации (в том числе для отображения на БПУ) в СВБУ и на АРМ КЭ СУЗ/СКУД, для информационной поддержки персонала;

- контроль ВХР первого контура с выдачей рекомендаций персоналу (в том числе и в СВБУ) по оптимальному ведению ВХР;
- контроль ограничений по нагрузке топлива в процессе выгорания активной зоны;
  - представление (по эксплуатационного персонала) информации для определения эксплуатационным персоналом состояния активной зоны и текущего оборудования РУ на основе комплексного анализа всей необходимой информации от систем, входящих в состав СКУД, и от СВБУ для выработки рекомендаций по ходу эксплуатации энергоблока;
- информационная поддержка по оптимальной нагрузке ТВЭЛ с учетом истории их выгорания на основе анализа термомеханических свойств ТВЭЛ;
- измерение и представление данных по реактивности, необходимых для контроля нейтронно-физических характеристик активной зоны реакторной установки при вводе блока в эксплуатацию, проведении ПНР, в процессе освоения мощности, а также при регламентных измерениях на МКУ после перегрузок топлива;

# СКУД

- создание архива данных по истории эксплуатации активной зоны и основного технологического оборудования РУ (в объеме, контролируемом СКУД), для оптимизации и повышения качества профилактических осмотров, диагностики и ремонта остановленного оборудования на этапе перегрузки топлива;
- обмен данными: от ВК СВРК, ВК СКД и ВК САКОР через СВБУ с системами АСУ ТП энергоблока для решения общеблочных задач и получения информации, необходимой для функционирования СКУД;
- диагностирование собственных технических и программных средств СКУД.





ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

# Системы безопасности

- ✓ Обеспечение уровня безопасности не ниже требований АЭС поколения «3»;
- ✓ Построение систем безопасности преимущественно на активном принципе;
- ✓ Снижение затрат на эксплуатацию (оптимизация обслуживания, контроля и ремонта).

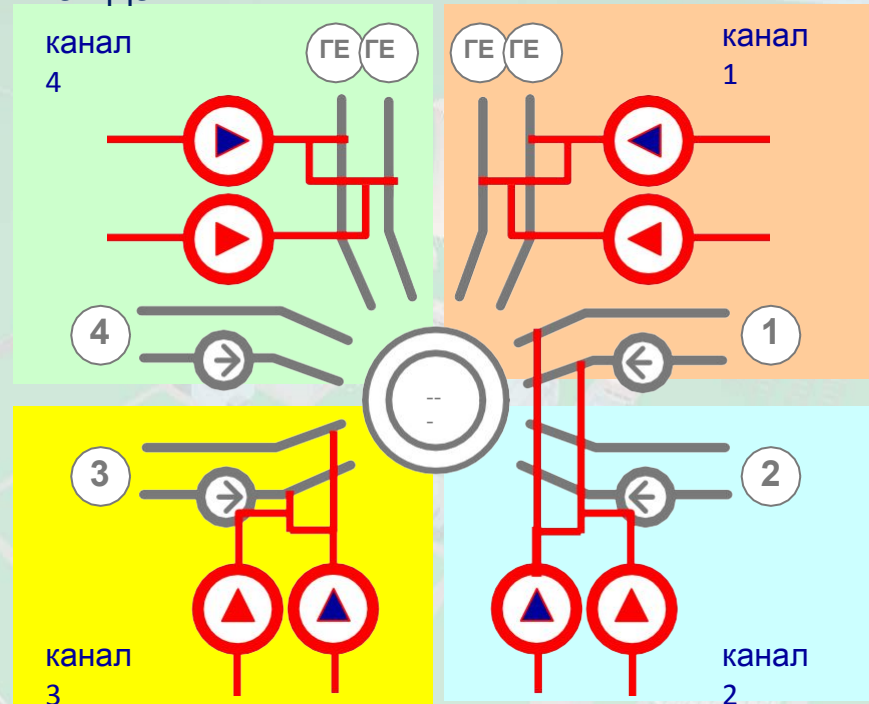
# Системы безопасности

## Активная часть САОЗ

Системы аварийного впрыска высокого (САВ ВД) и низкого давления (САВ НД) предназначены для подачи раствора борной кислоты в систему теплоносителя реактора при авариях с потерей теплоносителя во всем спектре проектных течей вплоть до течи Ду850 (МПа).

Наименование параметра	Значение
Р Макс. напор САВ ВД, МПа	7,9 G
Макс. подача САВ ВД, м <sup>3</sup> /ч	250 P
Макс. напор САВ НД, МПа	2,5 G
Макс. подача САВ НД, м <sup>3</sup> /ч	900 C
Концентрация H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , г/кг	16

Раздельные четырехканальные системы высокого и низкого давления с резервированием каналов 4 x 100 % каждая





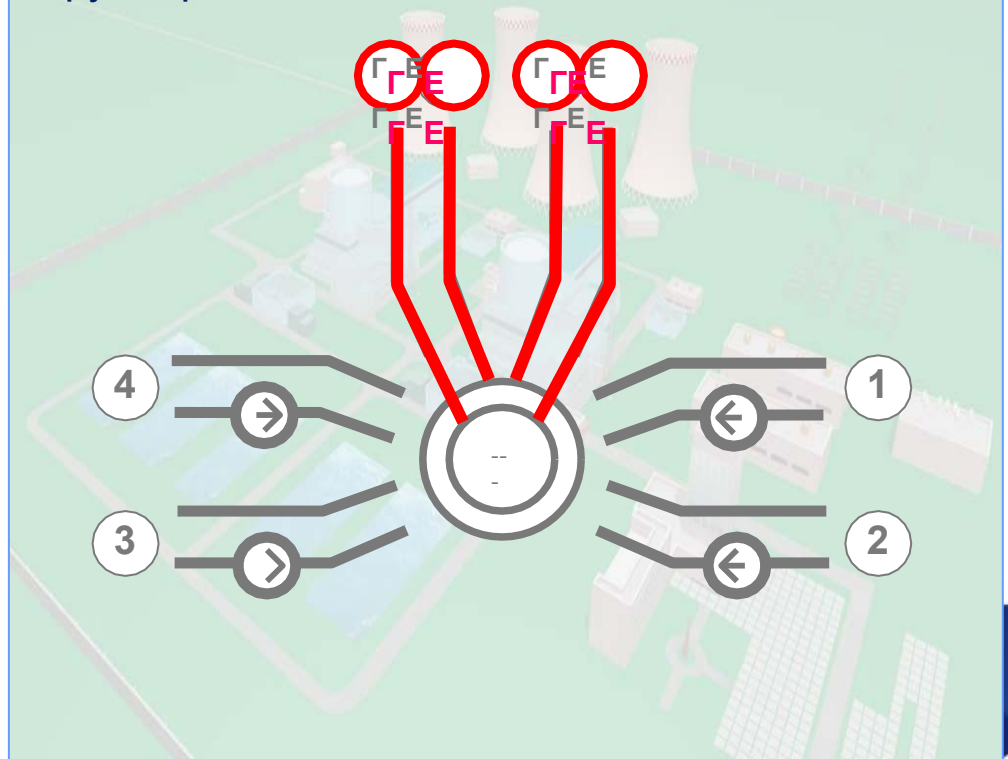
# Системы безопасности

## Пассивная часть САОЗ

Пассивная часть системы аварийного охлаждения зоны (ГЕ-1) предназначена для подачи в реактор раствора борной кислоты при давлении в первом контуре менее 5,9 МПа в проектных авариях с потерей теплоносителя до подключения низконапорных насосов САВ НД.

	Наименование параметра	Значение
N	Количество на блок, шт.	4
P	Ном. давление, МПа	5,9
C	Концентрация $H_3BO_3$ , г/кг	16
V	Объем емкости/раствора, м <sup>3</sup>	60 / 50

Пассивная часть САОЗ (ГЕ-1) состоит из четырех идентичных и полностью независимых один от другого каналов. Каждый канал пассивной части САОЗ включает в себя емкость САОЗ, арматуру и трубопроводы.



# Системы безопасности

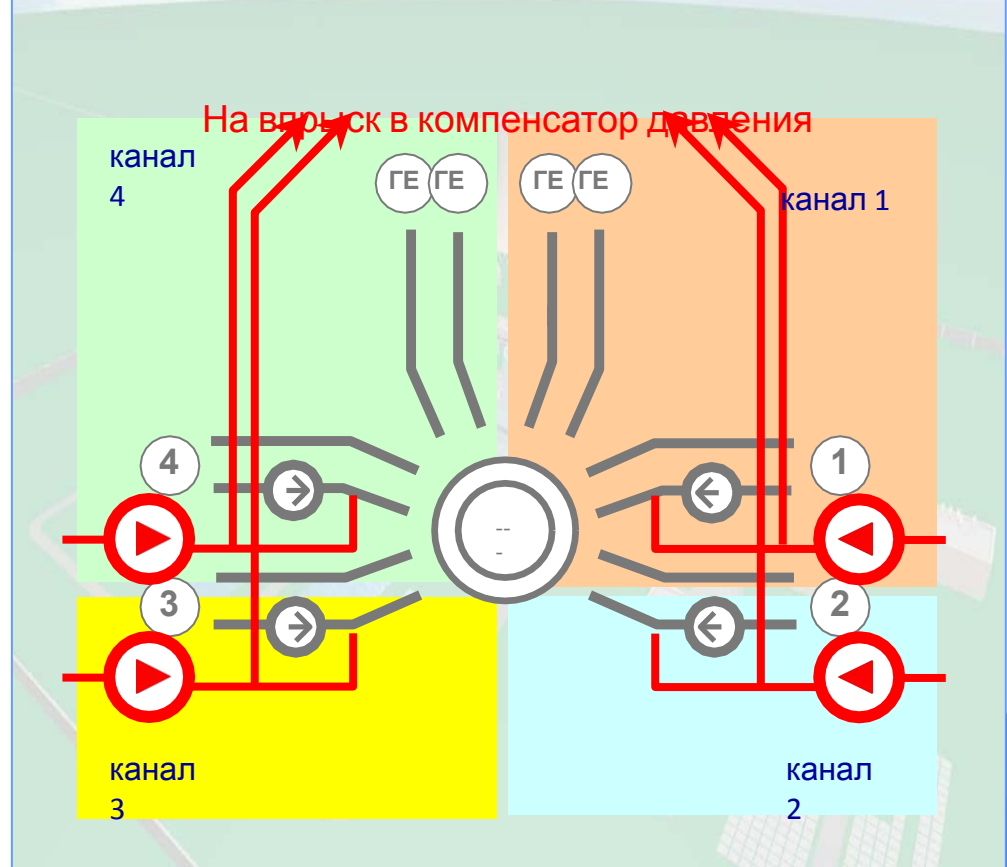
## САВБ (система аварийного ввода бора)

САВБ предназначена для:  
 ...впрыска раствора борной кислоты в КД при авариях с течью из первого контура во второй, для быстрого снижения давления в первом контуре;  
 ... подачи в первый контур раствора борной кислоты для быстрого перевода реакторной установки в подкритическое состояние в режимах с отказом срабатывания аварийной защиты реактора (режимы АТWS)

Всасывающие трубопроводы насосов аварийного ввода бора подключены к двум бакам с концентрацией борной кислоты

40 г/кг объемом 150 м<sup>3</sup> каждый. Для подачи борной кислоты от САВБ доступно не менее 80 м<sup>3</sup>

## Четырехканальная система резервирования каналов аварийного ввода бора (САВБ) 4 x 50 %



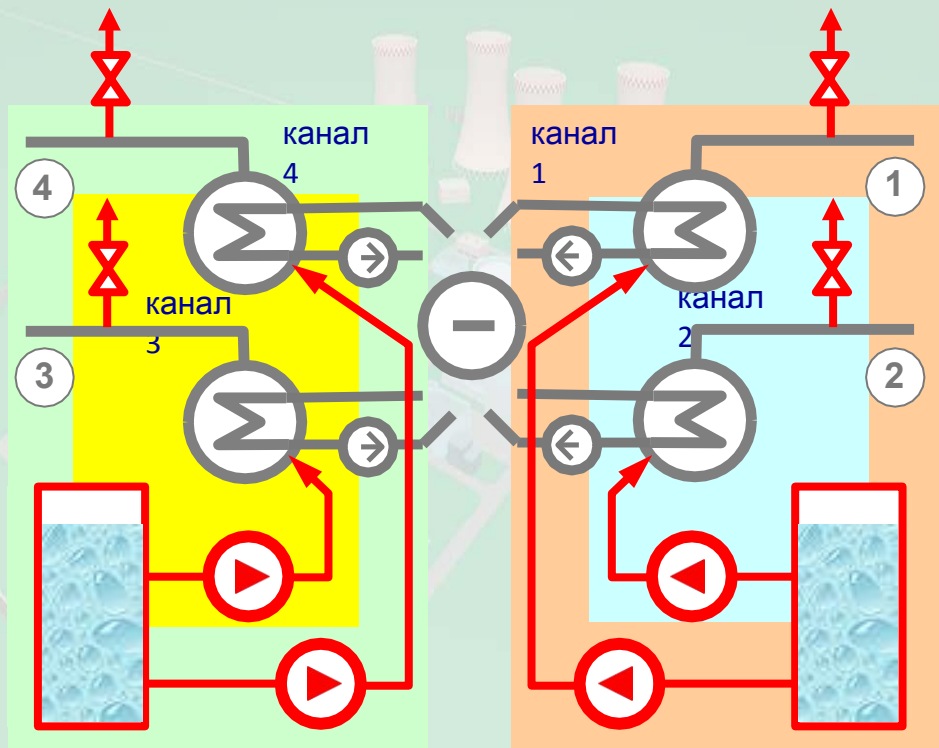
# Системы безопасности

## АПЭН (система аварийной питательной воды)

Система аварийной питательной воды предназначена для обеспечения питательной водой ПГ в условиях, когда подача питательной воды от штатной системы и вспомогательной системы невозможна

Наименование параметра		Значение
G	Расход от одного АПЭН, т/ч	150
T	Температура аварийной п.в., °C	5 - 40
N	Количество баков запаса, шт.	2 + 2
V	Объем бака, м <sup>3</sup>	700
D	Возможность задания скорости расхолаживания БРУ-А	+

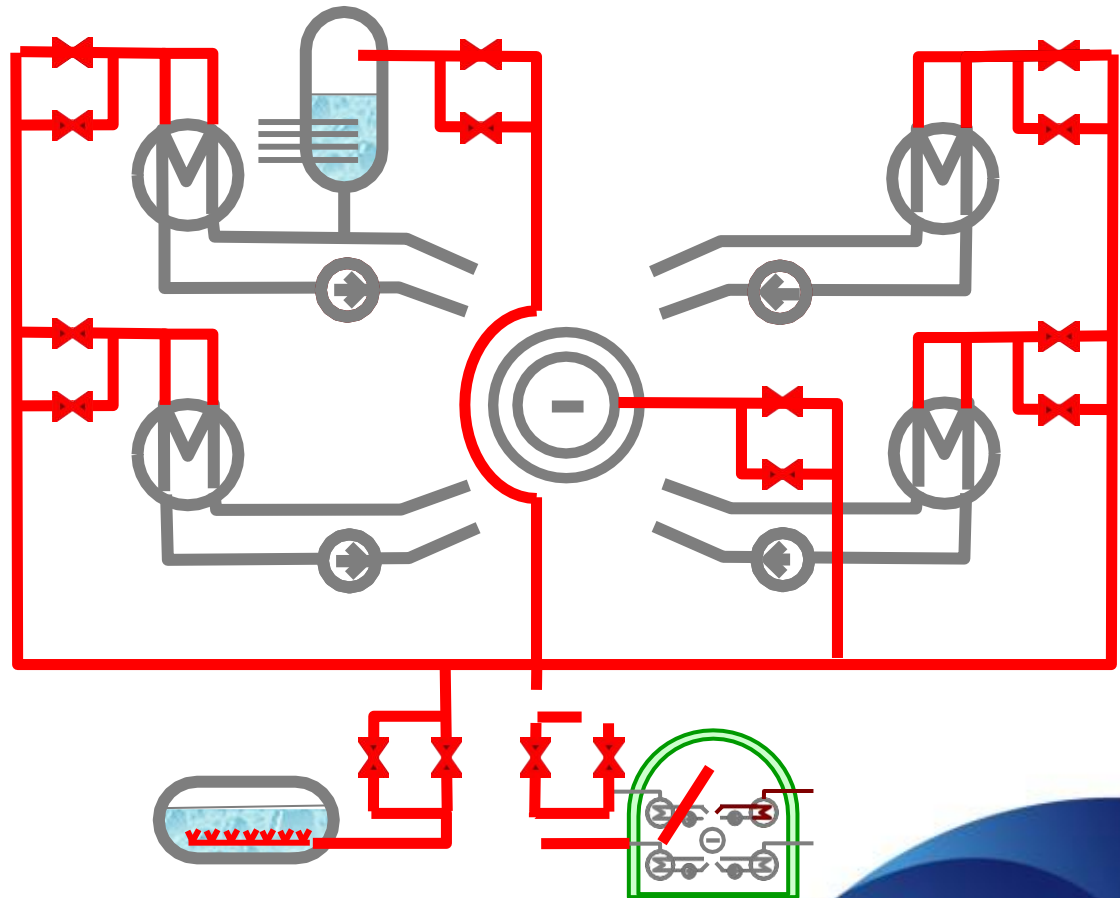
Четырехканальная система с резервированием каналов 4 x 100 % с баками запаса аварийной питательной воды



# Системы безопасности

## Система аварийного газоудаления (САГ)

Система аварийного газоудаления является системой для управления запроектными авариями и предназначена для отвода парогазовой смеси, образующейся в первом контуре и накапливающейся под крышкой реактора, в коллекторах парогенераторов и в компенсаторе давления при авариях, сопровождающихся вскипанием теплоносителя и выделением газов из теплоносителя.



# Уроки Фукусимы

1. Выполнен анализ устойчивости Тяньваньской АЭС к катастрофическим внешним воздействиям природного характера по типу аварии на АЭС «Фукусима» в Японии.
2. Разработан концептуальный проект дополнительного оснащения блоков АЭС, предназначенного для ослабления последствий и управления авариями, связанными с повреждениями площадочной инфраструктуры.
3. Реализация мероприятий позволит обеспечить отвод остаточных тепловыделений от активной зоны и бассейна выдержки на несколько суток за счет запаса воды имеющейся на площадке, и более длительное время с учетом доставки дополнительных объемов воды

# Реакторная установка для АЭС-2006 В-491



2013/3/14

- ✓ Реакторная установка В-491 тепловой мощностью 3212 МВт
- ✓ КТИ не менее 0,92;
- ✓ Обеспечение безопасности на уровне поколения 3+;
- ✓ Максимальное расчетное землетрясение по системе MSK-64 – до 7 баллов (0,12g);
- ✓ Срок службы основного оборудования РУ - 60 лет.



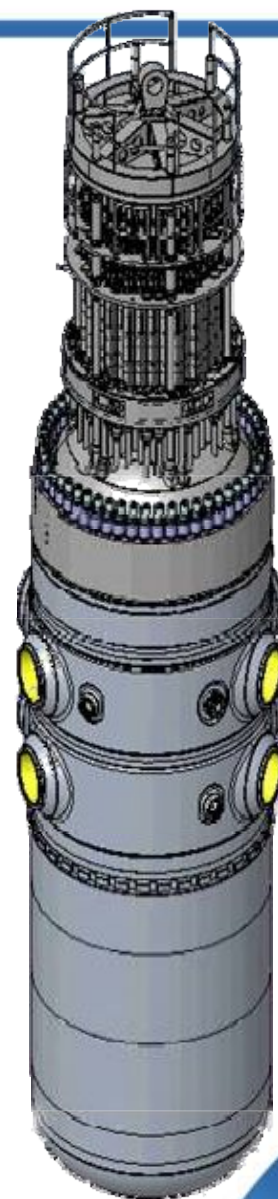
ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

# Реактор ВВЭР-1200

Основные конструктивные отличия реактора ВВЭР-1200 для АЭС-2006 (В-491) по отношению к реактору ВВЭР-1000:

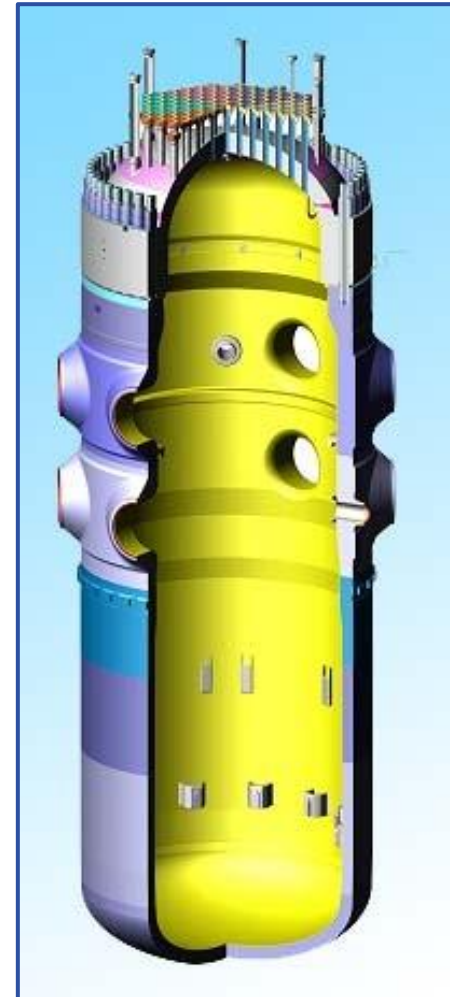
- Внутренний диаметр корпуса увеличен на 100 мм;
- Высота топливного столба увеличена на 200 мм;
- Высота выгородки увеличена на 200 мм;
- Удлиненный направляющий каркас для ОР СУЗ в блоке защитных труб





## Корпус

Параметр	Значение	
	<b>ВВЭР-1200</b>	<b>ВВЭР-1000</b>
Длина , мм	11185	11185
Диаметр внутренний, мм	4250	4150
Толщина стенки в районе активной зоны, мм	197,5	192,5
Масса, т	330	320







ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

# Основное оборудование РУ

## Активная зона

Наименование характеристики	Значение	
	ВВЭР-1000	ВВЭР-1200
Количество ТВС, загружаемых при перегрузке, шт:	42	42
Масса $UO_2$ в ТВС, кг	494	533
Среднее обогащение топлива подпитки по $^{235}U$ , массовый %	4,26	4,79
Длительность топливной загрузки при работе на номинальной мощности, эфф. сут	292,9	342,5
Выгорание выгружаемого топлива, МВт·сут/кгU: - среднее по всем ТВС - максимальное по ТВС	48,4 51,5	55,5 59,1
Максимальная в ходе работы топливной загрузки относительная мощность ТВС ( $K_d$ )	1,31	1,37
Максимальная в ходе работы топливной загрузки относительная мощность твэла ( $K_r$ )	1,46	1,52
Максимальная линейная мощность твэла ( $Q_l$ ), Вт/см	288	299
Температура повторной критичности, °С	190	91



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

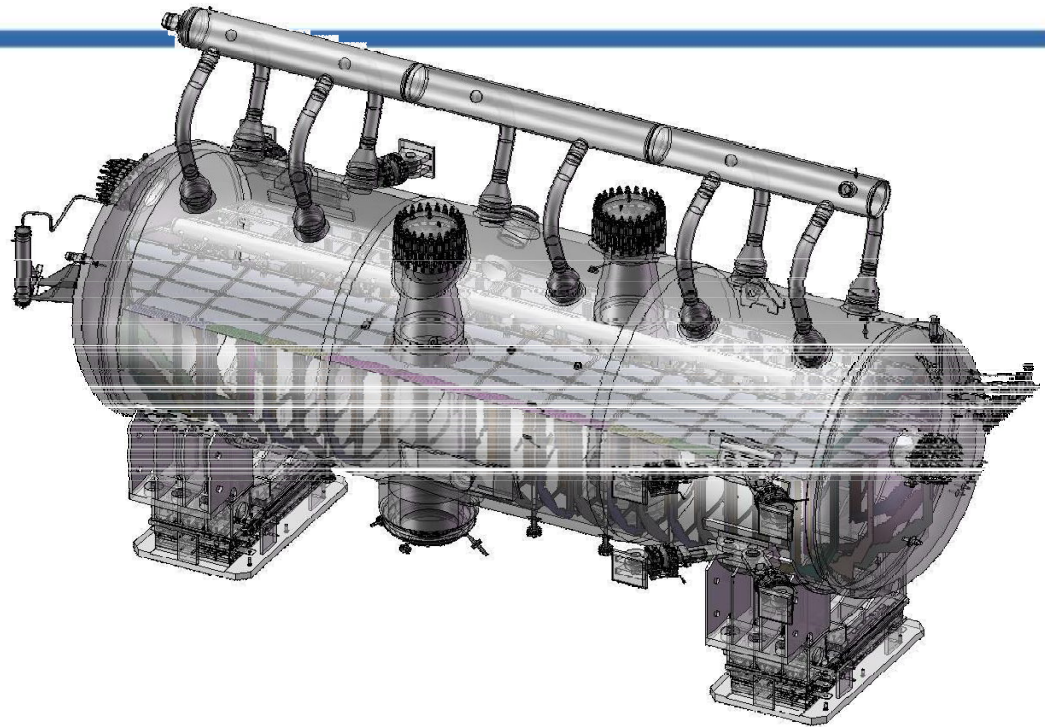
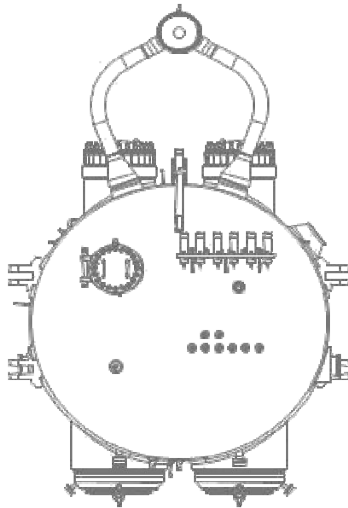
# Основное оборудование РУ

## Активная зона

- Увеличение длины топливного столба с 3530 до **3730 мм**  
( $\Delta l \approx 200 \text{ мм}$ ) за счет:
  - укорочения головки ТВС;
  - укорочения хвостовика ТВС.
- Увеличение загрузки топлива в твэле ТВС за счет увеличения длины топливного столба и изменения размеров топливной таблетки.

# Основное оборудование РУ

## Парогенератор



Параметр	ВВЭР- 1000	ВВЭР-1200
Парогенератор	ПГВ-1000М	ПГВ-1000МКП
Внутренний диаметр корпуса парогенератора, м	4,0	4,2



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

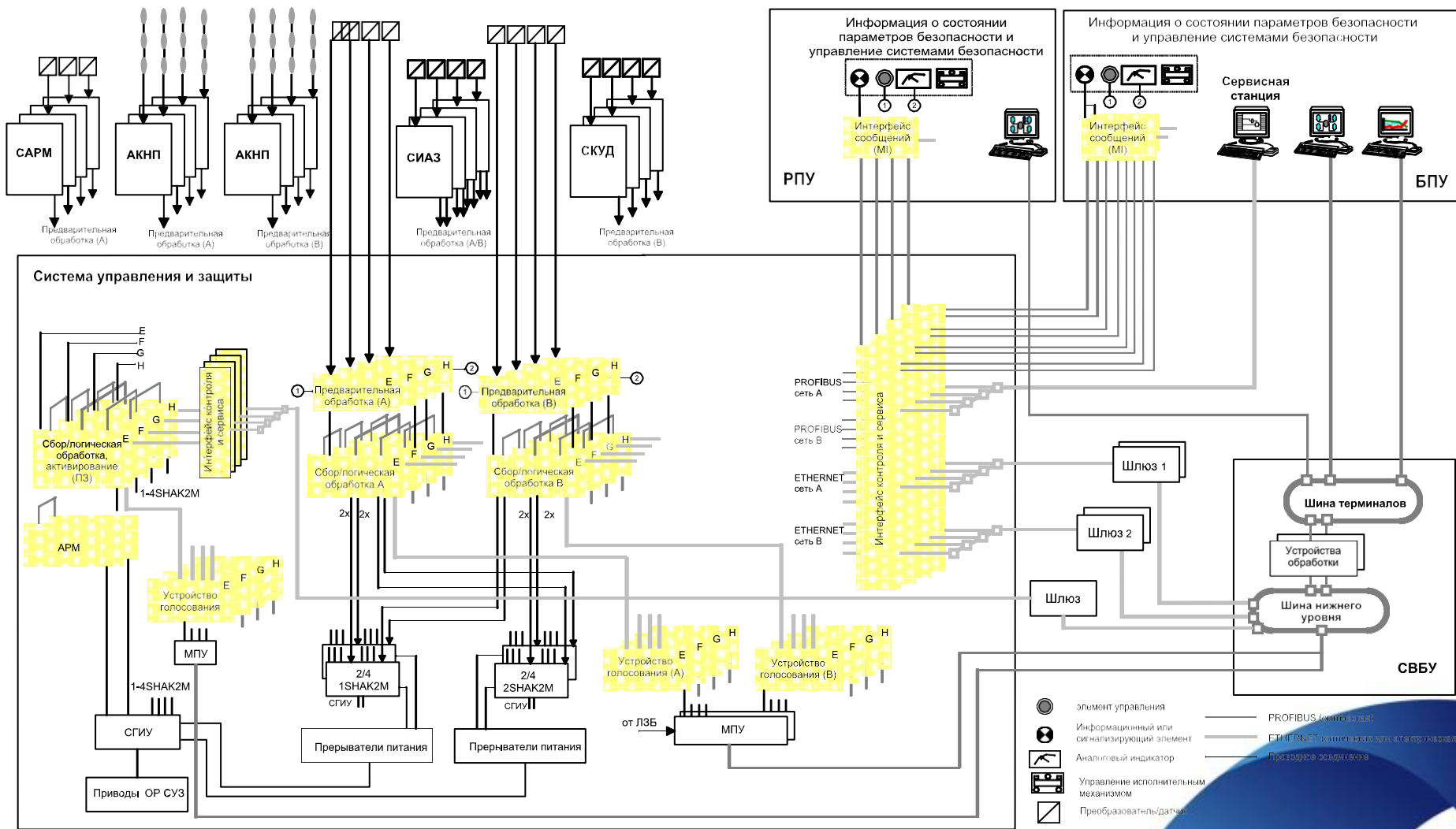
# Основное оборудование РУ

## Парогенератор

Параметр	ПГВ-1000 МКП	ПГВ-1000М
Расчетное давление по второму контуру, МПа	8,1	7,84
Паропроизводительность, т/ч	1602	1470
Температура питательной воды	225	220
Давление пара на выходе из коллектора ПГ, МПа	7,0	6,27
Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	6104,9	6036
Объем воды по второму контуру	63	52
Количество трубок, шт	10978	10978
Размер трубок, мм	16 x 1,5	16 x 1,5
Компоновка трубного пучка	коридорная	шахматная
Внутренний диаметр корпуса парогенератора, м	4,2	4
Расход непрерывной продувки, т/ч	20	15

## Парогенерат

- **ор** увеличен запас воды по второму контуру с 52 до 63 т;
- применена разреженная коридорная компоновка труб в теплообменном пучке;
- увеличена интенсивность и повышен расход непрерывной и периодической продувки;
- введены смывные устройства (разъемные штуцера на нижней образующей корпуса и переходных кольцах коллекторов теплоносителя) для удаления шлама с нижних рядов теплообменных труб и корпуса ПГ в период ППР;
- увеличена скорость циркуляции в трубном пучке;
- снижена возможность забивания межтрубного пространства отслоившимся шламом;
- облегчен доступ в межтрубное пространство для инспекции;
- увеличен запас воды в парогенераторе;
- увеличено пространство под трубным пучком для облегчения удаления шлама;
- улучшено напряженное состояние коллектора теплоносителя.





В состав СКУД входят следующие системы:

- система внутриреакторного контроля (СВРК);
- системы в составе:



комплексной диагностики системы контроля вибраций (СКВ), системы контроля течей (СКТ), системы теплоносителя первого контура (СКТ), система обнаружения свободных предметов (СОСП), система контроля остаточного ресурса (САКОР);

- система комплексного анализа (СКА).

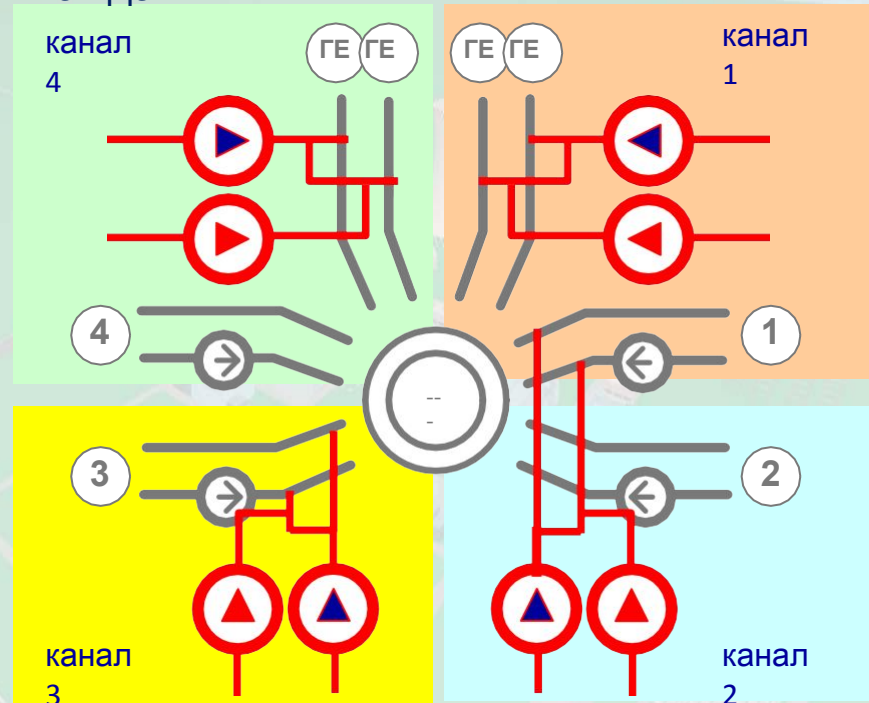
# Системы безопасности

## Активная часть САОЗ

Системы аварийного впрыска высокого (САВ ВД) и низкого давления (САВ НД) предназначены для подачи раствора борной кислоты в систему теплоносителя реактора при авариях с потерей теплоносителя во всем спектре проектных течей вплоть до течи Ду850 (МПа).

Наименование параметра	Значение
Р Макс. напор САВ ВД, МПа	7,9 G 
Макс. подача САВ ВД, м <sup>3</sup> /ч	250 P
Макс. напор САВ НД, МПа	2,5 G 
Макс. подача САВ НД, м <sup>3</sup> /ч	900 C
Концентрация H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , г/кг	16

Раздельные четырехканальные системы высокого и низкого давления с резервированием каналов 4 x 100 % каждая



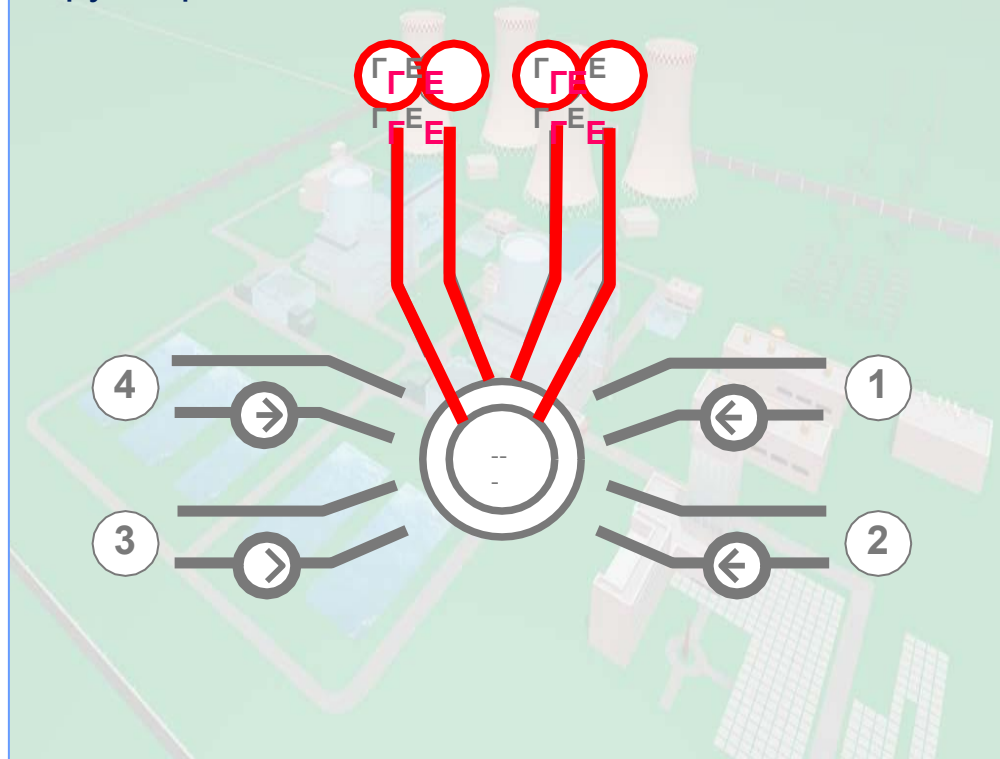
# Системы безопасности

## Пассивная часть САОЗ

Пассивная часть системы аварийного охлаждения зоны (ГЕ-1) предназначена для подачи в реактор раствора борной кислоты при давлении в первом контуре менее 5,9 МПа в проектных авариях с потерей теплоносителя до подключения низконапорных насосов САВ НД.

	Наименование параметра	Значение
N	Количество на блок, шт.	4
P	Ном. давление, МПа	5,9
C	Концентрация $H_3BO_3$ , г/кг	16
V	Объем емкости/раствора, м <sup>3</sup>	60 / 50

Пассивная часть САОЗ (ГЕ-1) состоит из четырех идентичных и полностью независимых один от другого каналов. Каждый канал пассивной части САОЗ включает в себя емкость САОЗ, арматуру и трубопроводы.



# Системы безопасности

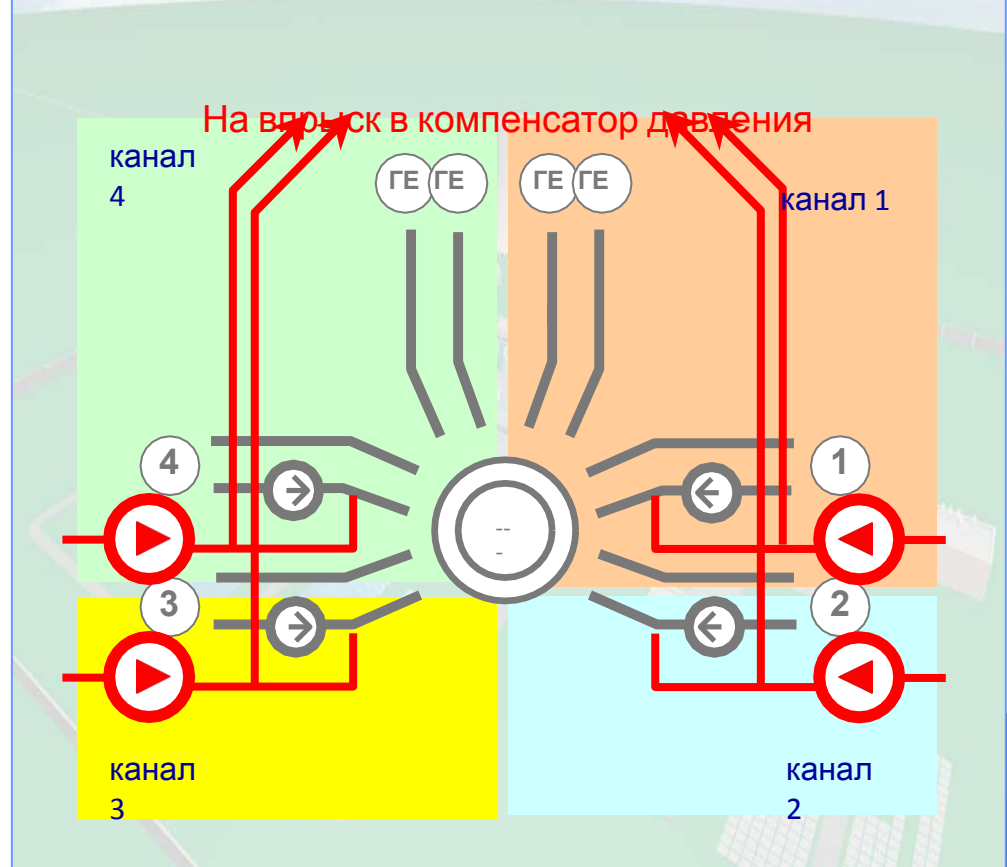
## САВБ (система аварийного ввода бора)

САВБ предназначена для:  
 ...впрыска раствора борной кислоты в КД при авариях с течью из первого контура во второй, для быстрого снижения давления в первом контуре;  
 ... подачи в первый контур раствора борной кислоты для быстрого перевода реакторной установки в подкритическое состояние в режимах с отказом срабатывания аварийной защиты реактора (режимы АТWS)

Всасывающие трубопроводы насосов аварийного ввода бора подключены к двум бакам с концентрацией борной кислоты

40 г/кг объемом 150 м<sup>3</sup> каждый. Для подачи борной кислоты от САВБ доступно не менее 80 м<sup>3</sup>

## Четырехканальная система резервирования каналов аварийного ввода бора (САВБ) 4 x 50 %



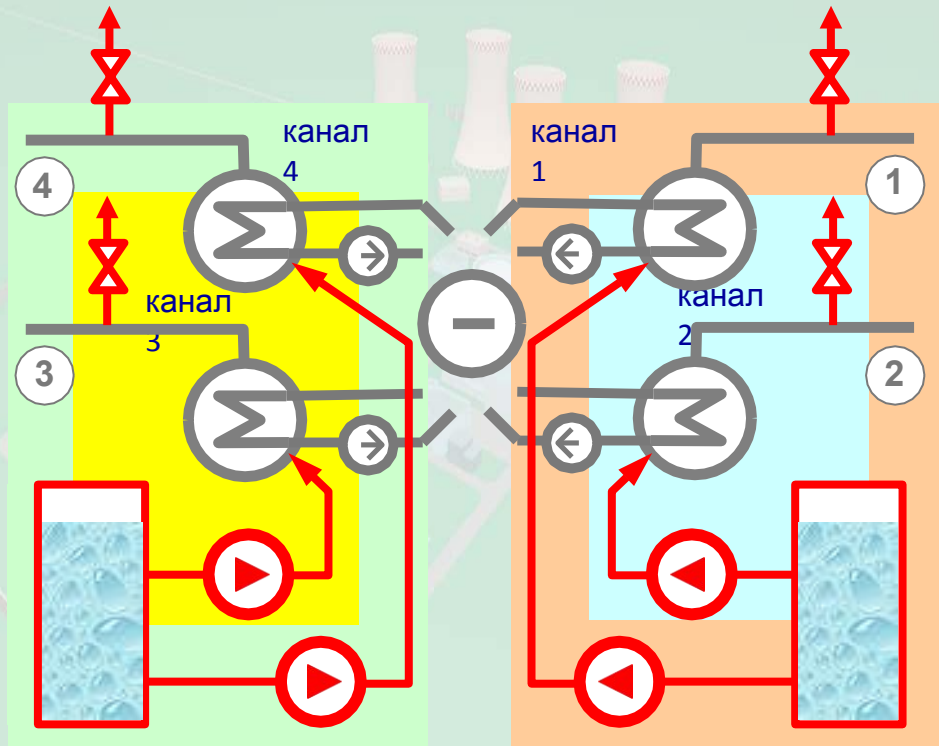
# Системы безопасности

## АПЭН (система аварийной питательной воды)

Система аварийной питательной воды предназначена для обеспечения питательной водой ПГ в условиях, когда подача питательной воды от штатной системы и вспомогательной системы невозможна

Наименование параметра		Значение
G	Расход от одного АПЭН, т/ч	150
T	Температура аварийной п.в., °C	5 - 40
N	Количество баков запаса, шт.	2 + 1
V	Объем бака, м <sup>3</sup>	700
D	Возможность задания скорости расхолаживания БРУ-А	+

Четырехканальная система с резервированием каналов 4 x 100 % с баками запаса аварийной питательной воды



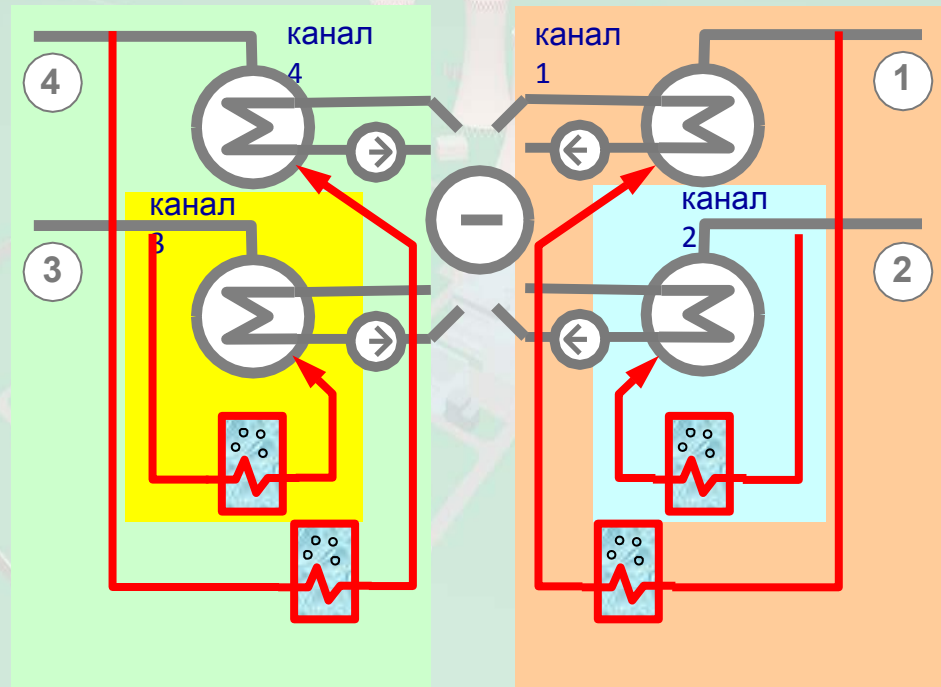
# Системы безопасности

**СПОТ** (система пассивного отвода тепла)

Система пассивного отвода тепла от парогенераторов (СПОТ ПГ) предназначена для отвода остаточного тепла активной зоны конечному поглотителю через второй контур при запроектных авариях

Наименование параметра	Значение
Мощность системы, МВт	200*
Число теплообменников в каждом канале, шт	18*
Объем баков запаса охлаждающей воды (общий объем), м <sup>3</sup>	4 x 540*

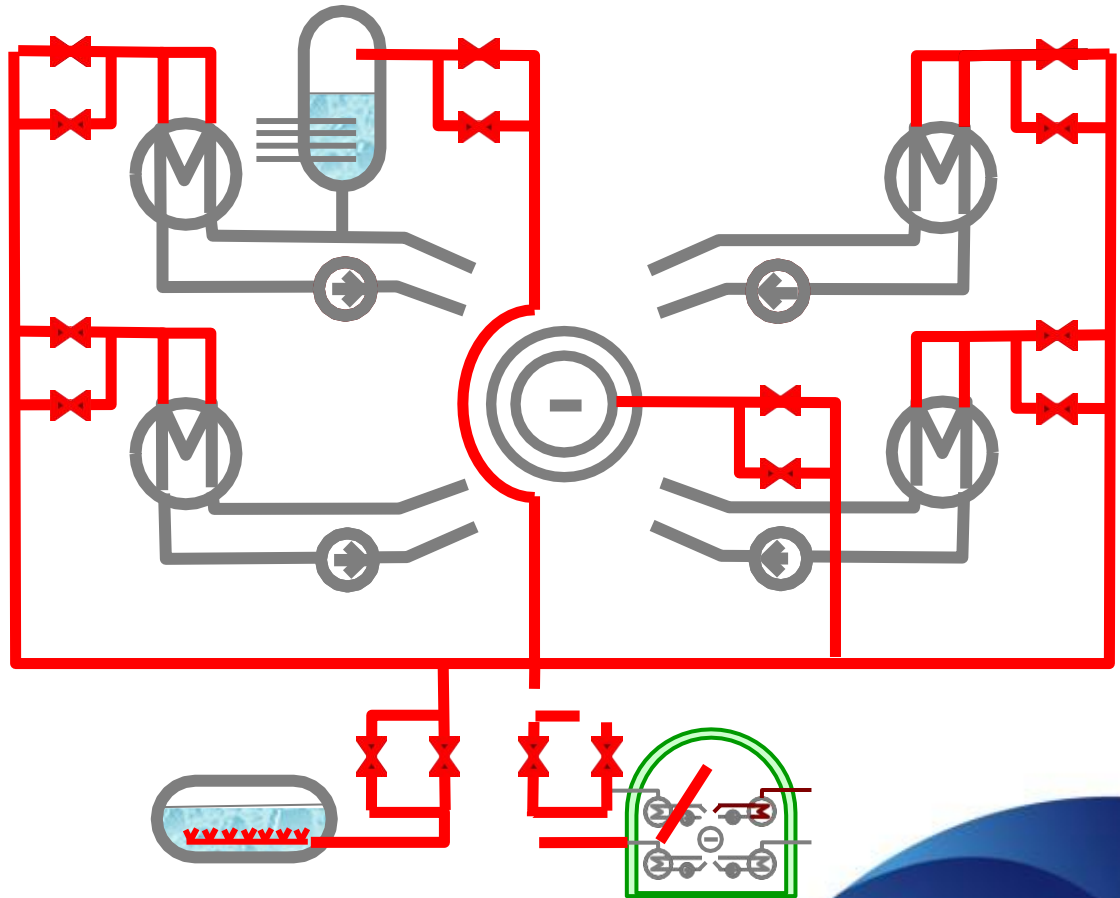
Пассивная четырехканальная система с резервированием каналов с 18-ю охлаждаемыми **водой** теплообменниками в каждом канале



# Системы безопасности

## Система аварийного газоудаления (САГ)

Система аварийного газоудаления является системой для управления запроектными авариями и предназначена для отвода парогазовой смеси, образующейся в первом контуре и накапливающейся под крышкой реактора, в коллекторах парогенераторов и в компенсаторе давления при авариях, сопровождающихся вскипанием теплоносителя и выделением газов из теплоносителя.



# Уроки Фукусимы

1. Выполнен анализ устойчивости Ленинградской АЭС-2 к катастрофическим внешним воздействиям природного характера по типу аварии на АЭС «Фукусима» в Японии.
2. Анализ показал, что в течение 72 часов в аварии blackout не происходит плавление топлива в реакторе за счет проектно-конструкторских решений, заложенных в проект.
3. Дополнительно предлагается реализация мероприятий, направленных на повышение устойчивости АЭС к экстремальным внешним воздействиям (подача борного раствора в реактор и бассейн выдержки, воды в баки СПОТ ПГ).