



Реакторная установка СВБР-100 для модульных атомных станций малой и средней мощности

В.В.Джангобегов

В.С.Степанов

Н.Н.Климов

А.В.Дедуль

С.Н.Болванчиков

М.П.Вахрушин

**Четвертая конференция «Тяжелые
жидкометаллические теплоносителя в
ядерных технологиях»
23-27 сентября, 2013г., Обнинск, Россия**

Содержание

- Введение
- Реакторная установка СВБР-100 и опытно-промышленный энергоблок
- Основные проектные положения РУ СВБР-100
- Краткое описание конструкции РУ СВБР-100
- Этапы создания и современное состояние проекта РУ СВБР-100
- Перспективы

Введение

Рынок и потребность в АС малой и средней мощности

- **В нынешнем столетии потребление энергии, в том числе и электроэнергии, будет продолжать расти в значительных масштабах, особенно в развивающихся странах**
- **Сегодня на рынке ядерных технологий предлагаются, как правило, АС большой мощности, предполагающие наличие большого количества потребителей и электросетей большой мощности**
- **В тоже время уже сейчас есть значительная потребность в АС средней и малой мощности, причем в зависимости от конкретного потребителя и региона размещения требуется также и различные мощности таких АС**

Введение

Унифицированная «типовая» РУ - основа АС малой и средней мощности

- **Задача создания целого ряда АС различной мощности для удовлетворения широкого круга потенциальных потребителей энергии в диапазоне средних и малых мощностей в различных регионах мира может быть успешно решена при модульном принципе построения АС на основе унифицированной «типовой» реакторной установки**

Введение

Облик «типовой» унифицированной РУ для АС малой и средней мощности

- небольшая мощность в диапазоне 10...100 МВт (эл.). В этом случае на базе унифицированных РУ может быть создан целый ряд энергоблоков АС с мощностью 10 (20, 30, 40 и т.д.) МВт или 100 (200, 300, 400 и т.д.) МВт
- качественно новый уровень пассивной безопасности и свойства внутренней самозащищенности, детерминистически исключающие возможность тяжелых аварий
- возможность без изменения конструкции использовать разные виды топлива и работать в различных топливных циклах, длительная (7-10 лет, а в перспективе 15-20лет) кампания активной зоны и обогащение по урану-235 не выше 20 %
- первый контур и его компоненты полностью заводского изготовления и транспортируются на площадку сооружения АС практически в готовом виде

Введение

Модульный принцип построения энергоблоков АС на основе «типовой» унифицированной РУ позволяет:

- обеспечить высокое качество проекта за счет максимального сосредоточения интеллектуальных и других ресурсов на разработку и обоснование проекта унифицированной РУ
- упростить и ускорить процесс лицензирования проекта энергоблоков АС, состоящих из нескольких унифицированных «типовых» РУ
- обеспечить более высокую степень надёжности (отказоустойчивости энергоблока как системы отдельных РУ) и безопасности (снижение потенциального радиационного риска) в сравнении с энергоблоками на базе одного реактора большей мощности
- не создавать резервный энергоисточник для региональных АС в зонах децентрализованного энергоснабжения

РУ СВБР-100 и опытно промышленный энергоблок **Концепция РУ, поэтапное освоение новой технологии**

- **Концепция: реактор на быстрых нейтронах, интегральная компоновка первого контура, свинцово-висмутовый теплоноситель и низкое давление в первом контуре, мощность ~ 100 МВт (электрических)**
- **В основу проекта РУ СВБР-100 положен уникальный российский опыт создания и эксплуатации судовых реакторов со свинцово-висмутовым теплоносителем для российских атомных подводных лодок (АПЛ) , а также опыт создания и эксплуатации РУ на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем**
- **Новая для гражданской атомной энергетики свинцово-висмутовая ядерная технология требует поэтапного освоения, включая получение реального опыта эксплуатации РУ на головном опытно-промышленном энергоблоке (ОПЭБ), поскольку опыт эксплуатации АПЛ не является в полной мере референтным**

РУ СВБР-100 и опытно промышленный энергоблок

Назначение опытно-промышленного энергоблока

- В процессе опытно-промышленной эксплуатации РУ СВБР-100 в составе ОПЭБ помимо выработки тепловой и электрической энергии для нужд региона планируется также получить комплексное подтверждение проектных характеристик РУ (эксплуатационная надёжность, безопасность, ресурсные характеристики, экономические характеристики атомной станции и пр.) при работе в реальных, характерных для АС режимах эксплуатации
- Пилотный энергоблок с РУ СВБР-100, планируемый к сооружению в г. Димитровград Ульяновской области, станет прототипом серийных модульных атомных комплексов различного назначения с диапазоном мощностей 100-600 МВт (эл.) для региональных и локальных энергосистем

РУ СВБР-100 и опытно промышленный энергоблок **Текущий статус проекта РУ**

- Проект по разработке и сооружению ОПЭБ с РУ СВБР-100 в г.Димитровграде реализует **ОАО «АКМЭ-инжиниринг»** - совместное предприятие Госкорпорации «Росатом» и ООО «ЕвроСибЭнерго», созданное для развития бизнеса по разработке, сооружению и эксплуатации серийных модульных АС с унифицированными реакторными установками типа СВБР
- В рамках реализации указанного Проекта в настоящий момент ведется разработка технического проекта РУ СВБР-100

Основные проектные положения РУ СВБР-100 (1)

- применен **реактор на быстрых нейтронах**
- применен **химически инертный свинцово-висмутовый теплоноситель (СВТ) в первом контуре реактора (температура кипения СВТ - 1670°C, температура плавления СВТ - 123,5°C)**
- применена **интегральная компоновка реактора, при которой активная зона, оборудование первого контура и модули испарителя размещены в едином прочном корпусе реакторного моноблока (МБР) с полным исключением арматуры и трубопроводов СВТ. Тракт теплоносителя организован таким образом, что исключается попадание воды-пара в активную зону при течи теплообменной поверхности модулей испарителя (МИС)**
- применены **двухконтурная схема теплоотвода с многократной принудительной циркуляцией теплоносителя второго контура; на вход в паротурбинную установку подается сухой насыщенный пар заданных параметров**

Основные проектные положения РУ СВБР-100 (2)

- в теплоотводящих контурах МБР обеспечена естественная циркуляция теплоносителей, достаточная для расхолаживания реактора без опасного перегрева активной зоны
- для первой топливной загрузки используется оксидное урановое топливо, при этом рассматривается возможность использования других перспективных видов топлива, производство которых будет освоено промышленностью, без изменения конструкции реактора и при удовлетворении требований по безопасности
- предусмотрена единовременная загрузка свежего топлива в виде единого картриджа (новой активной зоны) и покассетная выгрузка топлива из МБР по окончании кампании активной зоны
- предусмотрены две системы аварийной защиты – основная и дополнительная (ДАЗ), причем стержни ДАЗ имеют плавкие замки, обеспечивающие их пассивное срабатывание

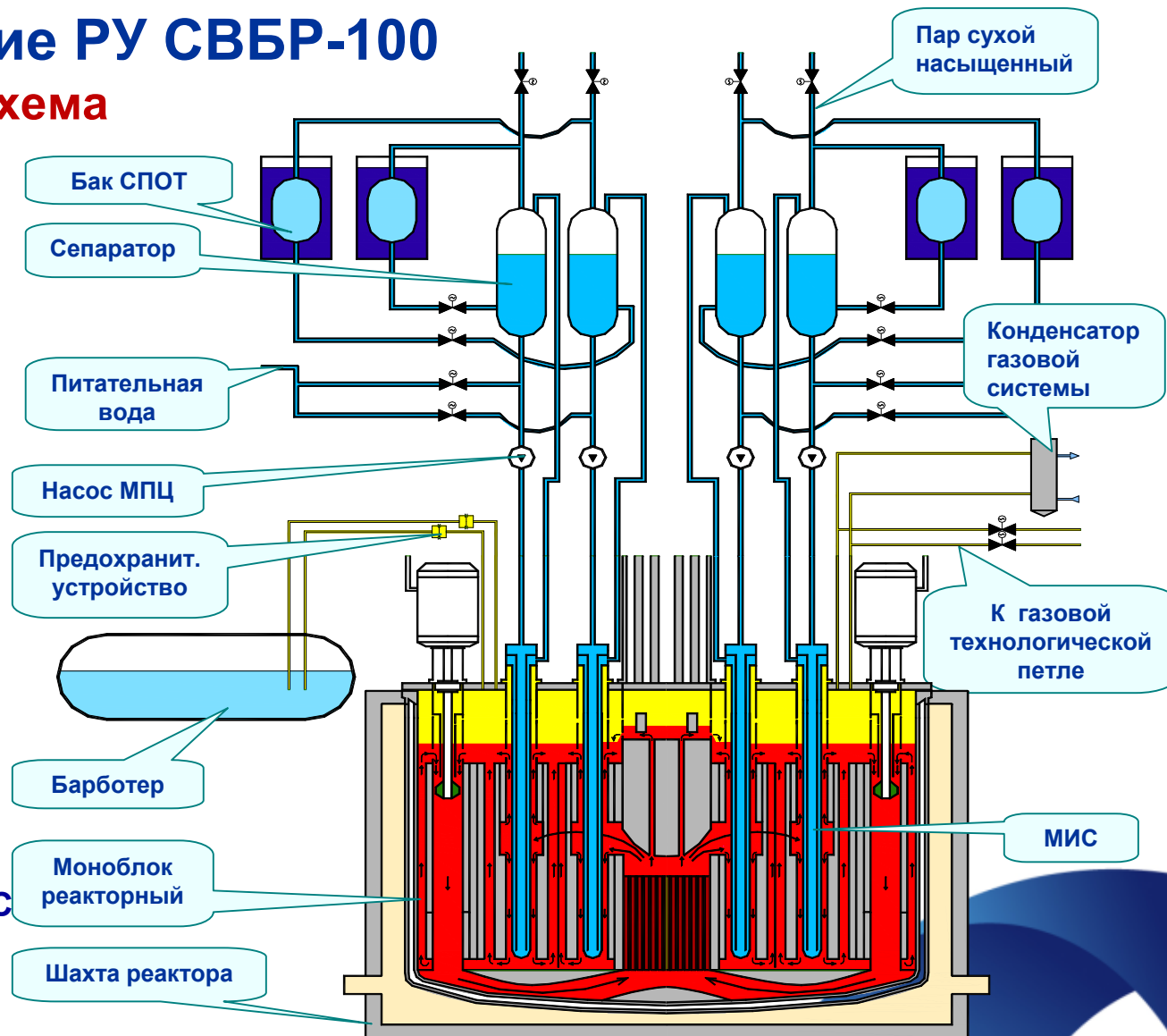
Основные проектные положения РУ СВБР-100 (3)

- благодаря развитым свойствам внутренней самозащитенности существенно, в сравнении с традиционными РУ, уменьшены количество и сложность систем безопасности, при этом, **функции безопасности возложены, в основном, на системы нормальной эксплуатации;**
- **основные компоненты МБР и РУ выполнены в виде отдельных модулей, при этом обеспечена возможность их замены и ремонта;**
- **оборудование РУ проектируется исходя из требования обеспечения его сейсмостойкости и работы ОПЭБ в маневренном режиме с суточным изменением мощности в пределах 50-100% со скоростью 0,5-2% Nном/мин.**

Краткое описание РУ СВБР-100

Принципиальная схема

- Тракт теплоносителя первого контура сформирован внутри корпуса МБР без трубопроводов и арматуры
- Четыре петли второго контура с вертикальными сепараторами и насосами МПЦ
- Газовая система для поддержания инертной атмосферы над уровнем теплоносителя первого контура
- Предусмотрена СПОТ
- Предусмотрены 2 барботера для приема парогазовой смеси из МБР при межконтурной течи МИС

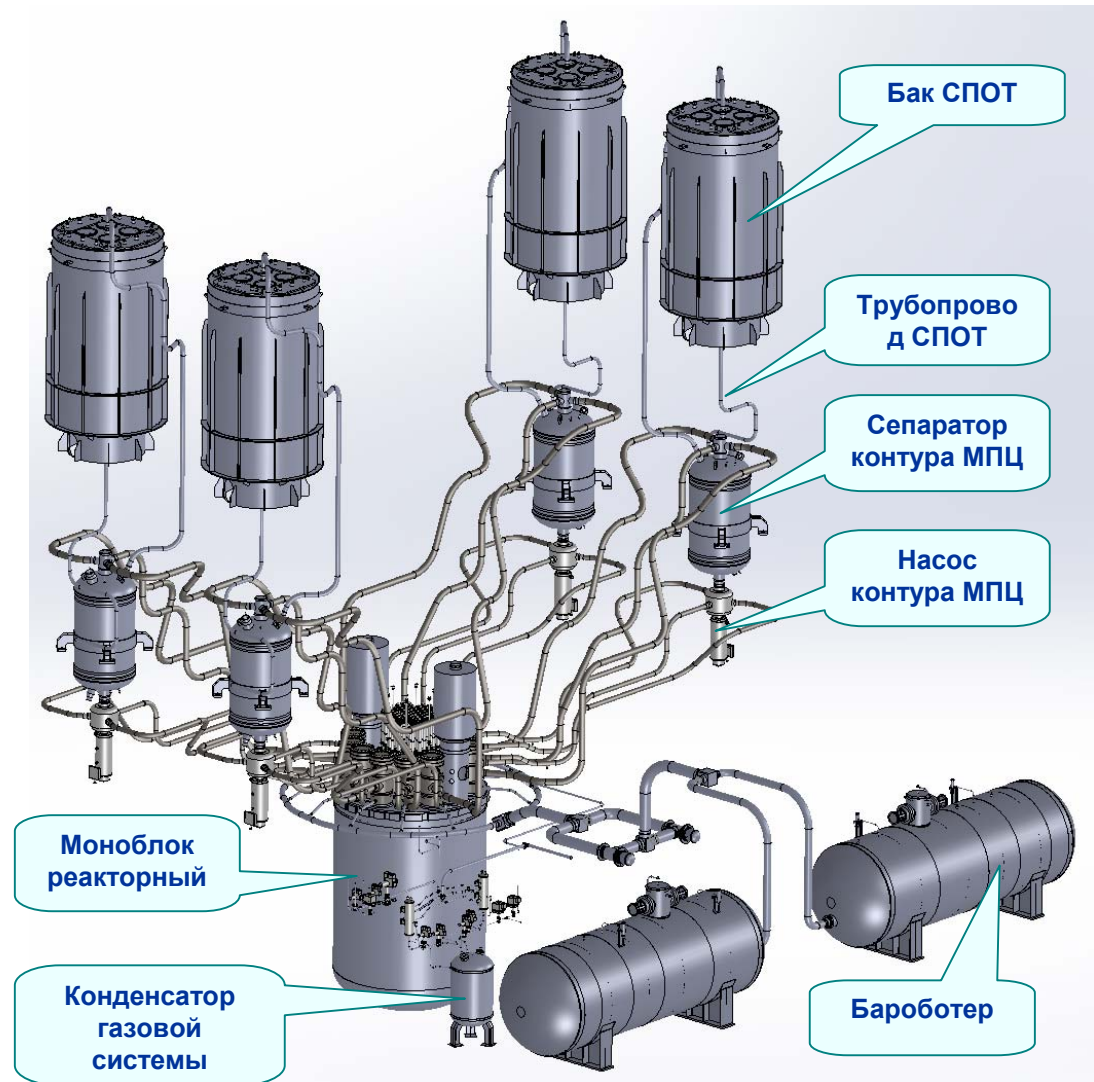


Краткое описание РУ СВБР-100

Компоновка

Основные элементы РУ СВБР-100:

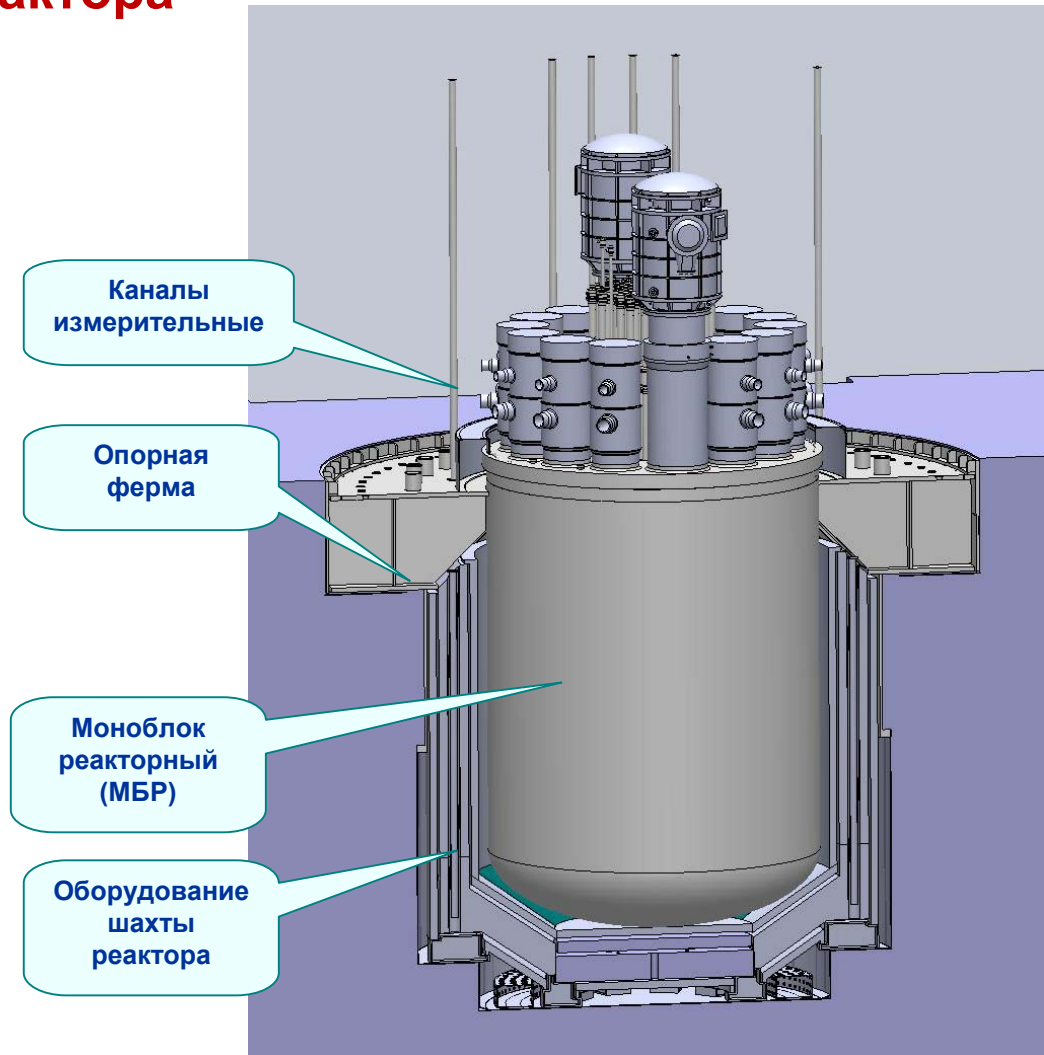
- моноблок реакторный (МБР), включающий в себя выемной блок с активной зоной, комплект приводов СУЗ, 2 циркуляционных насоса СВТ, 12 модулей испарителя, оборудование технологии СВТ, внутрикорпусные устройства
- четырехпетлевой контур многократной принудительной циркуляции (МПЦ) рабочей среды второго контура
- четырехпетлевая система пассивного отвода тепла (СПОТ) от второго контура
- газовая система первого контура с конденсатором
- технологическая газовая петля
- система приема парогазовой смеси с барботерами



Краткое описание РУ СВБР-100

Установка МБР в шахте реактора

- ❑ МБР установлен на опорной ферме «сухой» шахты реактора
- ❑ Предусмотрена возможность залива шахты реактора водой из бассейна запаса воды при запроектной аварии, связанной с выходом из строя всех каналов СПОТ



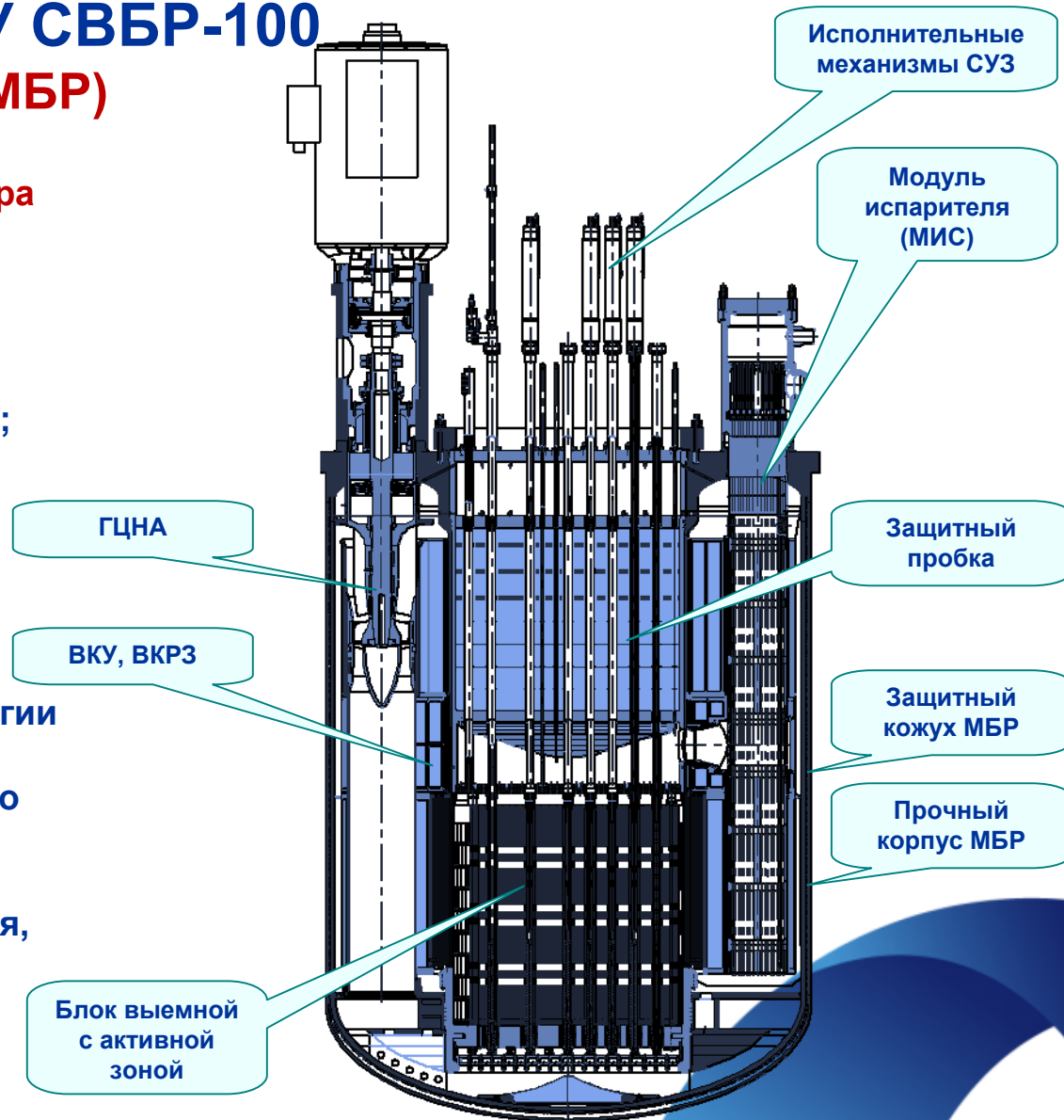
Краткое описание РУ СВБР-100

Моноблок реакторный (МБР)

Все оборудование первого контура
размещено в корпусе МБР

Состав МБР:

- прочный корпус МБР;
- блок выемной с активной зоной;
- комплект исполнительных механизмов СУЗ;
- 12 модулей испарителя;
- два ГЦНА
- ВКУ и ВКРЗ
- защитная пробка;
- оборудование системы технологии СВТ;
- оборудование системы парового обогрева МБР;
- защитный кожух корпуса МБР;
- оборудование системы контроля, управления и диагностики



Краткое описание РУ СВБР-100

Главный циркуляционный насосный агрегат (ГЦНА) и модуль испарителя (МИС)



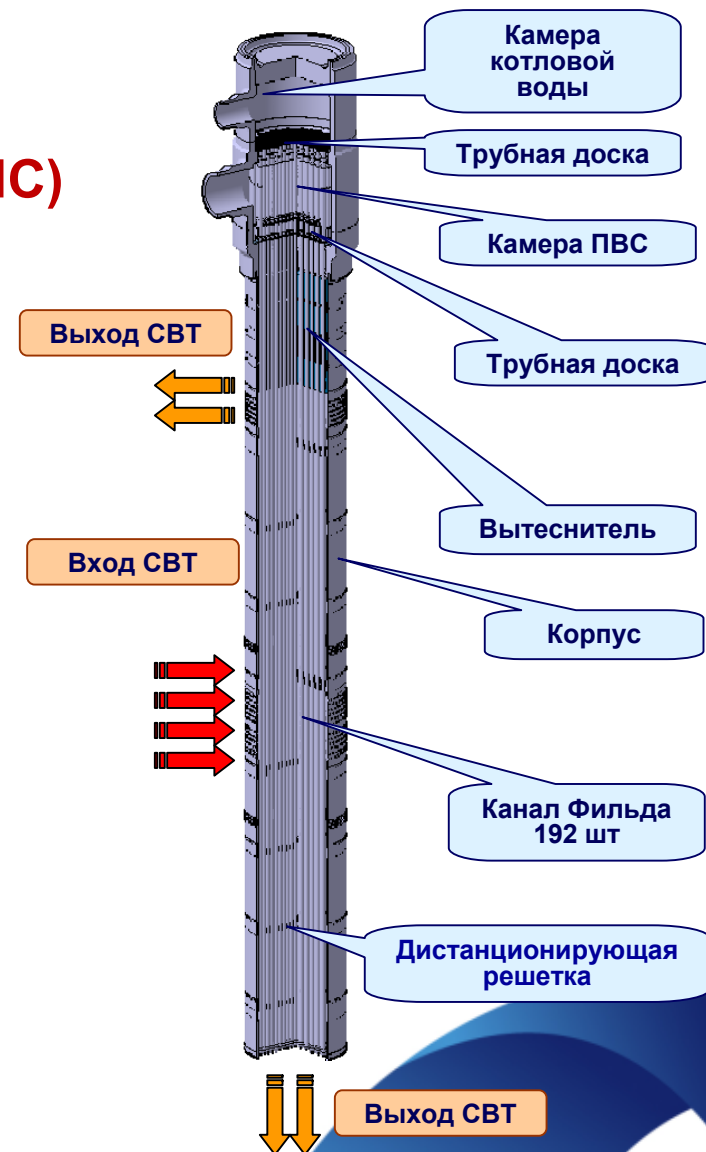
ГЦНА – вертикальный агрегат с лопастной системой осевого типа и газогерметичным электродвигателем

Направление движения СВТ – сверху вниз

Выемная насосная часть устанавливается в МБР, электродвигатель расположен непосредственно на крышке МБР

Модуль испарителя (МИС) - рекуперативный теплообменник с вертикальными парогенерирующими поверхностями в виде каналов Фильда, размещаемый в МБР

Наружная труба каналов Фильда - биметаллическая со слоями, обладающими высокой коррозионной стойкостью в воде/паре и СВТ



Краткое описание РУ СВБР-100

Основные технические характеристики

Наименование параметра	Значение
Мощность РУ тепловая, МВт	280
Давление генерируемого насыщенного пара, МПа	7,0
Паропроизводительность, т/ч	580
Теплоноситель 1 контура: - состав	44,5% Pb + 55,5% Bi
Температура теплоносителя 1 контура, вх / вых, °С	340 / 490
Топливо: тип среднее обогащение по U-235,% максимальное обогащение по U-235,%	UO ₂ 16,3 менее 20
Кампания активной зоны, тыс. эфф.ч	50
Интервал времени между перегрузками, лет (одномоментная перегрузка всего топлива)	7 - 8
Габариты МБР (диаметр/высота), м	4,53 / 7,86

Этапы создания и современное состояние проекта РУ СВБР-100 (1)

Проект РУ СВБР-100 в своем развитии прошел длительные этапы предварительного поиска и формирования оптимальной концепции и облика РУ и ее составных элементов:

- ❑ В 1998г. в рамках выполнения работы «Определение технической возможности и экономической целесообразности реновации 2, 3 и 4 блоков НВАЭС ...» разработан эскизный проект РУ СВБР-75
- ❑ В 2001г. разработан концептуальный проект АЭС с двумя блоками электрической мощностью 1600 МВт каждый на базе РУ СВБР-75/100 (эскизный проект РУ доработан с учетом увеличения мощности установки)
- ❑ В 2007–2009гг. проводились работы по оптимизации облика, параметров и технических решений по СВБР-75/100, начата разработка проекта РУ СВБР-100

Этапы создания и современное состояние проекта РУ СВБР-100 (2)

- ❑ **С конца 2009г** после принятия решения о строительстве ОПЭБ с РУ СВБР-100 и создания ОАО «АКМЭ-инжиниринг» **разработка проекта РУ СВБР-100 вступила в активную фазу разработки технического проекта РУ и ее элементов**
- ❑ **Развернуты работы по экспериментальному и расчетному обоснованию РУ и ее элементов, реакторным испытаниям конструкционных материалов и элементов активной зоны, верификации и аттестации расчетных кодов для обоснования РУ**
- ❑ **Совместно с генеральным проектировщиком ОПЭБ развернута разработка соответствующих проектных материалов, необходимых для прохождения всех стадий лицензирования ОПЭБ с РУ СВБР-100**

Перспективы

Создание и пуск в эксплуатацию ОПЭБ с РУ СВБР-100 позволит перейти к следующему этапу – этапу коммерциализации инновационной ядерной технологии, основанной на применении в составе модульных АС малой и средней мощности интегральных быстрых реакторов с теплоносителем свинец-висмут типа СВБР

Создание модульных АС на базе РУ СВБР-100 обеспечит:

- **удовлетворение потребностей в энергогенерирующих мощностях в районах с существующими сетевыми ограничениями и небольшими объемами потребления путем создания малых и средних атомных комплексов мощностью 100÷600 МВт**
- **возможность замещения выводимых из эксплуатации в силу изношенности оборудования энергоблоков на органическом топливе**
- **создание материально-технической базы для дальнейшего развития отрасли: проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и проектных работ, включая развитие машиностроительных мощностей, инжиниринг и сервисное обслуживание**