ОПЫТНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО ГИДРОПРЕСС

Свинцово-Висмутовые Быстрые Реакторы для атомных станций малой и средней мощности

Климов Н.Н.

2009

Международный форум «АТОМЭКСПО 2009» 26-28 мая 2009г, г.Москва, ЦВК «Экспоцентр»

Введение

- ✔ Во всем мире идет активный поиск реакторных технологий 21-го века. Так участниками форума «Generation –IV» в качестве перспективных признаны 6 инновационных ядерных систем, в число которых входят системы, охлаждаемые расплавами свинца, к которым относится, в том числе, и эвтектический сплав свинца и висмута
- ✔ Россия обладает уникальным опытом создания и эксплуатации реакторных установок со свинцово-висмутовым теплоносителем (СВТ) для атомных подводных лодок (АПЛ)
- ✔ На базе свинцово-висмутовой реакторной технологии ОКБ «Гидропресс» совместно с ГНЦ РФ ФЭИ, АЭП и рядом других предприятий разрабатываются проекты двух унифицированных РУ малой мощности типа СВБР (Свинцово-Висмутовый Быстрый Реактор) для создания атомных энергоисточников в диапазоне мощностей (10 – 40) МВт-эл. и (100 – 400) МВт-эл. с использованием модульного принципа построения энергоблока

Техническая база инновационной ядерной энергетической технологии на основе быстрых реакторов со свинцово-висмутовым теплоносителем

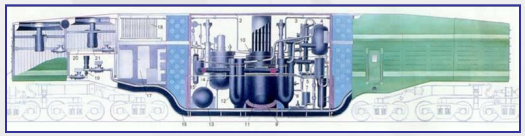
Конверсия уникальной российской технологии судовых реакторов с теплоносителем свинец-висмут (8 АПЛ и 2 наземных стенда прототипа)

В сочетании с опытом создания и эксплуатации быстрых натриевых реакторов

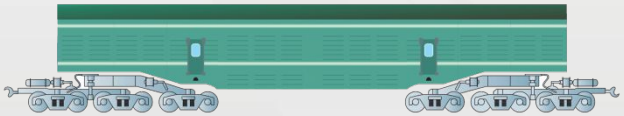
Первый опыт конверсии судовой технологии Блочно- транспортабельная АТЭЦ малой мощности «Ангстрем» - 1991г

Блочно-транспортабельная АТЭЦ «Ангстрем» с петлевой компоновкой 1-го контура РУ

- ✔ Модульная структура АТЭЦ. 100 % заводская готовность оборудования и транспортных модулей
- ✔ В состав АТЭЦ входит 9-12 транспортабельных функциональных модулей, которые могут доставляться железнодорожным, автомобильным, водным видами транспорта.
- ✔ Продолжительность монтажных работ на площадке АТЭЦ составляет 1 месяц
- ✔ В конкурсе проектов «АСММ-91» проект АТЭЦ «Ангстрем» в своей мощностной группе занял первое место
- ✔ Техпроект «Ангстрем» выполнен в 1991г, необходима актуализация проекта



Модуль РУ (петлевая компоновка 1 контура)



Модуль ТГУ

Модуль электрораспред. устройств

Модуль водоподготовки

Тепловая мощность – 30 МВт:

Мощность электрическая - 6 МВт

Мощность теплоснабжения 12 Гкал/ч

Новое поколение реакторных установок
Реакторные установки типа СВБР

Основные положения концепции установок нового поколения типа СВБР

- ✔Высокий уровень внутренней самозащищенности и пассивной безопасности при существенном упрощении конструкции реакторной установки и АС в целом
- ✔Возможность работы на разных видах топлива и в различных топливных циклах (продолжительность работы без перегрузки топлива от 7 до 20 лет)
- ✔Технологическая поддержка выполнения требований по нераспространению
- ✔Консервативный подход при проектировании. Ориентация на существующую технологическую базу и конструкционные материалы
- ✔Компактность и максимальная заводская готовность РУ
- ✔Возможность перехода на методы типового проектирования АС различной мощности и назначения и поточные методы организации СМР
- ✔Конкурентоспособность на рынке электроэнергии и инвестиционная привлекательность АС

Модульная структура энергоблока АС с СВБР

- ✔ Реакторное отделение энергоблока АС, имеющее защитную оболочку, состоит из нескольких одинаковых РУ. Каждая РУ находится в своем герметичном боксе. Все РУ могут работать на одну или несколько ТГУ
- ✔ Мощность энергоблока может быть любой, кратной мощности одной РУ
- ✔ Повышается безопасность и отказоустойчивость энергоблока в целом, упрощается проблема резервирования энерговыработки
- ✔ Создаются условия для организации крупносерийного (поточного) производства типовых РУ и стабильной загрузки машиностроительных заводов, что значительно снижает затраты на изготовление РУ
- ✔Создаются условия для типового проектирования энергоблоков различной мощности на базе типовой РУ и поточные методы организации СМР

Внутренняя самозащищенность и пассивная безопасность

Быстрый реактор

Отсутствие в быстром реакторе эффектов отравления

Сравнительно небольшой запас реактивности на выгорание

Малое значение отрицательного температурного коэффициента реактивности

«Легкие» (< β эфф) органы СУЗ

Специальный алгоритм управления органами СУЗ

Оперативный запас реактивности в работающем реакторе меньше доли запаздывающих нейтронов

Исключение возможности разгона реактора на мгновенных нейтронах при несанкционированном извлечении любого рабочего стержня

Внутренняя самозащищенность и пассивная безопасность
Свинцово-висмутовый теплоноситель

Высокая температура кипения СВТ (~ 1670^{0}C)

Химическая инертность СВТ по отношению к воде и воздуху

Способность СВТ удерживать продукты деления (йод, цезий, актиниды – кроме инертных газов)

Низкое давление в первом контуре и газовой системе (0,01 МПа)

Давление в первом контуре ниже давления во втором контуре

Исключение аварий, связанных с кризисом теплообмена

Низкий запас потенциальной энергии в первом контуре

Исключение возможности химических взрывов и пожаров по внутренним причинам

Малый масштаб разрушений и радиационных последствий при постулированных разгерметизациях первого контура и газовой системы

Исключение возможности радиоактивного загрязнения второго контура

Внутренняя самозащищенность и пассивная безопасность

Схемно-компоновочные решения

Интегральная компоновка
1 контура в корпусе МБР,
полное отсутствие
трубопроводов и арматуры
1 контура за пределами МБР

Наличие защитного кожуха, малый объем полости между кожухом и корпусом МБР

Размещение МБР в баке СПОТ, пассивное расхолаживания РУ без ТГУ

Низкое давление в 1 контуре и газовой системе

Исключение потерь СВТ и прекращения циркуляции СВТ через активную зону

За счет малого гидравлического сопротивления 1 контура уровень ЕЦ СВТ достаточен для расхолаживания РУ из любого исходного состояния

Практическое исключение возможности разгерметизации газовой системы и выброса газа

При отказе всех систем расхолаживания и полном обесточивании блока (постулированная авария) – полностью пассивное расхолаживание РУ за счет аккумулирования тепла ВКУ и теплоносителем и отвода тепла через корпус МБР к воде бака СПОТ.

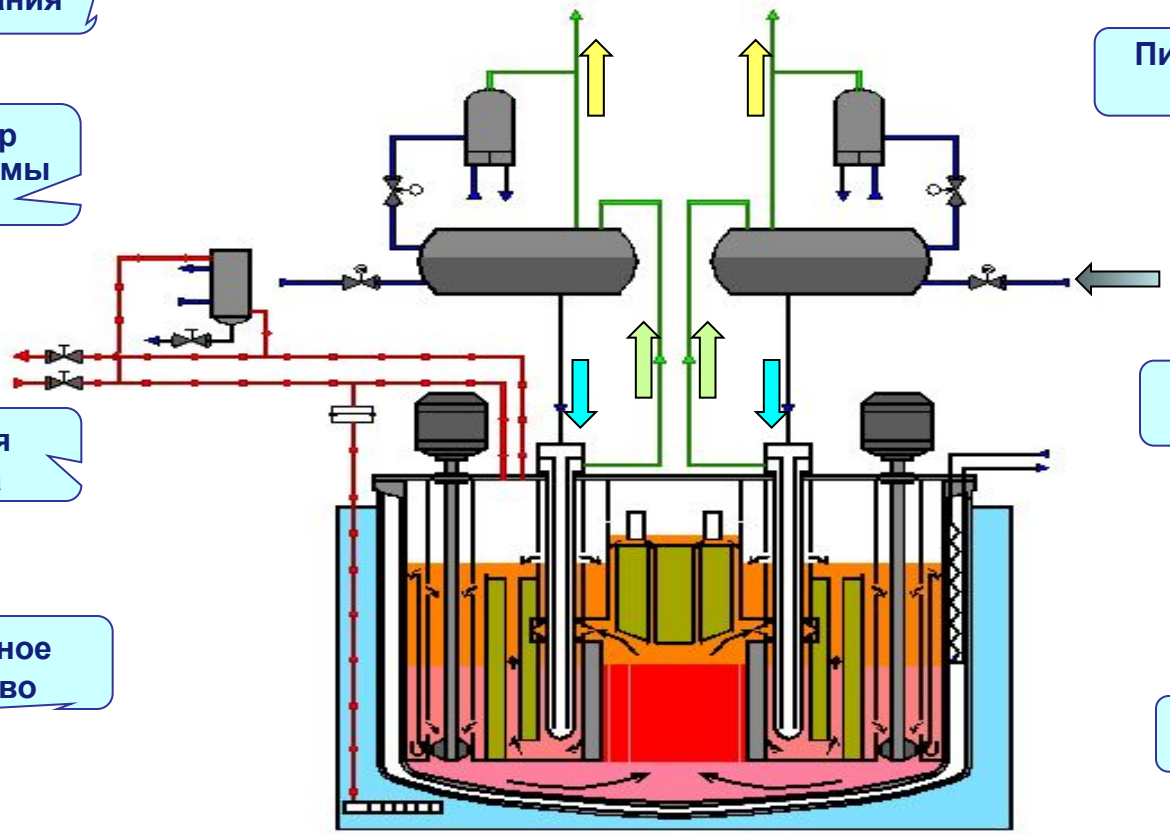
Реакторная установка СВБР-75/100

Основные технические характеристики РУ СВБР-75/100

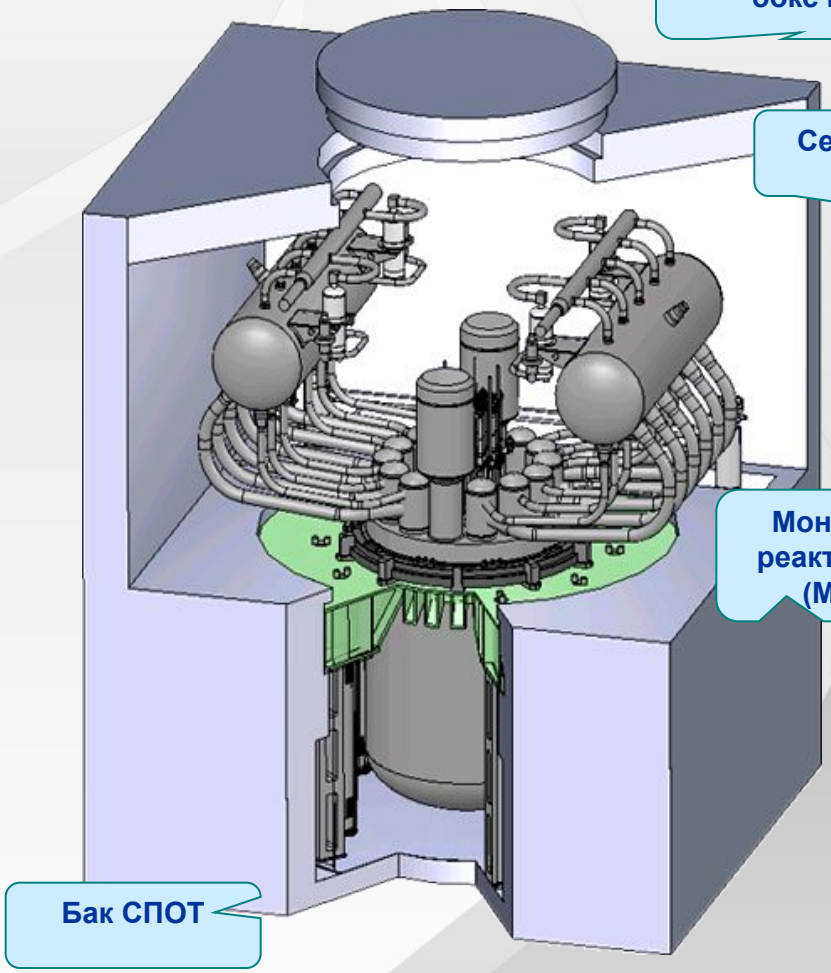
(базовый вариант: топливо UO_2, насыщенный пар)

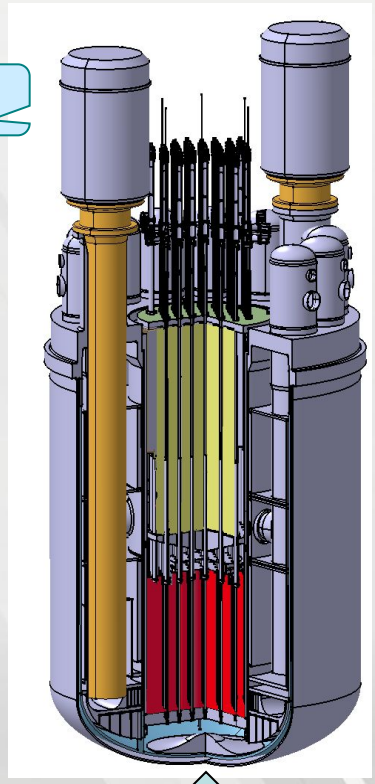
Наименование параметра	Значение
Мощность РУ тепловая, МВт	280
Мощность РУ электрическая (брутто), МВт	101,5
Паропроизводительность, т/ч	580
Давление/температура генерируемого пара, МПа/ °С	9,5 (нас.)/307
Температура СВТ, вх / вых, °С	320 / 482
Средняя энергонапряженность активной зоны, кВт/дм^3	160
Средняя линейная нагрузка на твэл, кВт/м	26
Топливо: тип загрузка по U,кг среднее обогащение по U-235,%	UO_2 *) 9016 16,5
Кампания активной зоны, тыс. эфф.ч	53
Интервал времени между перегрузками, лет	~ 8
Габариты МБР (диаметр/высота), м	4,53 / 7,55
Масса МБР без активной зоны и теплоносителя, т	270

РУ СВБР-75/100 - принципиальная схема



РУ СВБР-75/100 - компоновка



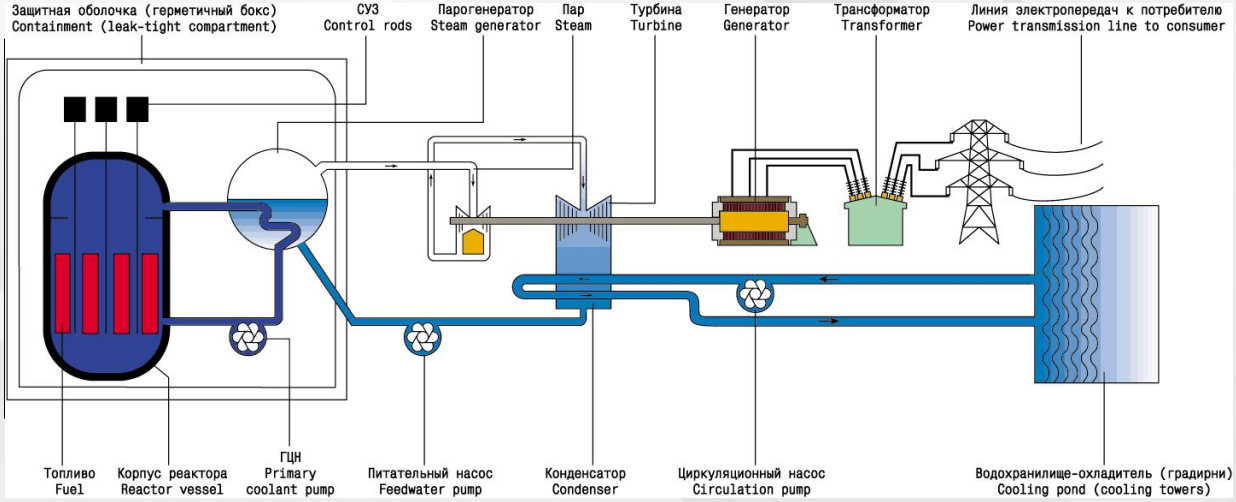


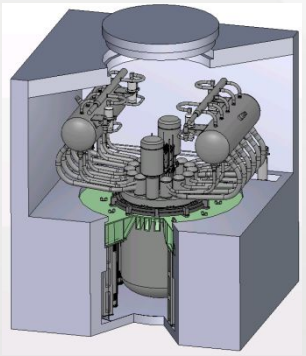
- Все оборудование первого контура размещено в корпусе моноблока реакторного (МБР)
- Гидравлические связи по СВТ между оборудованием первого контура сформированы корпусом МБР и элементами внутрикорпусных устройств без использования трубопроводов и арматуры

Атомные станции средней мощности на базе унифицированной реакторной установки СВБР-75/100

РУ СВБР-75/100 в проекте реновации АЭС с ВВЭР-440

(совместная разработка АЭП, ОКБ «Гидропресс», ГНЦ РФ-ФЭИ)



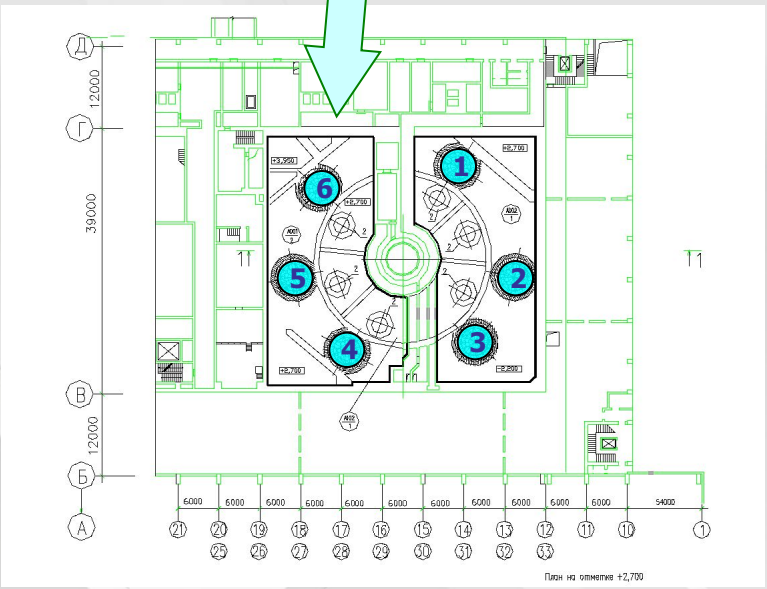


6 × СВБР-75/100

заменяемая часть энергоблока

сохраняемая часть энергоблока

Помещение ПГ и ГЦН

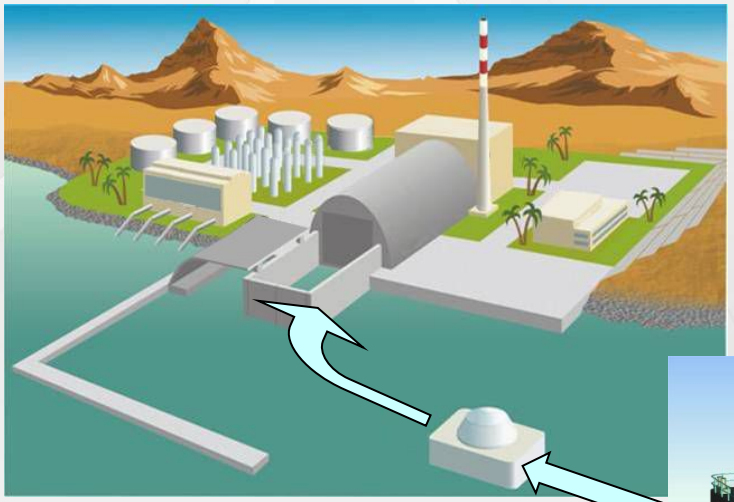


Достигаемые цели

- удельные капитальные затраты на реновацию в два раза ниже в сравнении со строительством новых замещающих мощностей
- сохранение площадки для ядерной генерации
- продление срока эксплуатации блока на 30 и более лет

Береговые ядерные опреснительные энергетические комплексы на базе транспортабельных реакторных блоков с СВБР-75/100

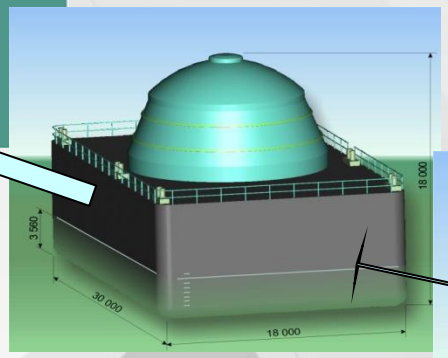
(совместная разработка СПМБМ «Малахит», ЦНИИ им. А.Н.Крылова, СПбАЭП,ОКБ «Гидропресс», ГНЦ РФ-ФЭИ)

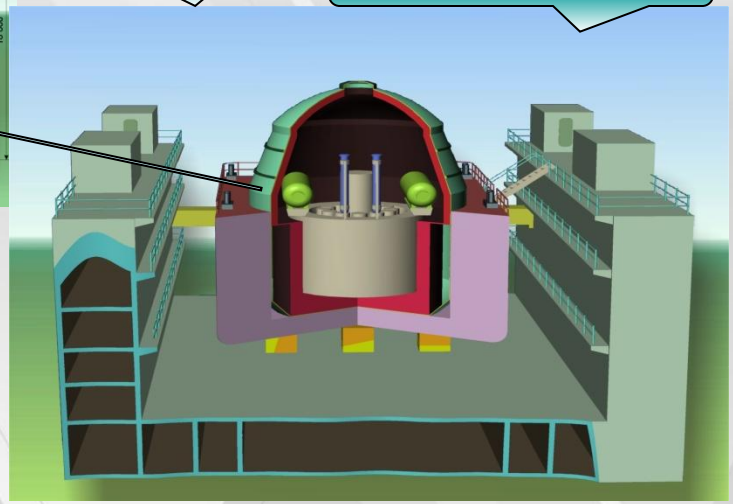


РУ размещается в прочно-плотном ТРБ. Конструкция ТРБ которого предусматривает возможность нахождения его на плаву и буксировку по акватории завода-строителя и опреснительного комплекса.

На место базирования ТРБ доставляется на транспортном судне, выгружается на воду, заводится в «сухой» док и, далее, с помощью шлюзования в док-камеру ЯОК на стационарные опоры.

Габариты и осадка ТРБ позволяют выполнять его буксировку по внутренним водным путям без использования транспортного судна

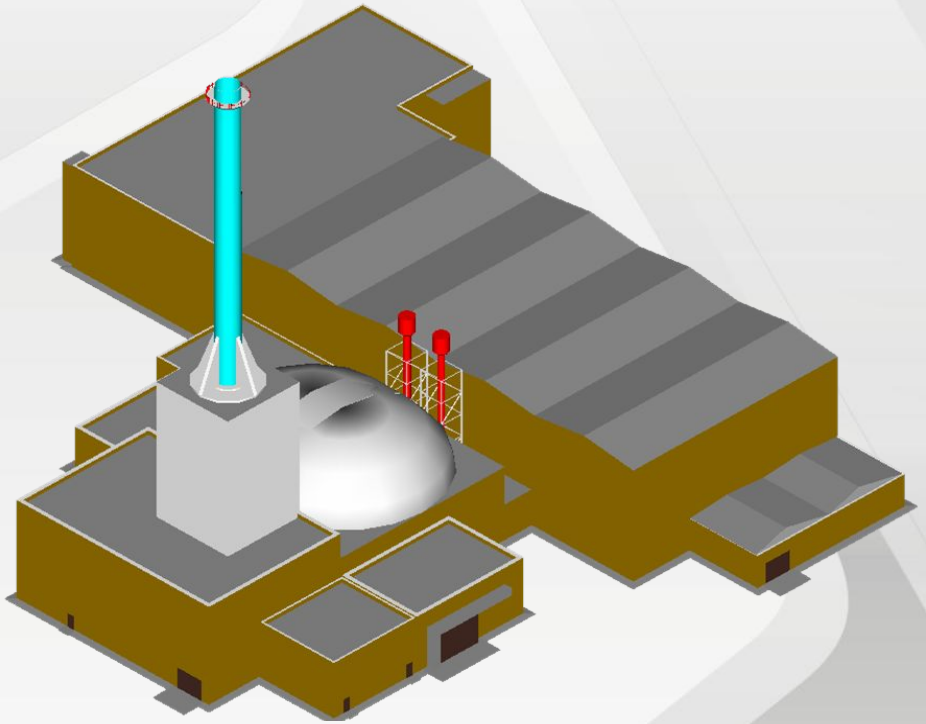




Время работы между заменами ТРБ, лет	8
Макс.производительность по пресной воде, тыс.м^3/сутки	200
Электрическая мощность ЯОЭК при работе ТГУ в конденсационном режиме, МВт	80
Отпуск электроэнергии в сеть при макс. производительности по пресной воде, МВт	9,5

Модульная АТЭЦ с РУ СВБР-75/100

(совместная разработка АЭП, ОКБ «Гидропресс», ГНЦ РФ-ФЭИ)



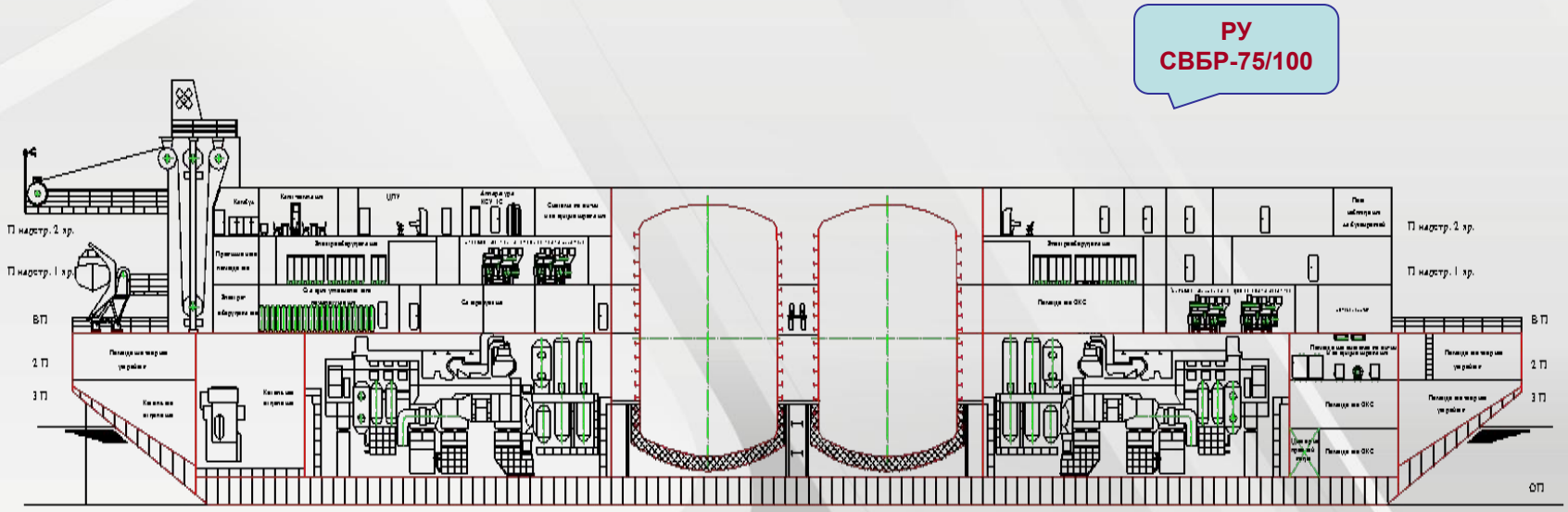
4 РУ СВБР + 4 турбины Т-50/100-9,5)

Мощность АТЭЦ

- электрическая макс. - 406 МВт
- электрическая ном. - 380 МВт
- по отпуску тепла - 520 Гкал/ч

Плавучий энергоблок с РУ СВБР-75/100

(разработка СПМБМ «Малахит»)



Реакторная установка СВБР-100

Реакторная установка СВБР – 100 с перегретым паром для модульных АС средней мощности (100-400) МВт-эл

Основные характеристики РУ СВБР-100:

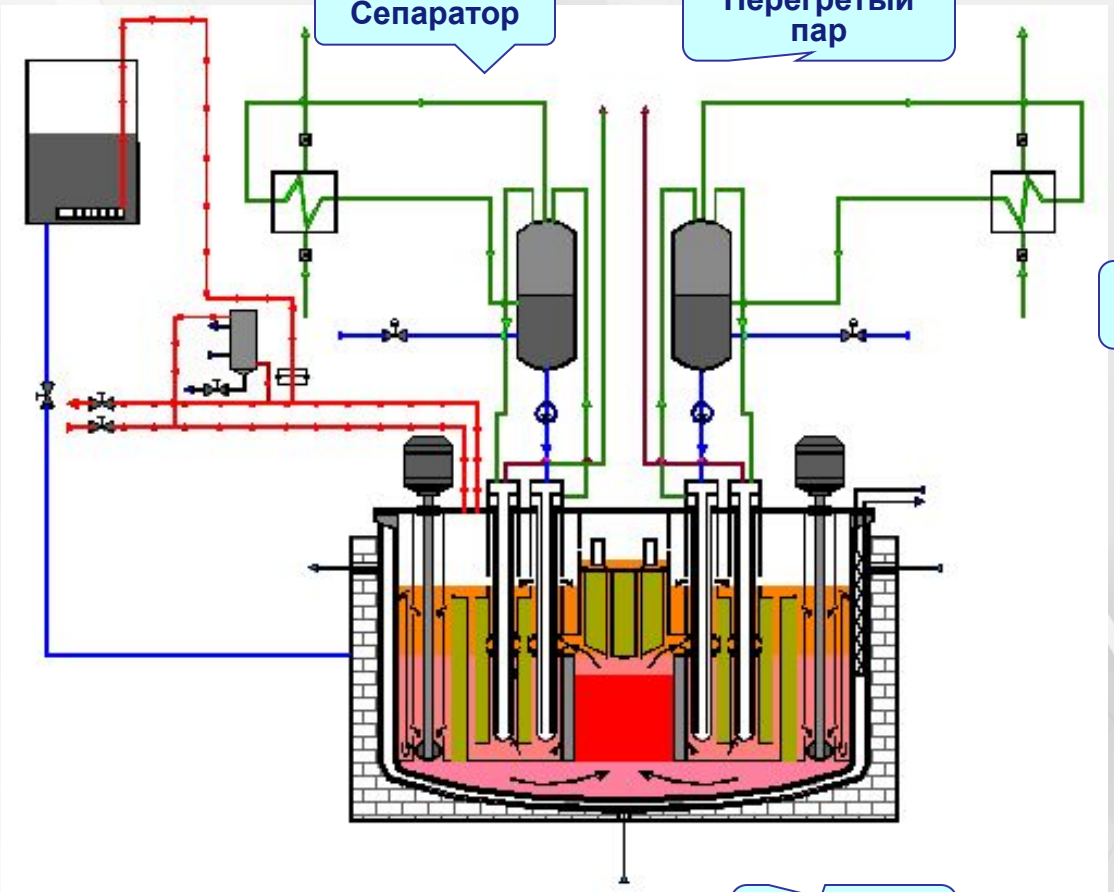
- Тепловая мощность 280 МВт
- На выходе перегретый пар с параметрами:
  - давление 9.2 МПа
  - температура 400 °С
  - паропроизводительность 485 т/ч
- «Сухая» шахта реактора (по аналогии с ВВЭР) и воздушный СПОТ ПГ
- Повышенные маневренные характеристики РУ для работы в суточном графике слежения за нагрузкой!

В настоящее время ведется разработка опытного промышленного энергоблока с РУ СВБР-100 с привязкой к площадке ФЭИ (г.Обнинск)

Пуск и опытная эксплуатация ОПЭБ - 2017 - 2022гг

Проект серийной АС с СВБР-100 и развертывание инфраструктуры – 2016-2018гг

СВБР - 100 - принципиальная схема



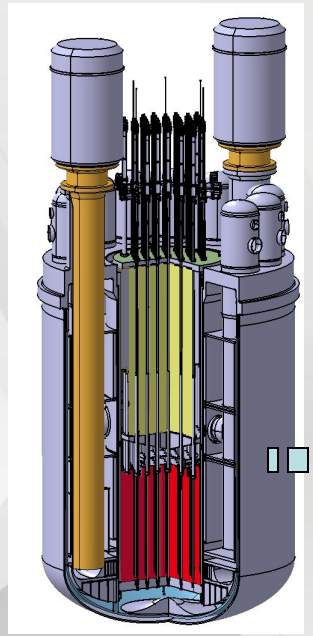
СВБР-100 - компоновка в герметичном боксе

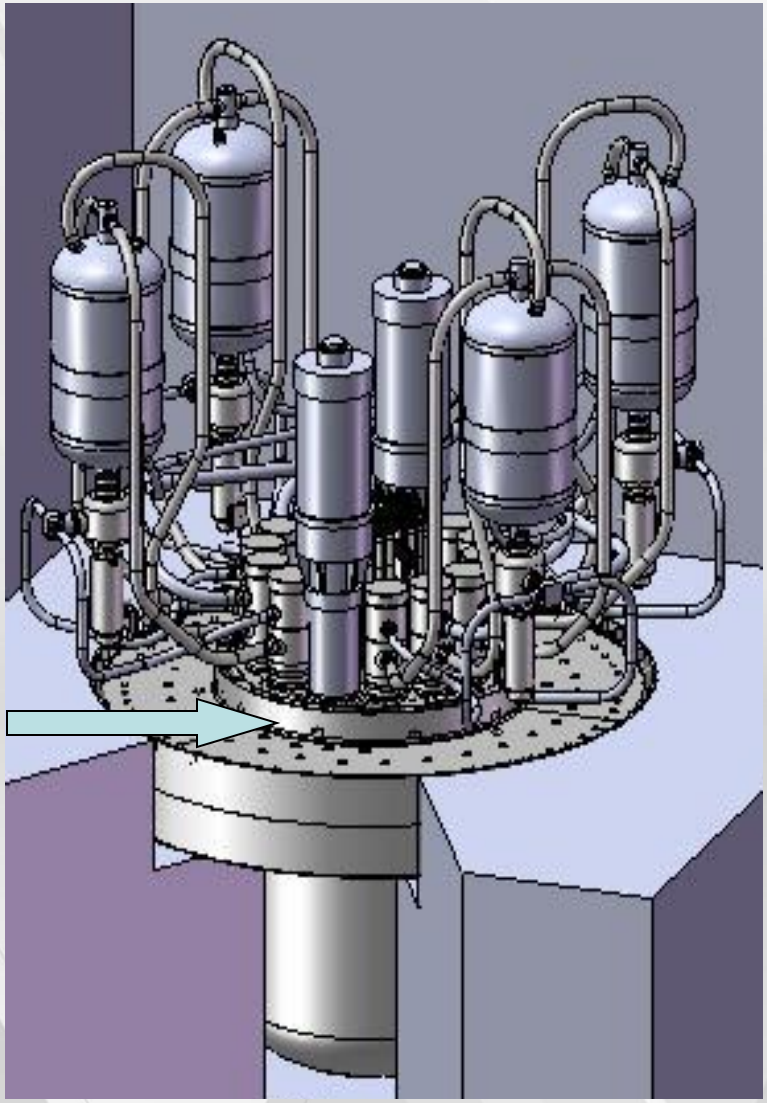
В проект закладывается:

требования универсальности по видам топлива (оксидное урановое, смешанное нитридное, МОХ, «плотное» топливо)

повышенные требования по маневренности для обеспечения работы в суточном графике слежения за нагрузкой

требования по выработки перегретого пара для повышения КПД





МБР

Реакторная установка СВБР-10

Реакторная установка СВБР-10 (10 МВт-эл.) для АС малой мощности (10-40) МВт-эл.

- 2006-2007гг - ОКБ «Гидропресс» в инициативном порядке разработал эскизный проект РУ СВБР-10 в виде транспортабельного реакторного блока (ТРБ) для атомных станций малой мощности наземного берегового размещения (без перегрузки на площадке)

- 2006 г – ЗАО «Атомэнерго» (г.Санкт-Петербург) совместно с ОКБ «Гидропресс») в инициативном порядке выполнили проработку варианта плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС) с РУ СВБР-10 (без перегрузки на площадке)

Реакторная установка СВБР-10 со сверхдлинной кампанией активной зоны (до 20 лет)

Тепловая мощность - 43,4 МВт

Эл. мощность (брутто) - 12 МВт

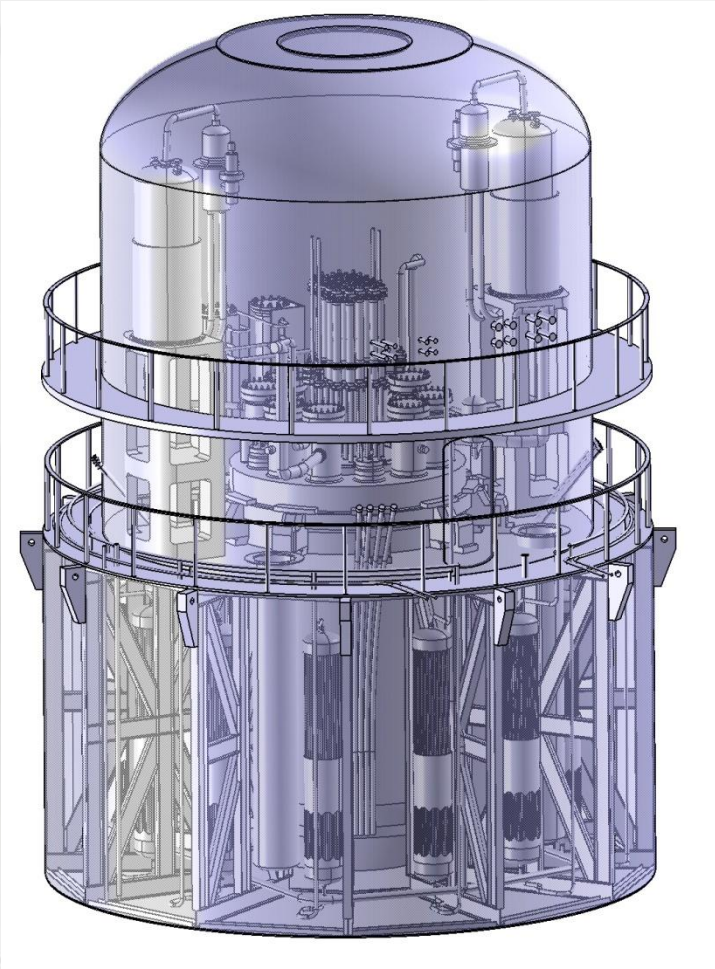
Интервал между одномоментными перегрузками топлива – до 20 лет

В проект закладывается требование универсальности по видам топлива (оксидное урановое, смешанное нитридное, МОХ)

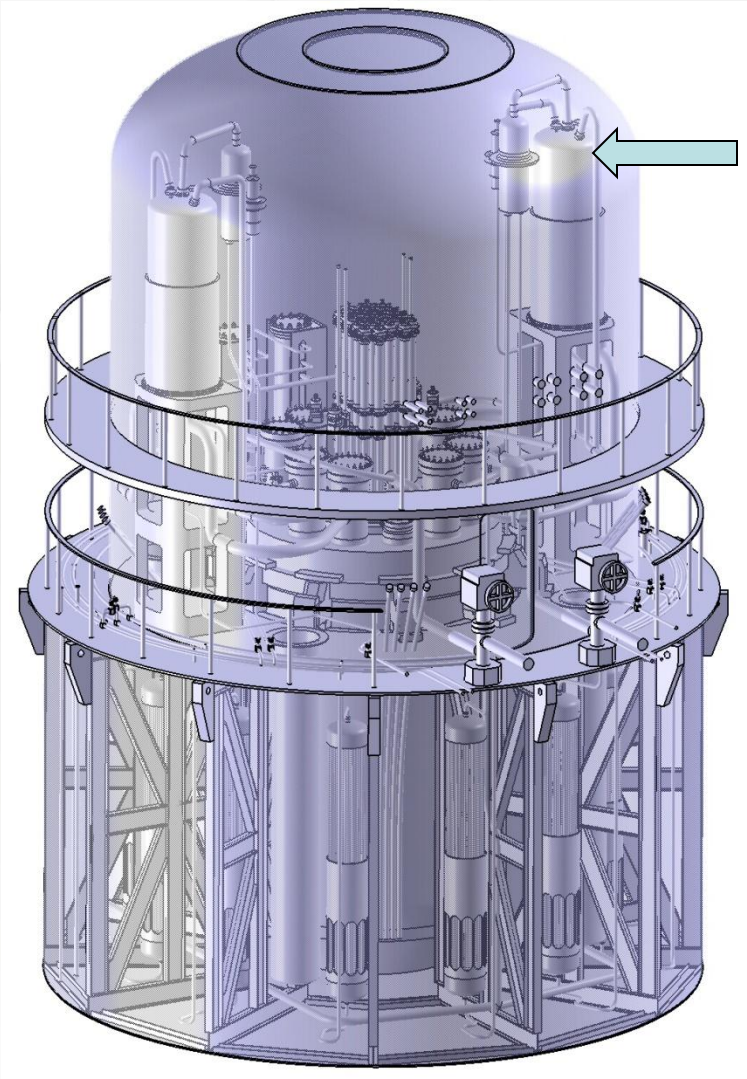
Интегральная компоновка 1 контура:

- все оборудование первого контура размещено в корпусе моноблока реакторного (МБР)
- гидравлические связи по СВТ между оборудованием первого контура сформированы корпусом МБР и элементами внутрикорпусных устройств без использования трубопроводов и арматуры

Реакторная установка размещена в транспортабельном реакторном блоке (ТРБ)



Транспортабельный реакторный блок (ТРБ) с СВБР-10



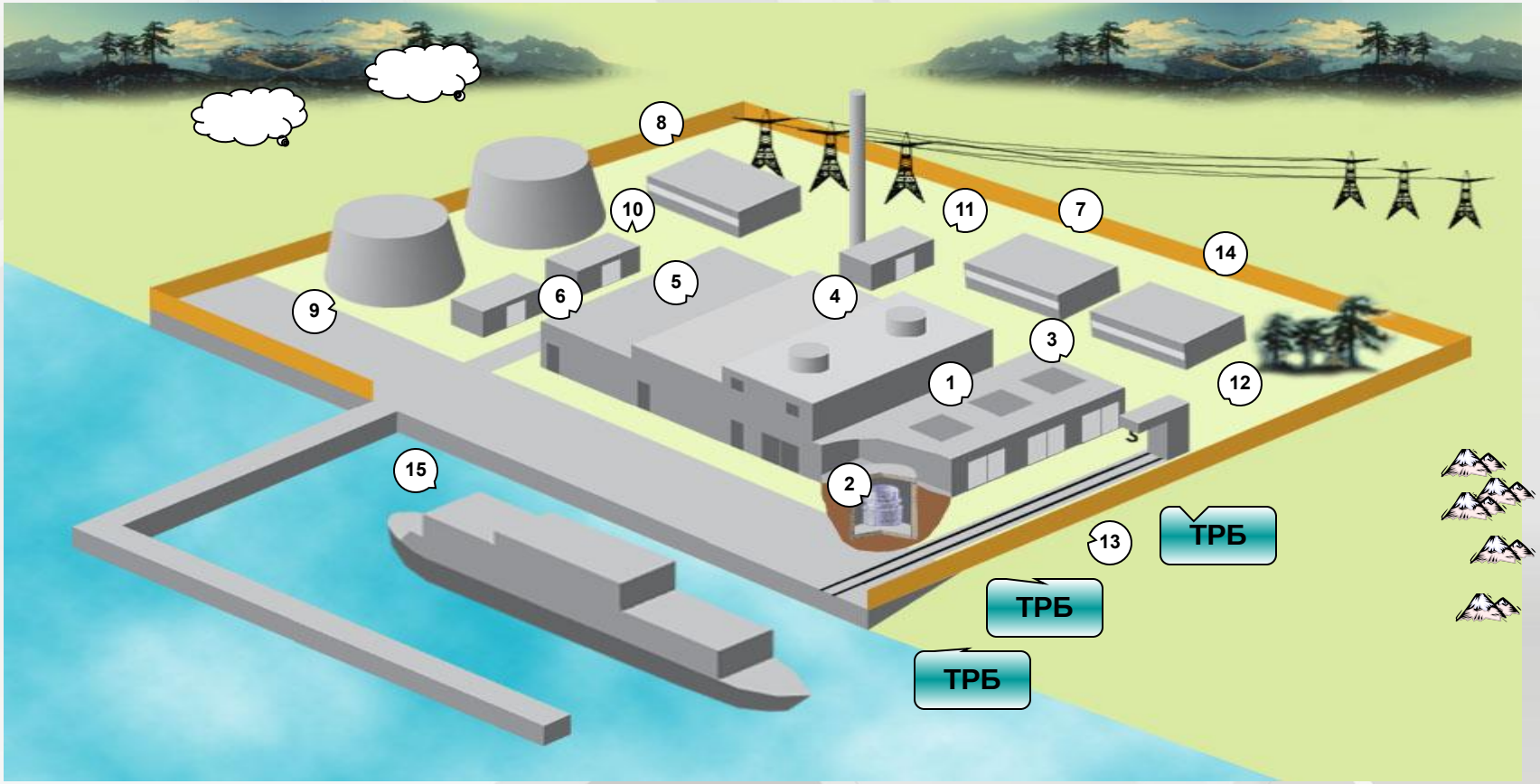
Транспортабельный реакторный блок – функционально законченное герметичное реакторное отделение с СВБР-10 полностью заводского изготовления

ТРБ доставляется на площадку АС и вывозится с площадки АЭС для перегрузки активной зоны водным путем (на транспортном судне или в составе плавучей АС) в ядерно-безопасном состоянии с «замороженным» в реакторе свинцово-висмутовым теплоносителем

В качестве насоса первого контура в СВБР-10 применен МГД насос, не имеющий движущихся частей

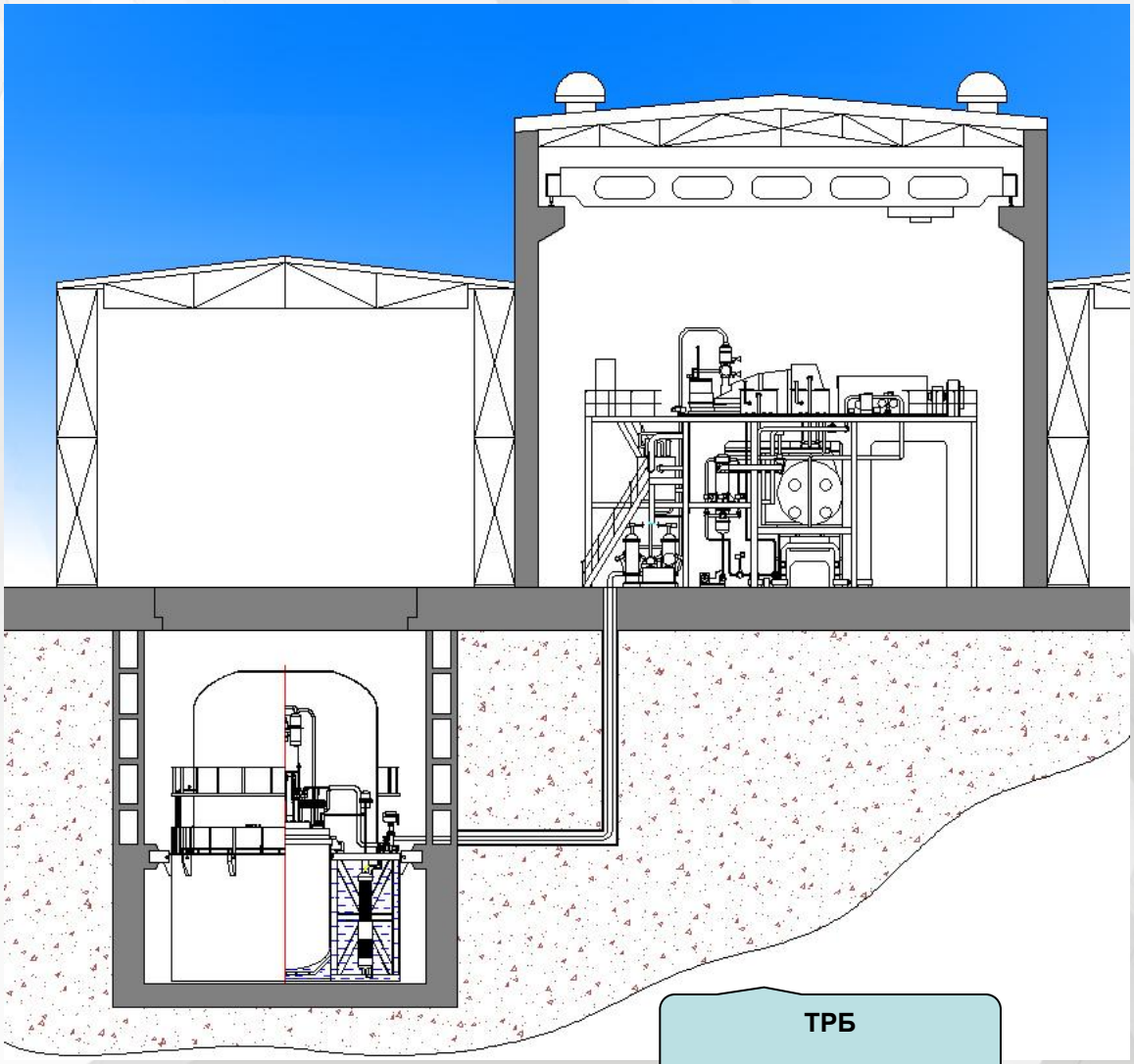
Габариты ТРБ (диаметр/высота), м	8,0/11,2
Масса ТРБ с теплоносителем,т	310

Примерный план размещения береговой атомной станции малой мощности (БАСММ) 30 МВт-эл



1- здание реакторных установок; 2 - ТРБ; 3 – помещение шахты выдержки ТРБ; 4 – машинное отделение; 5 – здание электроснабжения нормальной эксплуатации; 6 – здание общестанционных дизель-генераторов; 7 – пульт управления; 8 – сооружение по выдаче электрической мощности; 9 – воздушно-радиаторный охладитель; 10 – насосные станции; 11 – пуско-резервная котельная; 12 – грузоподъемное устройство; 13 – подъездные пути; 14 - здание общеобъектового назначения; 15 – транспортное судно

Компоновка ТРБ и ТГУ на площадке БАСММ



Принципиальная схема жизненного цикла ТРБ с СВБР-10

•Перегрузка активной зоны реактора

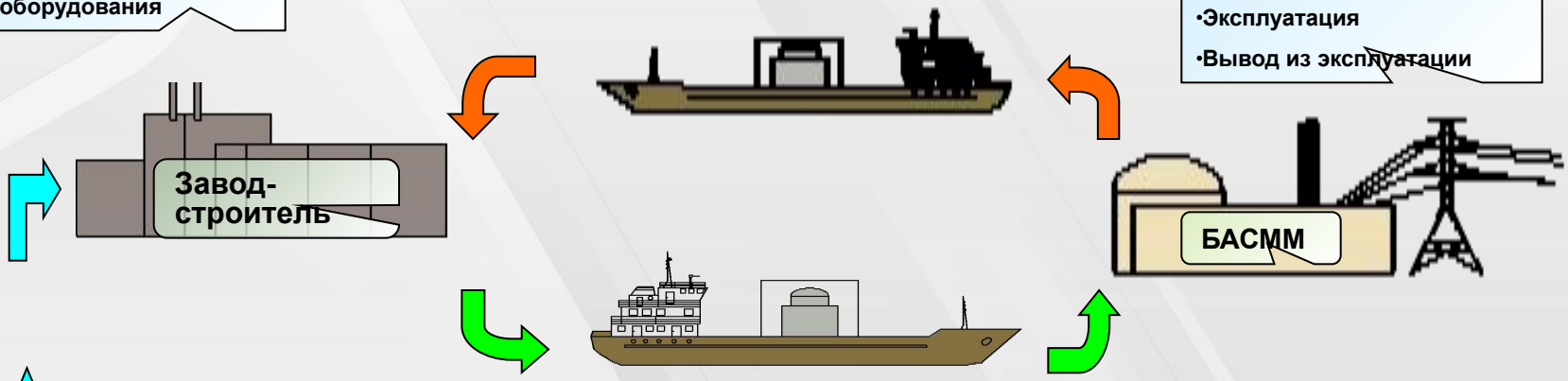
•Ремонт и замена оборудования

Транспортировка отработавшего ТРБ на завод-строитель в ядерно-безопасном состоянии

•Выгрузка ТРБ на берег и подключение ТРБ к системам БАСММ

•Эксплуатация

•Вывод из эксплуатации



•Монтаж оборудования РУ в ТРБ

•Заводские испытания

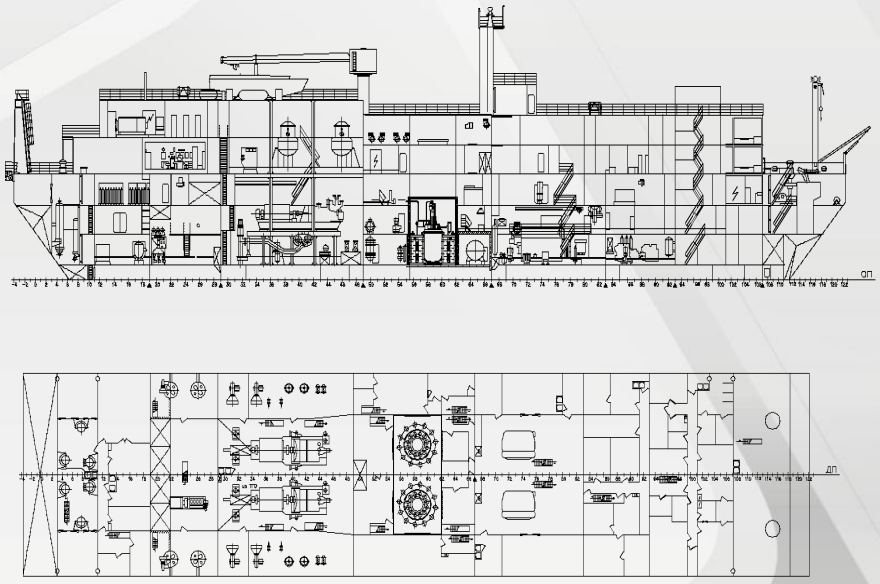
Транспортировка ТРБ на площадку БАСММ в ядерно-безопасном состоянии

Заводы-изготовители оборудования РУ

Транспортировка оборудования РУ на завод-строитель железнодорожным транспортом

Плавучая АЭС с СВБР-10

В 2006г. ЗАО «Атомэнерго» совместно с разработчиками РУ СВБР-10 была выполнена проработка варианта плавучей АЭС с двумя РУ СВБР-10 (экв. эл. мощностью 24 МВт)



РУ СВБР-10

Особенности ПАЭС на основе РУ СВБР-10:

- Использование быстрого реактора, имеющего длительную капанию активной зоны (до 20 лет), позволяет сократить количество используемых за период эксплуатации активных зон и отказаться от перегрузок топлива в месте базирования, что позволяет исключить из состава ПЭБ дополнительные конструкции и оборудование для проведения перегрузок и хранения на борту ПЭБ свежего и отработавшего топлива
- Имеется возможность транспортировки ПАЭС к месту эксплуатации (со «свежим» топливом в реакторе) и обратно (с ОЯТ в реакторе) в ядернобезопасном состоянии с «замороженным» теплоносителем

Заключение

1. Реакторные установки типа СВБР – один из основных компонентов инновационной ядерной энергетической системы (ИЯЭС), основанной на применении интегральных быстрых реакторов нового поколения со свинцово-висмутовым теплоносителем в модульных станциях малой мощности различного вида и назначения
2. Реакторные установки типа СВБР проектируются для работы на разных видах топлива и в различных топливных циклах. Продолжительность работы без перегрузки топлива от 7 (СВБР-100) до 20 (СВБР-10) лет
3. Инновационная ядерная энергетическая технология на основе РУ типа СВБР может занять существенное место на внутреннем и международном рынке энергоисточников малой и средней мощности

Спасибо за внимание !