

III Международный форум поставщиков атомной отрасли «АТОМЕКС 2011»



ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Беляев В.М., Кузнецов Л.Е., Шаманин И.Е.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОЕКТЫ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

БЕЛЯЕВ ВЯЧЕСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ
ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО КОНСТРУКТОРА РУ ВВЭР
ОАО «ОКБМ Африкантов»

г. МОСКВА
2011 год

Комплекс требований для атомных энергоблоков малой и средней мощности

- ♦ ГАРАНТИРОВАННЫЙ УРОВЕНЬ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ, ПОЗВОЛЯЮЩИЙ БЕЗ НЕПРИЕМЛЕМОГО РИСКА ПРИБЛИЗИТЬ АС К ПОТРЕБИТЕЛЯМ
- ♦ ВЫСОКАЯ МАНЕВРЕННОСТЬ ДЛЯ ГИБКОГО ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПОТРЕБНОСТИ ЛОКАЛЬНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ
- ♦ ГАРАНТИРОВАННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЖИМА НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ
- ♦ ПРОСТОТА И НАДЕЖНОСТЬ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗА СЧЕТ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ АВТОМАТИЗАЦИИ
- ♦ МИНИМИЗАЦИЯ ОБЪЕМА ОБСЛУЖИВАНИЯ - ПЕРЕХОД НА СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СТАНЦИИ
- ♦ МОДУЛЬНЫЙ ПОДХОД В КОНСТРУКЦИИ РУ И ТЕХНОЛОГИИ СООРУЖЕНИЯ ЭНЕРГООБЛОКА, ДАЮЩИЙ ВОЗМОЖНОСТЬ РАДИКАЛЬНО СОКРАТИТЬ СРОКИ СООРУЖЕНИЯ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕАКТОРНЫХ МОДУЛЕЙ И УКРУПНЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ.

Комплекс требований для атомных энергоблоков малой и средней мощности

- ◆ ГИБКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И КОНСТРУКЦИИ МОДУЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТРЕБОВАНИЙ ЗАКАЗЧИКА
- ◆ РАЗНООБРАЗИЕ ВОЗМОЖНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОИСТОЧНИКА ПОМИМО ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА, ВКЛЮЧАЯ КОГЕНЕРАЦИЮ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ПОЛУЧЕНИЕ ПРЕСНОЙ ВОДЫ ПУТЕМ ОПРЕСНЕНИЯ МОРСКОЙ, ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА
- ◆ МНОГОЦЕЛЕВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ – СУДА, ПЛАВУЧИЕ И НАЗЕМНЫЕ АС, БУРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ И ДР.
- ◆ МИНИМАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ НАЛИЧИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И КВАЛИФИЦИРОВАННОЙ РАБОЧЕЙ СИЛЫ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ

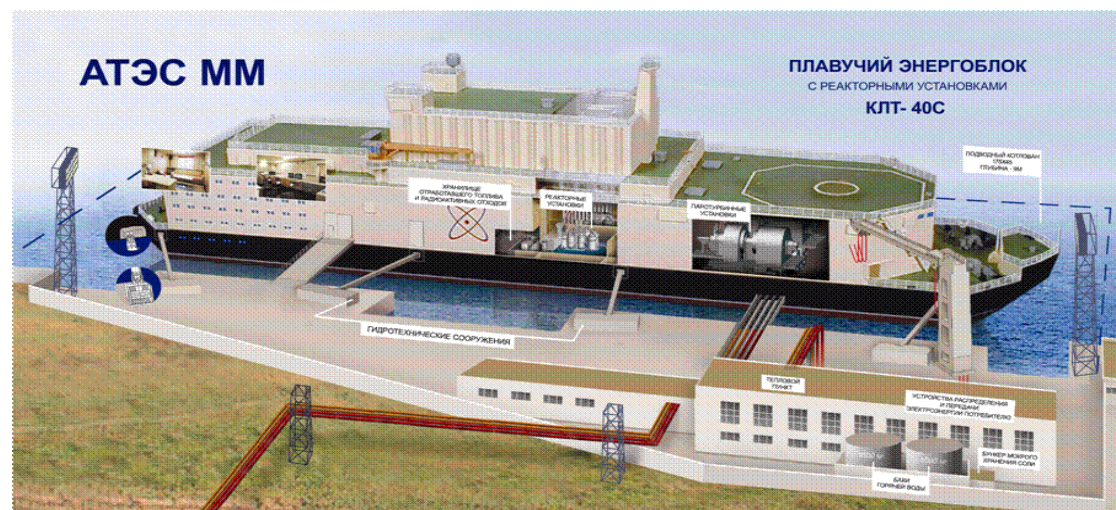


ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСВОЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СУДОВЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

- ♦ опыт эксплуатации более 460 реакторов с общим сроком службы более 6500 реакторо-лет
- ♦ многолетний опыт проектирования и изготовления
 - ♦ результаты ранее выполненных НИОКР

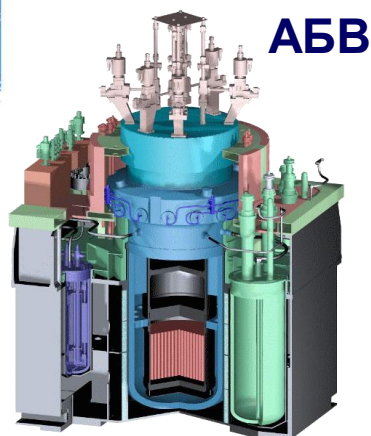
ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕАКТОРОВ ТИПА ВВЭР

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ЛИЦЕНЗИРОВАНИЯ РЕАКТОРА КЛТ-40С ПЛАВУЧЕЙ АТЭС



ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

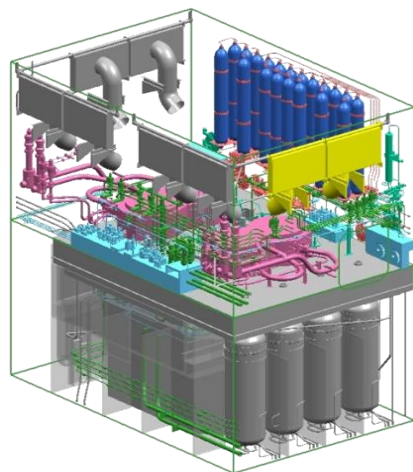
Водо-водяные реакторы для АС малой и средней мощности



АБВ

ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ
16...45 МВт
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ
4...10 МВт

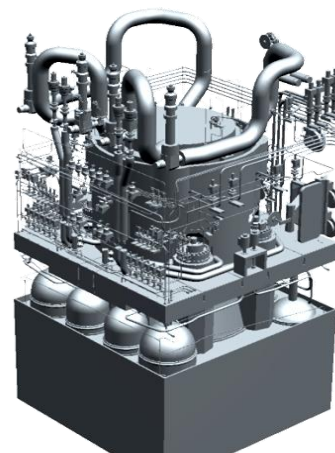
Унифицированные РУ с реакторами интегрального типа и 100 % естественной циркуляцией первого контура для наземных и плавучих АС



КЛТ

ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ
150 МВт
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ 36 МВт

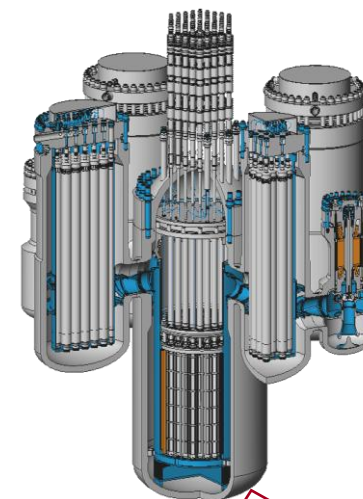
Серийные блочные реакторы атомных ледоколов и судов морского флота



РИТМ

ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ
150...175 МВт
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ 38...50 МВт

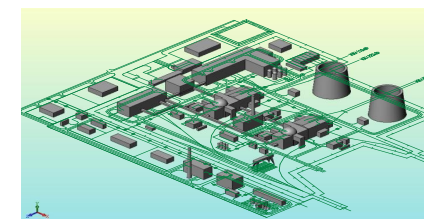
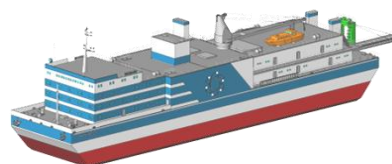
Реактор интегрального типа с принудительной циркуляцией для универсального атомного ледокола и плавучих АС



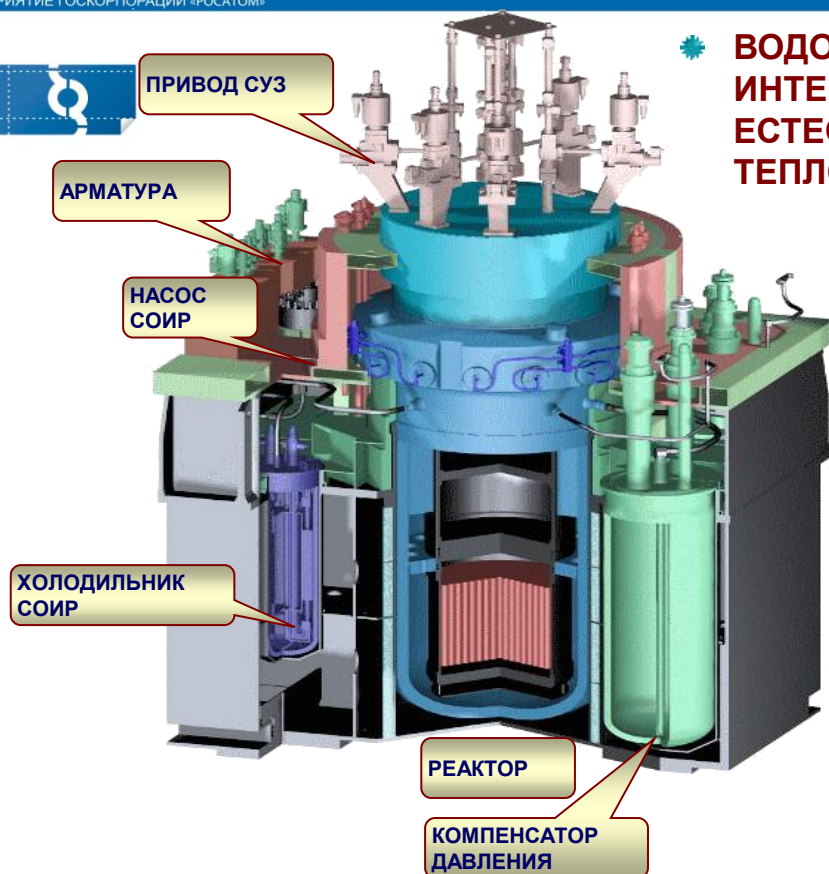
ВБЭР

ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ
300...1700 МВт
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ
100...600 МВт

Блочный реактор на базе судовых технологий для наземных и плавучих АС

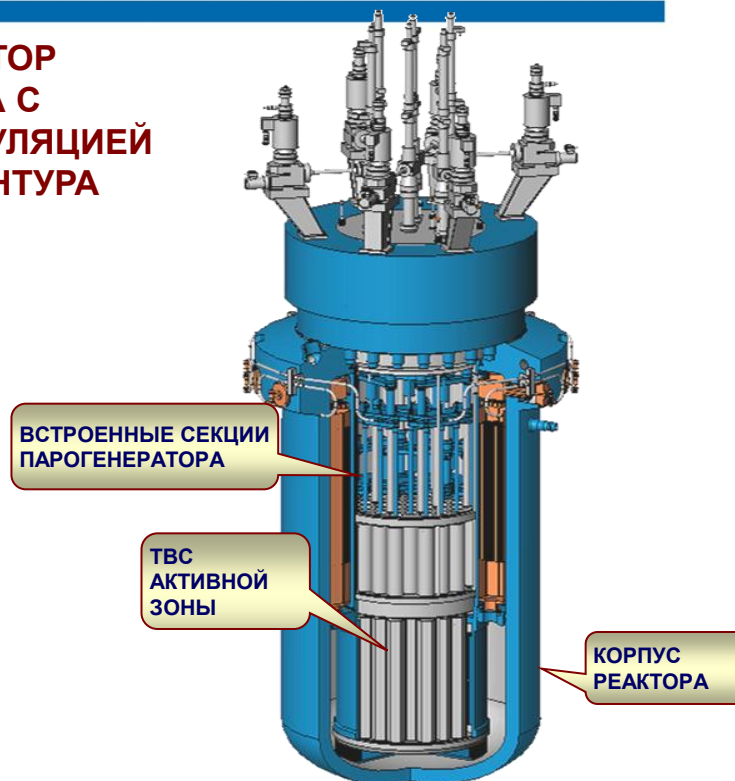


Парогенерирующий блок и реактор АБВ-6М



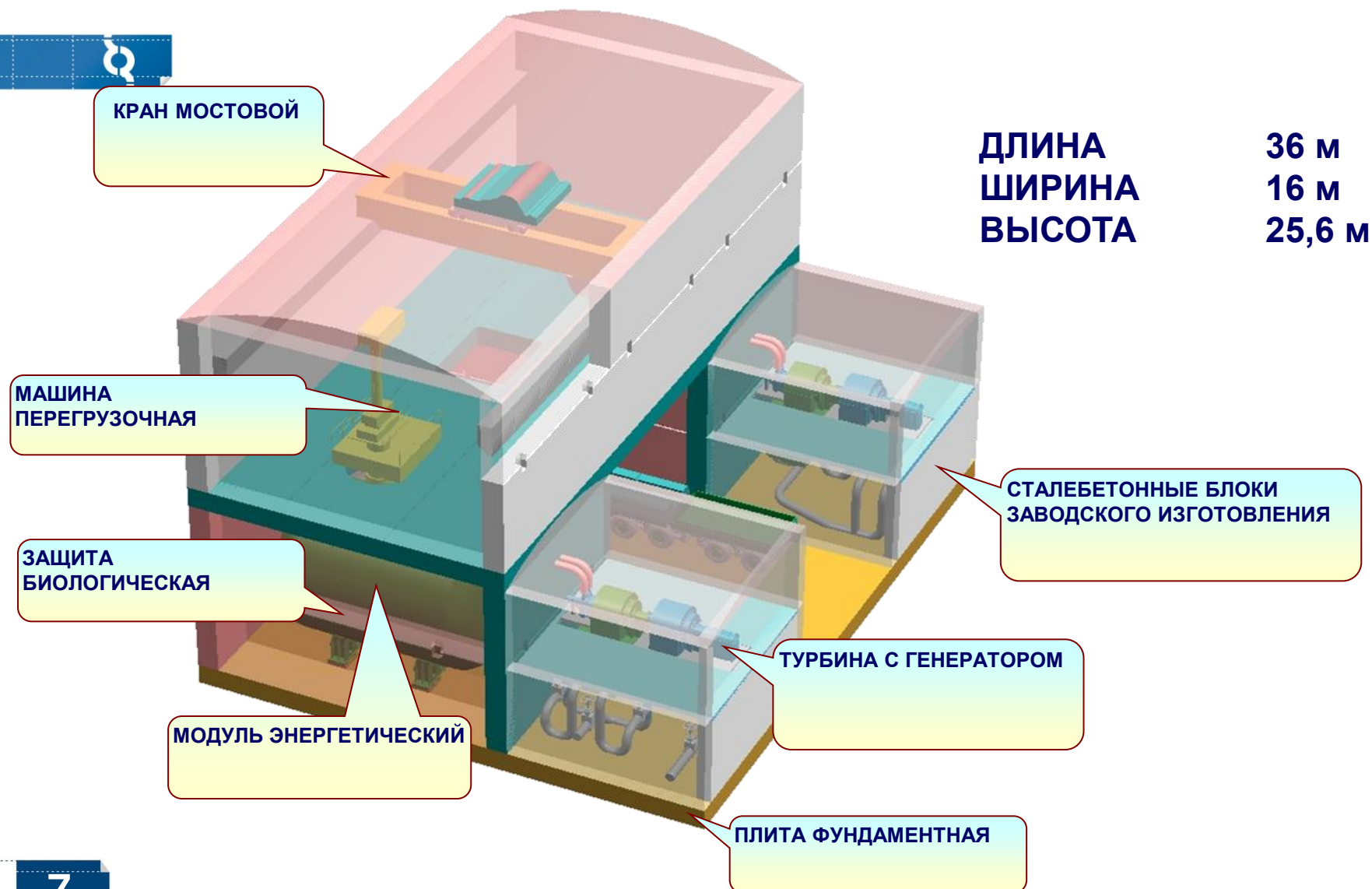
- ❖ ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РУ СКОМПОНОВАНО НА БАКЕ МЕТАЛЛО-ВОДНОЙ ЗАЩИТЫ В ЕДИНЬЙ ПАРОГЕНЕРИРУЮЩИЙ БЛОК, ТРАНСПОРТАБЕЛЬНЫЙ ПО Ж/Д

- ❖ ВОДО-ВОДЯНОЙ РЕАКТОР ИНТЕГРАЛЬНОГО ТИПА С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ I КОНТУРА

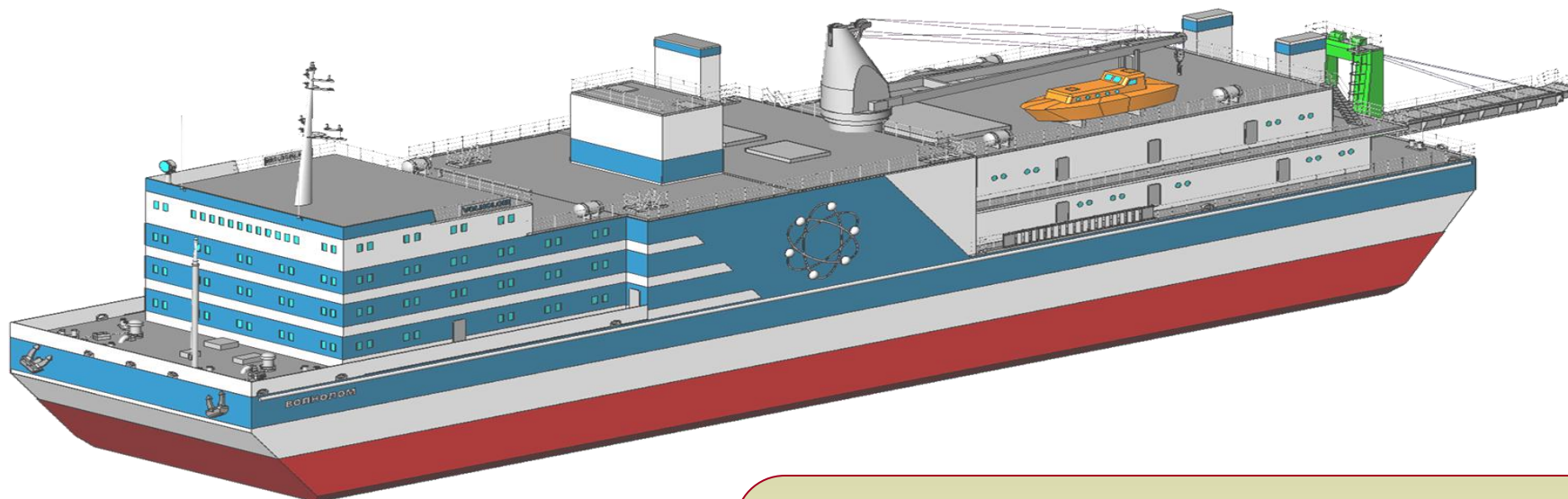


❖ ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ, МВТ	38
❖ ПАРАМЕТРЫ I КОНТУРА	
❖ ДАВЛЕНИЕ, МПА	15,7
❖ ТЕМПЕРАТУРА НА ВЫХОДЕ АЗ, °С	330
❖ ПАРОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, Т/Ч	55
❖ ПАРАМЕТРЫ II КОНТУРА НА ВЫХОДЕ ИЗ ПГ	
❖ ДАВЛЕНИЕ ПАРА, МПА	3,14
❖ ТЕМПЕРАТУРА ПАРА, °С	290
❖ РАСЧЕТНЫЙ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ, ЛЕТ	40

Наземный энергоблок с двумя РУ АБВ-6М



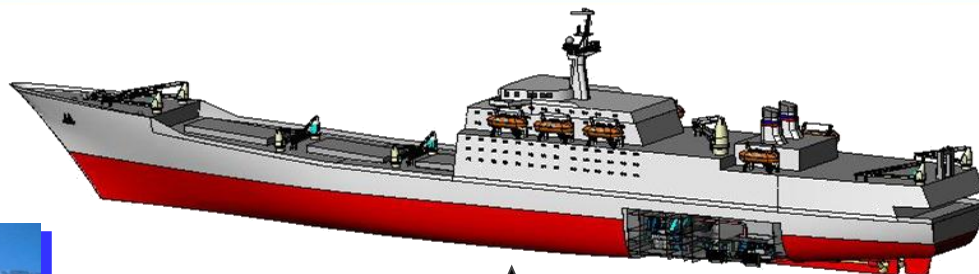
Плавучий энергоблок с двумя РУ АБВ-6М



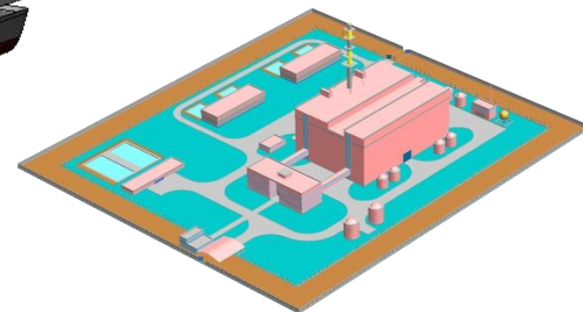
ДЛИНА НАИБОЛЬШАЯ, м	97
ШИРИНА, м	24
ВЫСОТА БОРТА, м	7.3
ОСАДКА, м	3
ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ, т	6500

РУ АБВ-6М

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ



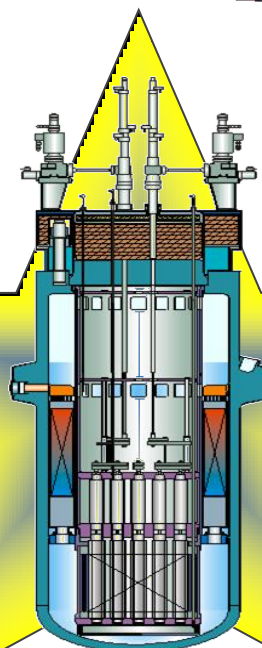
**ТРАНСПОРТНЫЕ СУДА,
ПРОМЫСЛОВЫЕ БАЗЫ,**



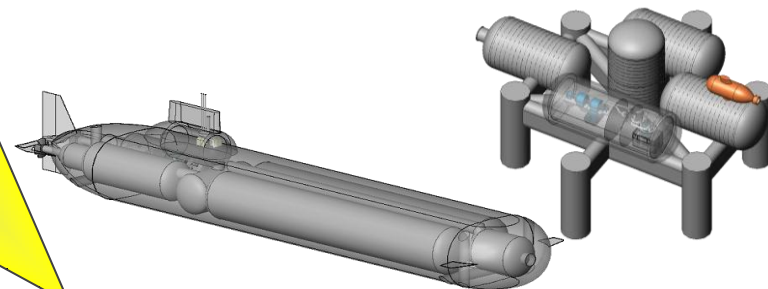
**ПЛАВУЧИЕ СТАНЦИИ ДЛЯ
ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ.
ЭНЕРГООПРЕСНИТЕЛЬНЫЕ
КОМПЛЕКСЫ**



**АВТОНОМНОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ МОРСКИХ
НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ**



**НАЗЕМНЫЕ СТАНЦИИ ДЛЯ
АВТОНОМНОГО
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ
ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНОВ**



**ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ПОДВОДНЫХ БУРОВЫХ ПЛАТФОРМ И
ТАНКЕРОВ**

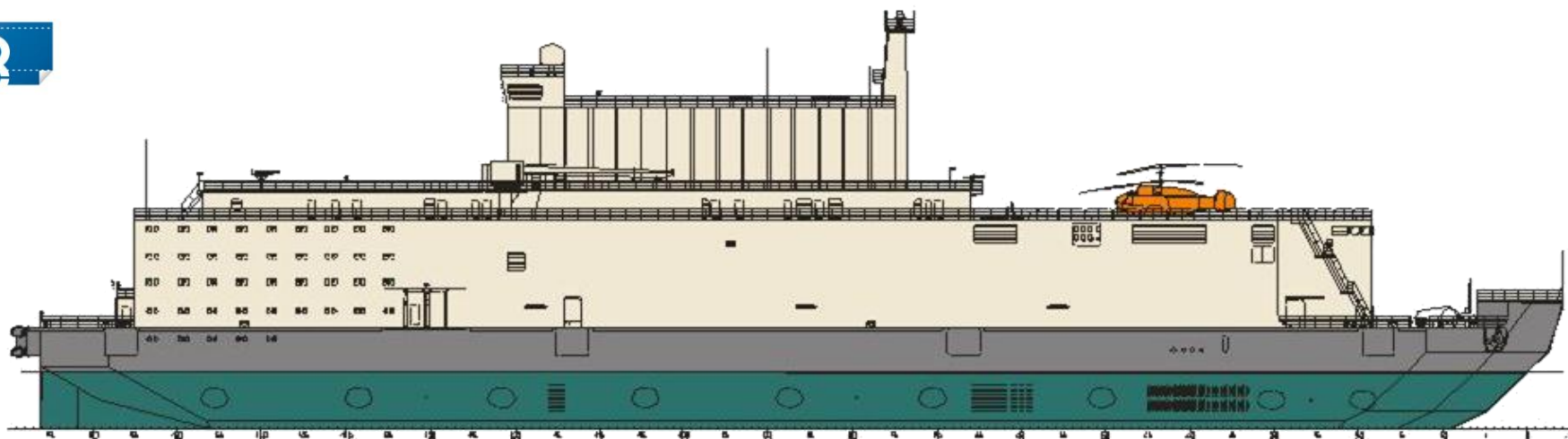
Плавучая атомная станция на базе ПЭБ с двумя РУ КЛТ- 40С

- ◆ ПИЛОТНЫЙ ПРОЕКТ АТЭС ММ
- ◆ ИДЁТ СТРОИТЕЛЬСТВО ПЭБ НА БАЛТИЙСКОМ ЗАВОДЕ, г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, РФ
- ◆ ЗАВЕРШЕНА ПОСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ
- ◆ СРОК ПУСКА СТАНЦИИ 2013 ГОД (г. ВИЛЮЧИНСК, КАМЧАТСКАЯ ОБЛАСТЬ, РФ)

- ◆ ОТПУСК ПОТРЕБИТЕЛЯМ
 - ◆ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ 20...70 МВт
 - ◆ ТЕПЛА 50...146 Гкал/ч



Основные технические характеристики ПЭБ с РУ КЛТ- 40С



ТИП - НЕСАМОХОДНОЕ СТОЕЧНОЕ СУДНО

ДЛИНА, М

140,0

ШИРИНА, М

30,0

ВЫСОТА БОРТА, М

10,0

ОСАДКА, М

5,6

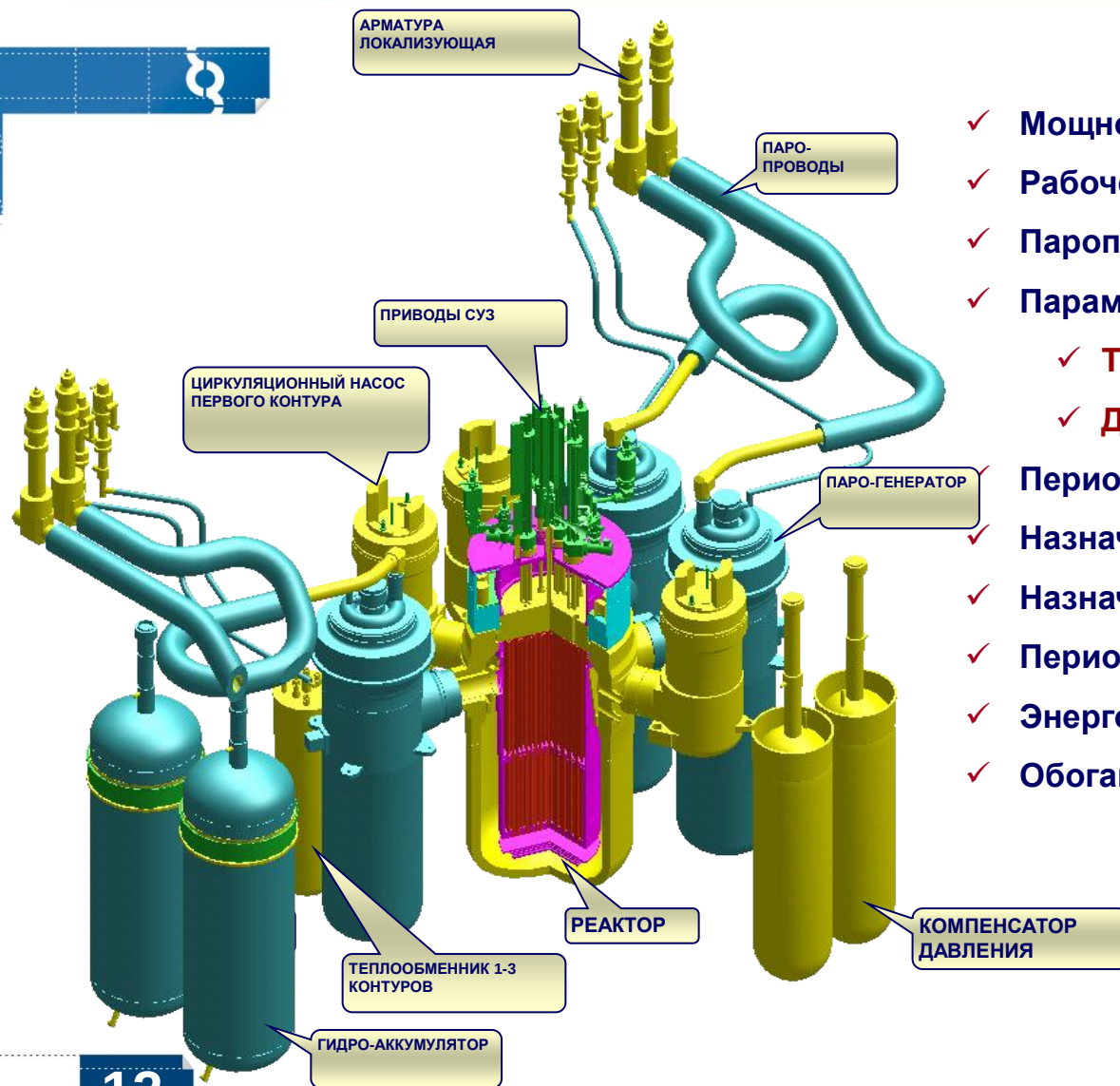
ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ, Т

21 000

СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЭБ, ЛЕТ

40

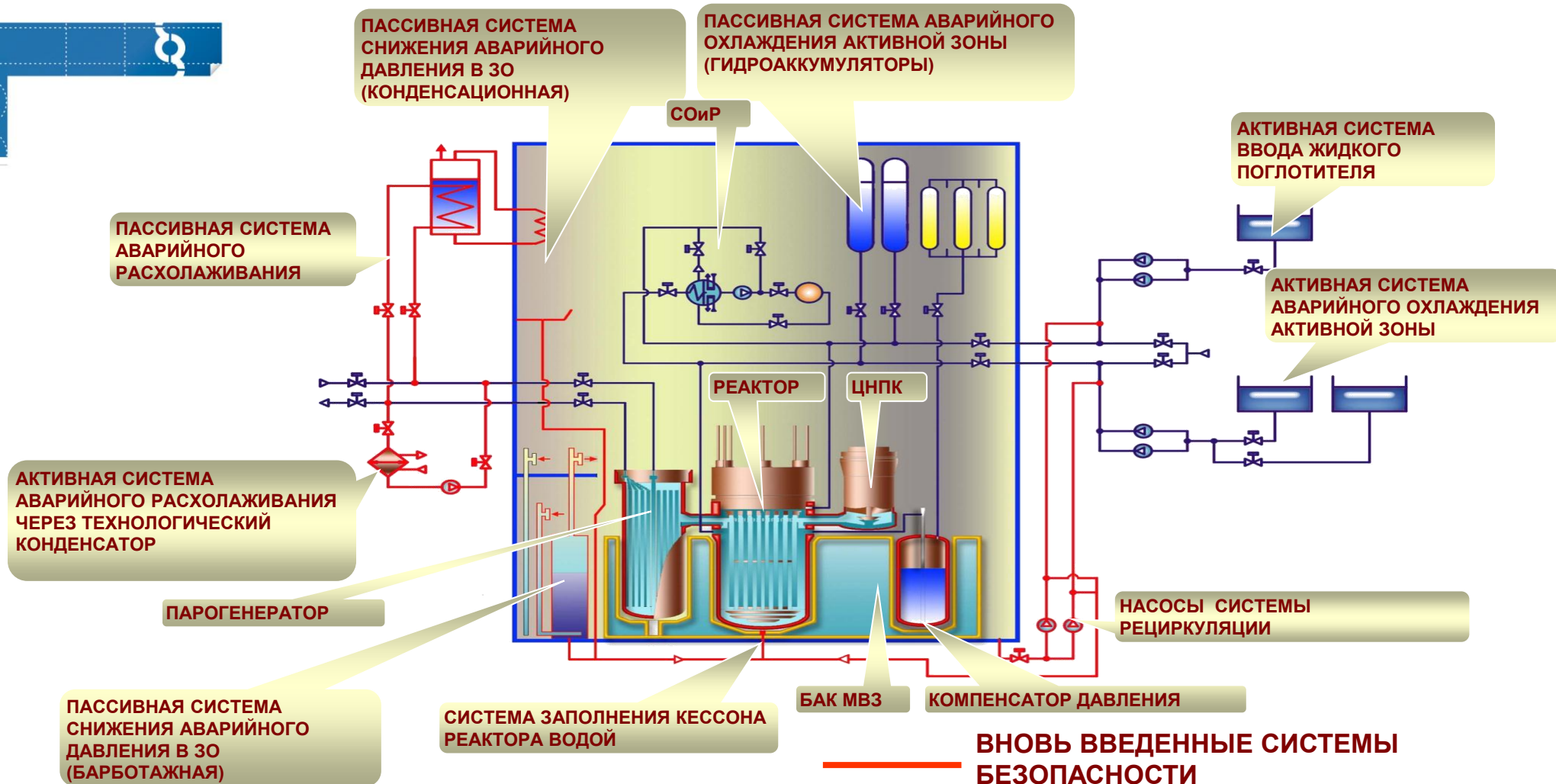
Реакторная установка КЛТ-40С



- ✓ Мощность реактора 150 МВт
- ✓ Рабочее давление по 1 контуру 12,7 МПа
- ✓ Паропроизводительность 240 т/ч
- ✓ Параметры пара:
 - ✓ Температура 290°C
 - ✓ Давление (абс.) 3,82 МПа
- ✓ Период непрерывной работы 26 000 ч
- ✓ Назначенный срок службы 40 лет
- ✓ Назначенный ресурс 300 000 ч
- ✓ Период между перегрузками ~ 2,5-3 г.
- ✓ Энергоресурс головной а.з. 2,1 ТВт·ч
- ✓ Обогащение топлива < 20 %

- ✓ Внутреннее давление в 30 0,4 МПа
- ✓ Герметичность 30 1% объема/сутки

Принципиальная схема РУ КЛТ-40С



Обоснована устойчивость РУ к внешним воздействиям:

- ✓ качки и наклоны в соответствии с требованиями РМРС;
- ✓ ударостойкость – не менее 3 g;
- ✓ глушение реактора и сохранность 30 при затоплении;
- ✓ падение вертолётa массой 10 т с высоты 50 м.

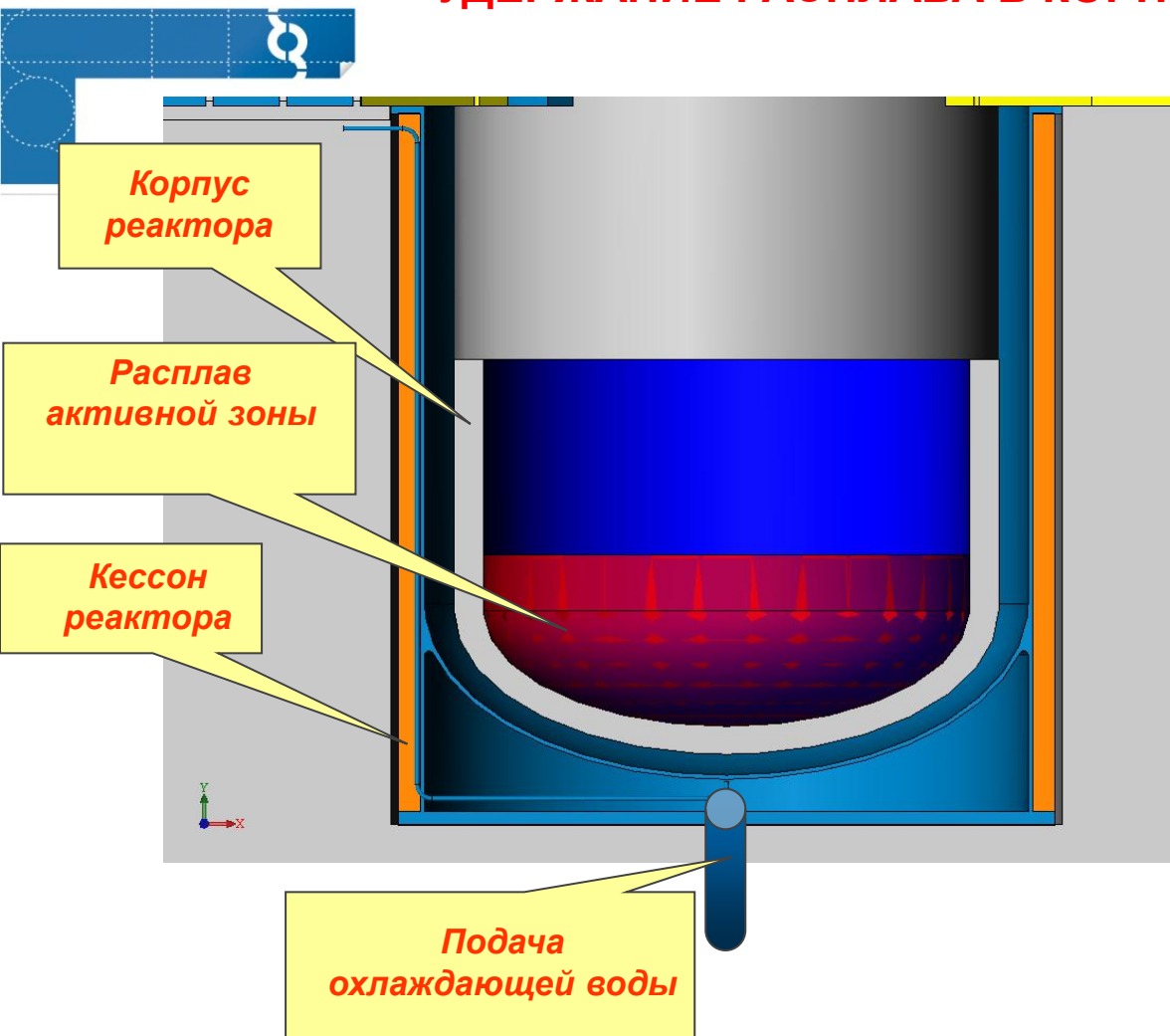
Проведенный всесторонний анализ устойчивости ПЭБ при воздействии природного характера показал, что для условий размещения ПАТЭС в г. Вилючинск, Камчатского края радиационные последствия отсутствуют:

- ✓ при сейсмическом воздействии силой 10-12 баллов с вертикальным ускорением до $1,8 \text{ м/с}^2$;
- ✓ гарантированно в течение 24 ч при полном обесточивании ПЭБ;
- ✓ при воздействии цунами благодаря выбору места размещения и специальным гидротехническим сооружениям.

Данные результаты достоверны и для площадки в г. Певек, т.к. согласно имеющимся данным там существенно ниже сейсмическая активность и практически отсутствует вероятность возникновения цунами

Анализ постулированной тяжелой аварии

УДЕРЖАНИЕ РАСПЛАВА В КОРПУСЕ РЕАКТОРА РУ КЛТ-40С

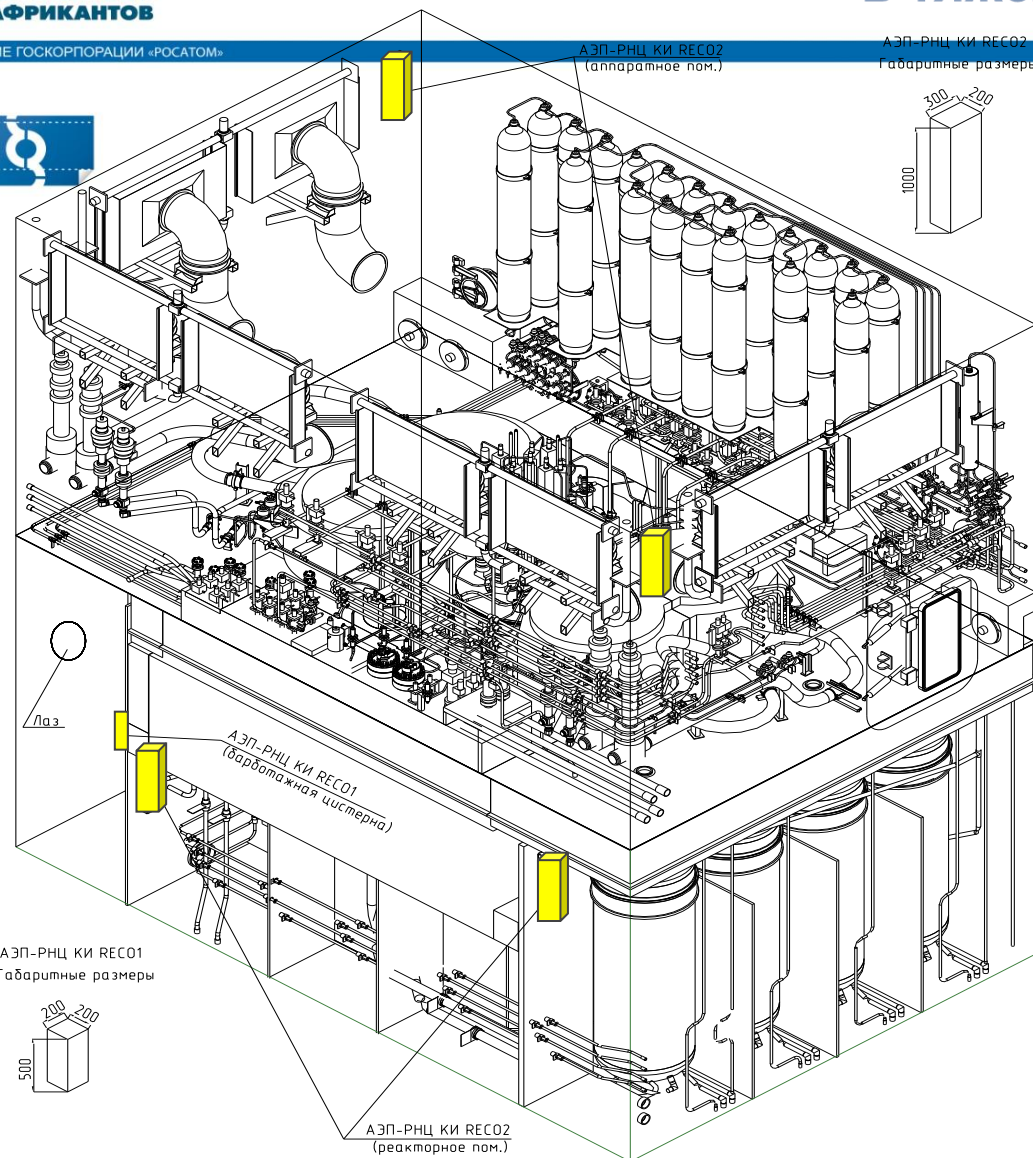


Объем расплава, м³ - 0,885
Диаметр зеркала расплава, м - 1,918
Высота расплава, м - 0,471
Мощность тепловыделений, МВт - 0,79

Результаты анализа тяжелой аварии

- ✓ Подплавление корпуса реактора отсутствует
- ✓ Обеспечивается надежный теплоотвод от наружной поверхности дна корпуса
- ✓ Механические свойства корпуса при возникающем перепаде температур сохраняются на достаточном уровне для обеспечения несущей способности
- ✓ Доза облучения населения в запроектной аварии с тяжёлым повреждением активной зоны не превышает 5 мЗв

Анализ водородной безопасности в тяжелой аварии



- Размещение рекомбинаторов (дожигателей) водорода в аппаратном и реакторном помещениях РУ КЛТ-40С

САНИТАРНО-
ЗАЩИТНАЯ ЗОНА



- ✓ ДОЗОВАЯ НАГРУЗКА НА НАСЕЛЕНИЕ ПРИ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРОЕКТНЫХ АВАРИЯХ НЕ ПРЕВЫШАЕТ 0,01% ЕСТЕСТВЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА.
- ✓ ЗОНА ПЛАНИРОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ ЭВАКУАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ ОТСУТСТВУЕТ
- ✓ ПРОВЕДЕННЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА ПЕРЕГРУЗОЧНОГО И ПРОЦЕССА ПЕРЕГРУЗКИ ЯЭУ РЕАКТОРОВ ПЭБ, С УЧЕТОМ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И ОРГАНИЗАЦИОННЫХ МЕР ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИСКЛЮЧАЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ИЛИ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ



Заказчик-застройщик
ОАО «Концерн Росэнергоатом»
в лице филиала «Дирекция строящихся
плавучих атомных теплоэлектростанций»

Ход строительства головного плавучего энергоблока

- Май 2009 г. – закладка ПЭБ на стапеле Балтийского завода
- Июнь 2010 г. – спуск ПЭБ на воду
- Февраль 2011 г. – завершение сварки корпуса ПГБ (приварка ПГ и гидрокамер к корпусу реактора)
- Май 2011 г. – поставка паротурбинной установки
- Август 2011 г. – завершение поставки оборудования РУ
- 2012 г. – завершение достроечных работ
- 2013 г. – ввод ПАТЭС в опытно-промышленную эксплуатацию в г. Вилючинск

Плавучий энергоблок на стапеле Балтийского завода – 2009 год



Плавучий энергоблок спуск на воду – июнь 2010 года



Плавучий энергоблок у причальной стенки Балтийского завода – 2010 год



Плавучий энергоблок у причальной стенки Балтийского завода – июнь 2011 год



Плавучий энергоблок у причальной стенки Балтийского завода – июнь 2011 год



Парогенерирующий блок



Паротурбинная установка на заводе - изготовителе



Паротурбинная установка Доставка к месту установки на ПЭБ



Паротурбинная установка Разгрузка на причальной стенке Балтийского завода



Реакторная установка РИТМ-200

ТИП ПГБ

ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ РУ

ПЕРИОД НЕПРЕРЫВНОЙ РАБОТЫ

СРОК МЕЖДУ ПЕРЕГРУЗКАМИ

ОБОГАЩЕНИЕ ТОПЛИВА

КИУМ

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ

до 175 МВт

26 000 ч

до 10 лет

не более 20 %

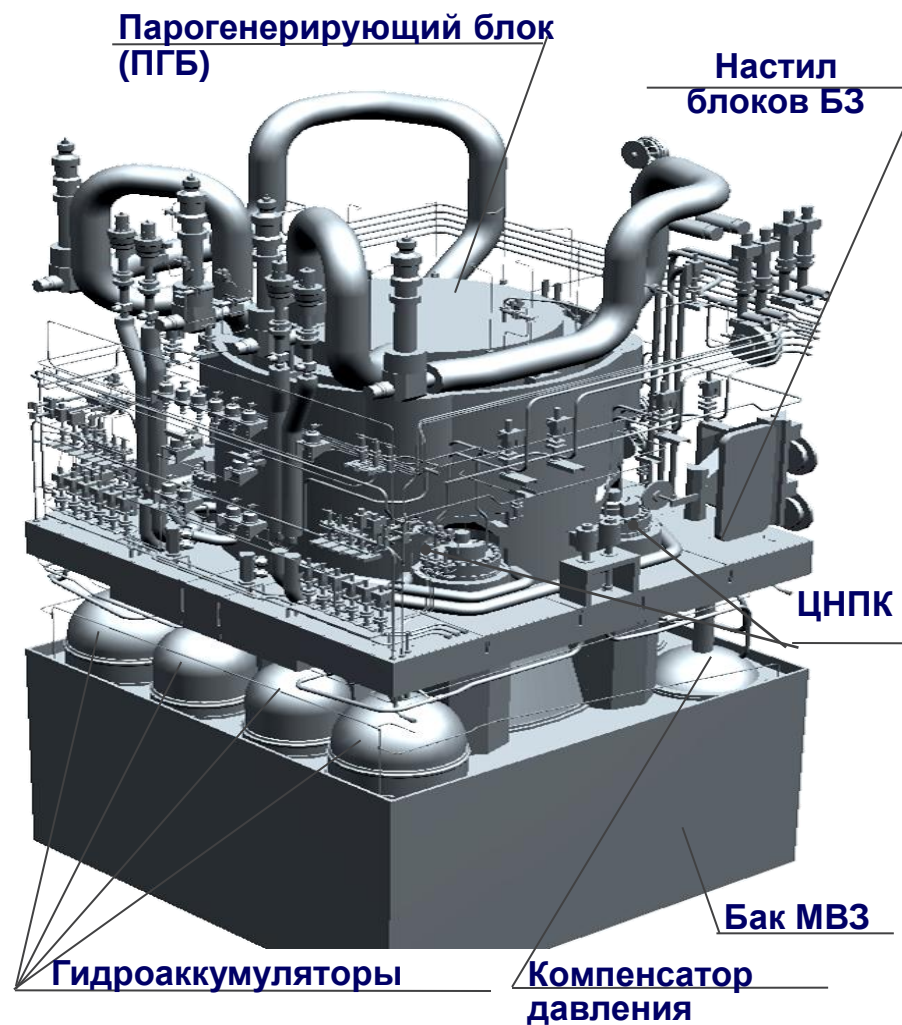
0,65

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

- **ИНТЕГРИРОВАННЫЙ КОРПУС ПГБ, ПОЗВОЛИВШИЙ СУЩЕСТВЕННО УМЕНЬШИТЬ МАССУ И ГАБАРИТЫ РУ В ПРЕДЕЛАХ ЗО**
- **НИЗКООБОГАЩЕННАЯ КАССЕТНАЯ АКТИВНАЯ ЗОНА, ПО КОНСТРУКТИВНОМУ ИСПОЛНЕНИЮ АНАЛОГИЧНАЯ АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА КЛТ-40С РУ ПАТЭС, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ВЫСОКУЮ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНУЮ РАБОТУ БЕЗ ПЕРЕЗАРЯДКИ И ВЫПОЛНЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ**
- **УВЕЛИЧЕННЫЙ РЕСУРС И СРОК СЛУЖБЫ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДО ЗАВОДСКОГО РЕМОНТА**
- **УВЕЛИЧЕННЫЕ РЕЗЕРВЫ ВРЕМЕНИ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ ПЕРСОНАЛОМ КОРРЕКТИРУЮЩИХ МЕР**



Компоновка реакторной установки РИТМ-200 В 30



Возможности использования РУ РИТМ-200

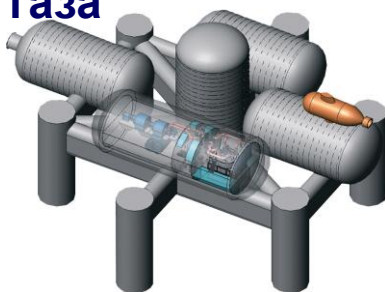
Плавучие АС



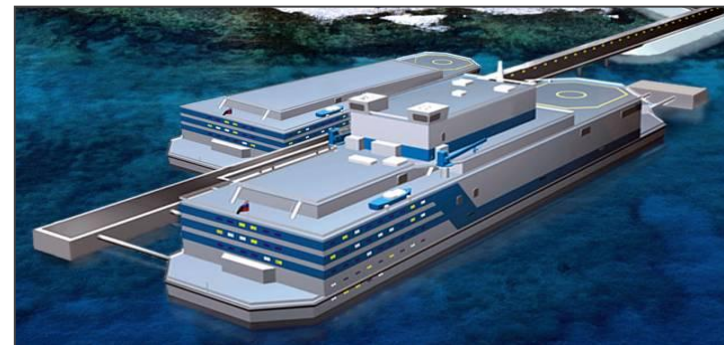
Ледоколы



Комплексы по добыче и переработке газа



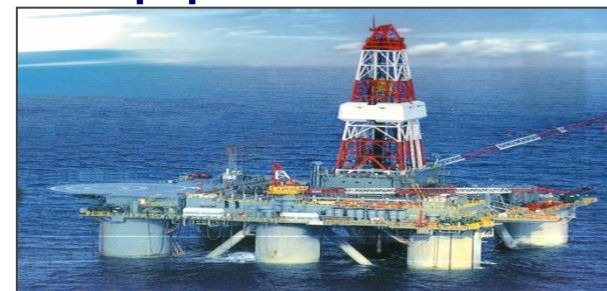
Опреснительные комплексы



Морские суда



Нефтедобывающие платформы



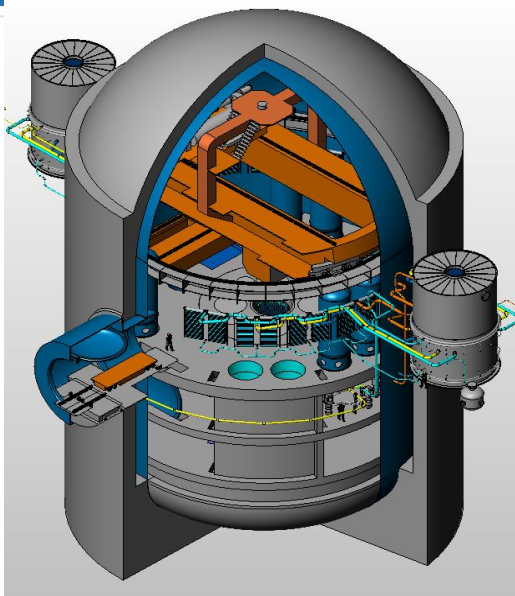
- ★ РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА РУ УАЛ ЗАВЕРШЕНА В 2009 г. В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ВЕДЕТСЯ КОРРЕКТИРОВКА ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ЗАМЕЧАНИЯМ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.
- ★ В ТЕЧЕНИЕ 2010 г. ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ПОСТАВКИ ОБОРУДОВАНИЯ РУ И СОКРАЩЕНИЯ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА УАЛ ОАО «ОКБМ АФРИКАНТОВ» ВЫПОЛНИЛО РАЗРАБОТКУ РКД НА ОБОРУДОВАНИЕ С ДЛИТЕЛЬНЫМ ЦИКЛОМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, СТОЯЩИМ НА КРИТИЧЕСКОМ ПУТИ: КОРПУС ИНТЕГРИРОВАННЫЙ И КАССЕТУ ПГ.
- ★ В 2011 г. ОАО «ОКБМ АФРИКАНТОВ» НАЧАТА РАЗРАБОТКА РКД ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ: ЦНПК, ПРИВОДОВ СУЗ, ФИЛЬТРА 1 КОНТУРА, СЕКЦИИ ТЕПЛООБМЕННИКА СОТ, ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И АРМАТУРЫ.



Энергоблок с РУ ТИПА ВБЭР – решение для региональной энергетики

Направления использования:

- ◆ ЗАМЕЩЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (ТЭС) БЛОКАМИ БЛИЗКОГО УРОВНЯ МОЩНОСТИ ПРИ СОХРАНЕНИИ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
- ◆ АТЭЦ ДЛЯ ТЕПЛОФИКАЦИИ, ОПРЕСНЕНИЯ И ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ
- ◆ РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
 - ✓ БОЛЕЕ ПОЛОВИНЫ МОЩНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РФ ВЫРАБАТЫВАЕТСЯ НА ТЭС
 - ✓ ОСНОВНОЕ ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ТОПЛИВО – ПРИРОДНЫЙ ГАЗ
 - ✓ ЕДИНИЧНАЯ МОЩНОСТЬ БЛОКОВ ТЭС ~300 МВт (э)
 - ✓ КОЛИЧЕСТВО БЛОКОВ – БОЛЕЕ 450
 - ✓ ДОЛЯ ТЭС, ВЫРАБОТАВШИХ РЕСУРС – БОЛЕЕ 50 %
 - ✓ ОГРАНИЧЕННЫЕ ПРОПУСКНЫЕ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ – БОЛЬШАЯ ДОЛЯ 110...220 кВ



РУ ВБЭР

основные особенности проекта

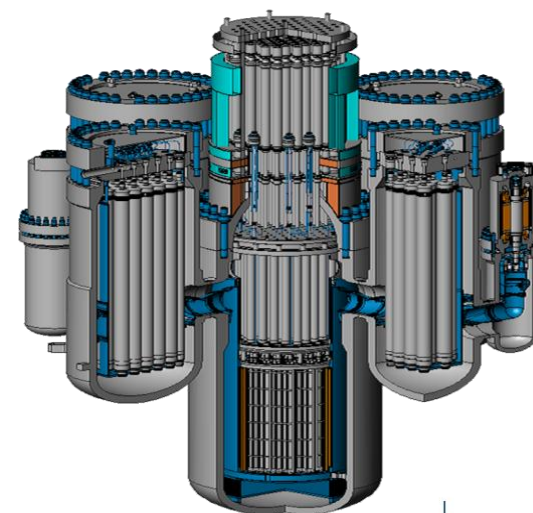
МАКСИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОВЕРЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОПЫТА СУДОВОГО РЕАКТОРОСТРОЕНИЯ И ВВЭР:

- ♦ **ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ АТОМНОГО СУДОСТРОЕНИЯ**

- ✓ **БЛОЧНАЯ КОМПОНОВКА**
- ✓ **ТЕРМЕТИЧНЫЙ ПЕРВЫЙ КОНТУР**
- ✓ **ТЕРМЕТИЧНОЕ ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, НЕ ТРЕБУЮЩЕЕ РАБОТЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ И ОБСЛУЖИВАЮЩИХ СИСТЕМ (ГЦН, ПГ)**
- ✓ **ВОЗМОЖНОСТЬ В МАКСИМАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ**
- ✓ **ВЫСОКИЕ МАНЕВРЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

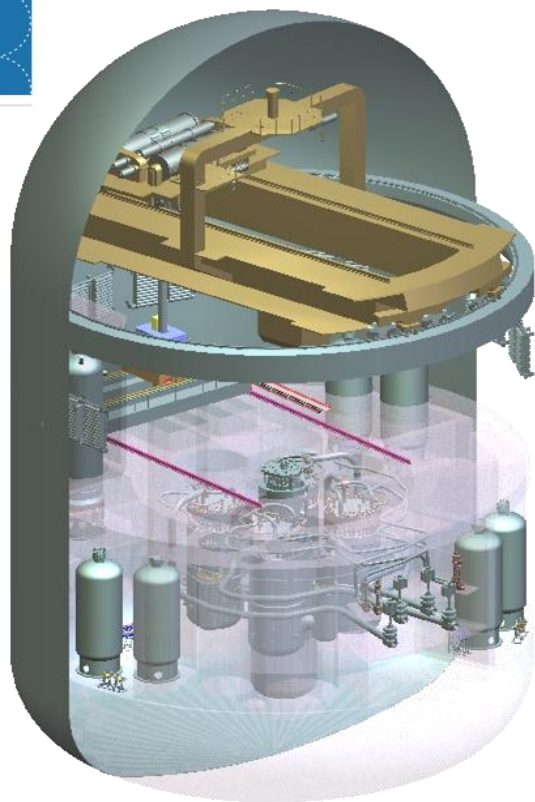
- ♦ **ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ РЕАКТОРОВ ВВЭР:**

- ✓ **АКТИВНАЯ ЗОНА НА ОСНОВЕ ТВСА**
- ✓ **БОРНАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ**
- ✓ **ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ**



РУ ВБЭР

основные особенности проекта



- ♦ Минимальное количество ЖРО за счет сухого способа перегрузки, отсутствия протечек, минимального водообмена в процессе кампании, ремонтпригодности без вскрытия полостей 1 контура
- ♦ Исключены классы наиболее опасных аварий больших и средних течей 1 контура, упрощаются системы безопасности
- ♦ Для тяжелых запроектных аварий с плавлением активной зоны обеспечено удержание расплава активной зоны в пределах корпуса реактора
- ♦ Технология монтажа оборудования «ядерного острова» с применением укрупненной сборки и модулей заводского изготовления, продолжительность строительства головного блока (от первого бетона) ≤ 48 мес.
- ♦ Оборудование РУ может изготавливаться на ОАО «Ижорские заводы» параллельно с оборудованием реакторов АЭС-2006, а также на предприятиях, входящих в кооперацию по судовым РУ, с минимальным количеством технологических пересечений

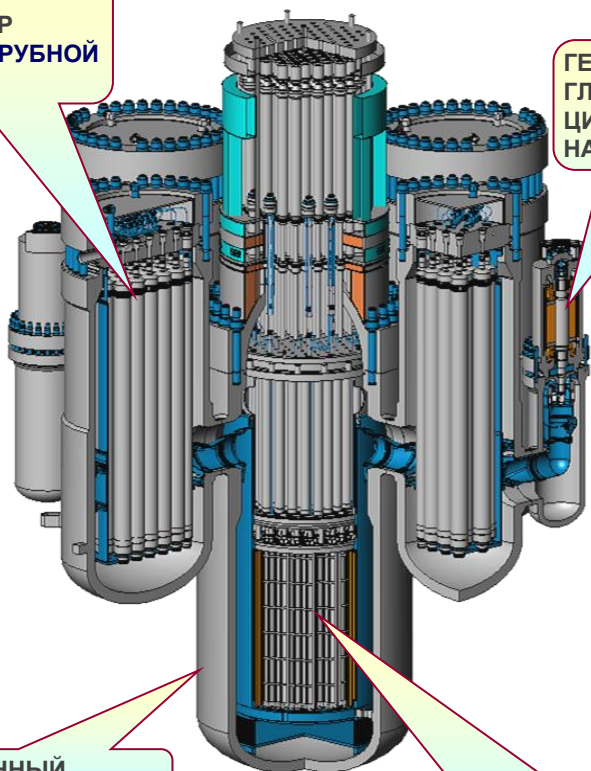
Конструкция реакторного блока и основные технические характеристики РУ ВБЭР-300

ПРЯМОТОЧНЫЙ
ПАРОГЕНЕРАТОР
С ТИТАНОВОЙ ТРУБНОЙ
СИСТЕМОЙ

ГЕРМЕТИЧНЫЕ
ГЛАВНЫЕ
ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ
НАСОСЫ

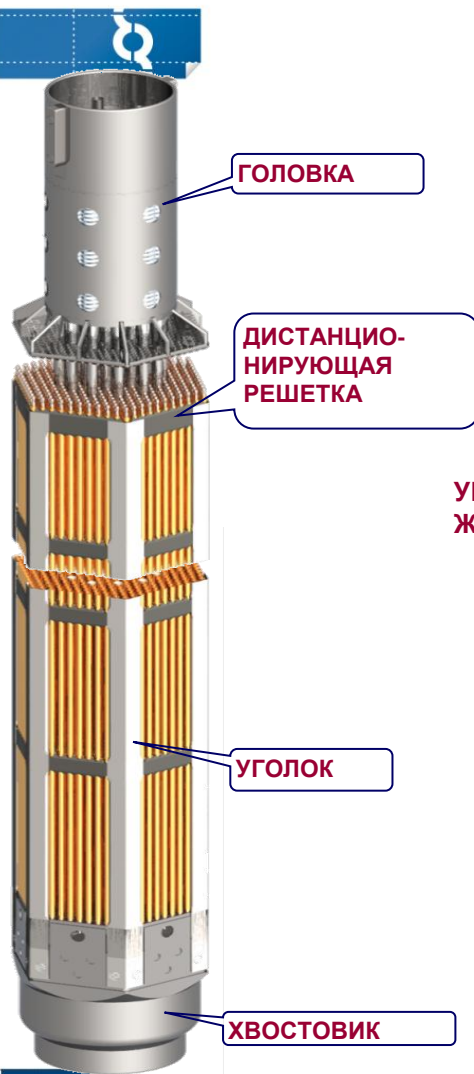
ИНТЕГРИРОВАННЫЙ
КОРПУС

АКТИВНАЯ ЗОНА
ПОНИЖЕННОЙ
ЭНЕРГОНАПРЯЖЕННОСТИ

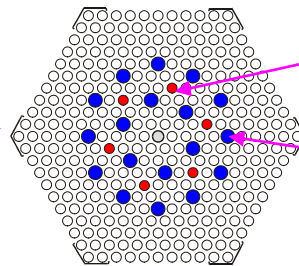


МОЩНОСТЬ ТЕПЛОВАЯ, МВт	917
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, МВт	325
ДАВЛЕНИЕ РАБОЧЕЕ, МПа	16,3
ТЕМПЕРАТУРА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ I КОНТУРА	
НА ВЫХОДЕ ИЗ АКТИВНОЙ ЗОНЫ, °С	328,5
НА ВХОДЕ В АКТИВНУЮ ЗОНУ, °С	287,6
РАСХОД ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ I КОНТУРА, м³/ч	34800
ПАРОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, т/ч	3166
ДАВЛЕНИЕ ПАРА, МПа	6,37
ТЕМПЕРАТУРА ПАРА, °С	300
ТЕМПЕРАТУРА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ, °С	220
ДИАМЕТР РБ, ОПИСАННЫЙ, М	13,3
ВЫСОТА РБ, М	17,06
МАССА РЕАКТОРНОГО БЛОКА, Т	2180

- ✱ В АКТИВНЫХ ЗОНАХ РУ ВБЭР ИСПОЛЬЗУЕТСЯ БЕСЧЕХЛОВАЯ ТВС КАРКАСНОЙ КОНСТРУКЦИИ ТИПА ТВС-А РЕАКТОРА ВВЭР-1000, ПОДТВЕРДИВШАЯ ВЫСОКИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА
- ✱ МАКСИМАЛЬНАЯ ГЛУБИНА ВЫГОРАНИЯ В ТВЭЛАХ ОПЫТНЫХ ТВСА В ТЕЧЕНИЕ 6-ТИ ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА 1 БЛОКЕ КАЛИНИНСКОЙ АЭС СОСТАВИЛА 66 МВТ·СУТ/КГУ. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ
- ✱ ПО СВОИМ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМ КАЧЕСТВАМ ТВС НЕ УСТУПАЕТ ЛУЧШИМ РАЗРАБОТКАМ ТОПЛИВА ДЛЯ РЕАКТОРОВ PWR



УГОЛОК
ЖЕСТКОСТИ

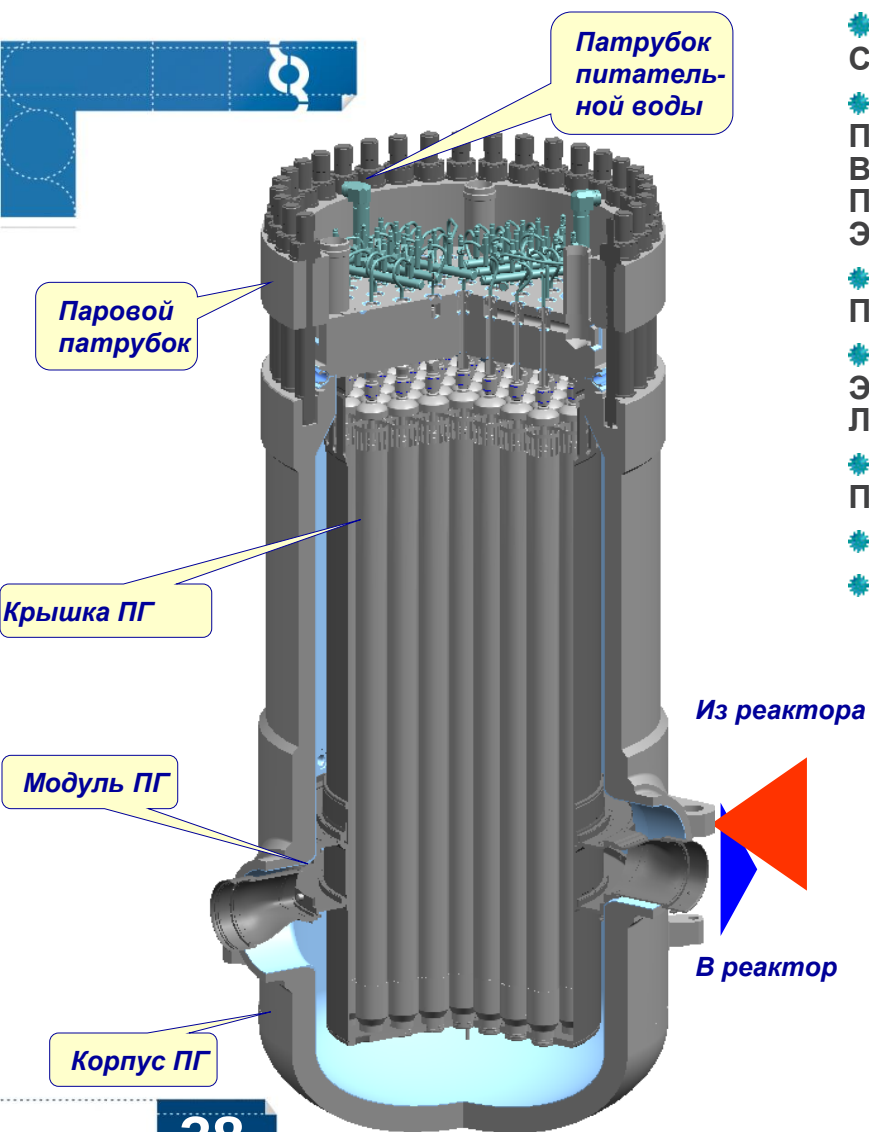


ТВЭГИ

НАПРАВЛЯЮЩИЕ КАНАЛЫ
ДЛЯ ПЭЛОВ

Число ТВС, шт.	85
Средняя линейная нагрузка твэл, Вт/см	98,0
Максимальная линейная нагрузка, Вт/см	254
Топливные циклы	3x2 года, 6x1 год

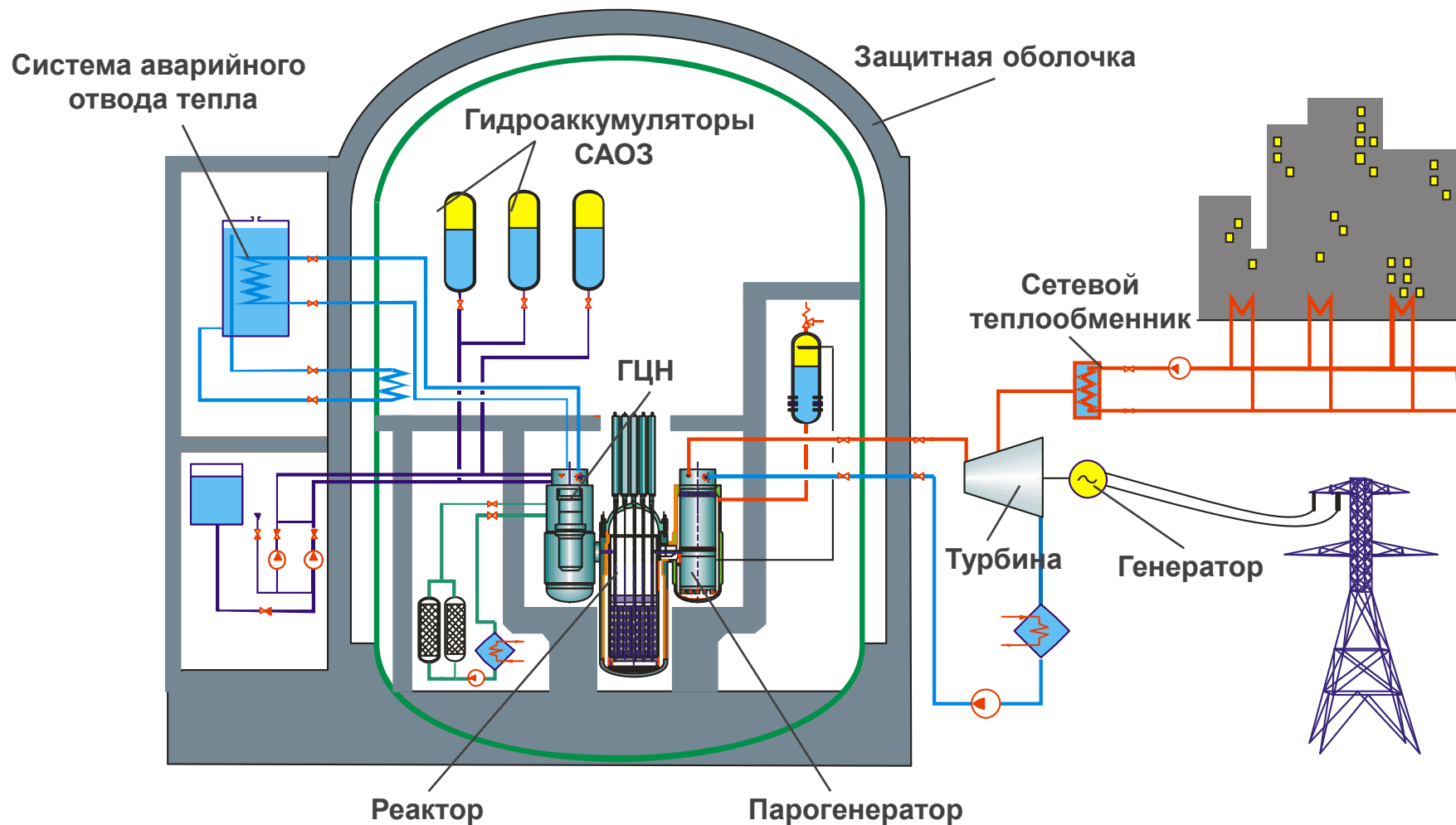
Парогенератор



- ❖ ТИП ПАРОГЕНЕРАТОРА - ПРЯМОТОЧНЫЙ, МОДУЛЬНЫЙ, ЗМЕЕВИКОВЫЙ, СРЕДА ВТОРОГО КОНТУРА ВНУТРИ ТРУБ
- ❖ КОНСТРУКЦИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНА ПО СРАВНЕНИЮ С ЛЕДОКОЛЬНЫМИ ПАРОГЕНЕРАТОРАМИ (ОПТИМИЗИРОВАНЫ УЗЛЫ ПОДВОДА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ И СОЕДИНЕНИЯ КРЫШКИ ПГ С КОРПУСОМ, УМЕНЬШЕНО КОЛИЧЕСТВО ПЕРЕХОДНИКОВ СТАЛЬ-ТИТАН И СВАРНЫХ ШВОВ, ПРИМЕНЕНА ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ СВАРКА)
- ❖ МОДУЛЬНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА
- ❖ КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ МЕТАЛЛА ТРУБНОЙ СИСТЕМЫ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ МЕТОДОМ МОДУЛЕЙ-СВИДЕТЕЛЕЙ В ВИДЕ ЛЕГКОСЪЕМНЫХ ПАРОГЕНЕРИРУЮЩИХ МОДУЛЕЙ
- ❖ АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПЕРАТИВНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ МЕЖКОНТУРНЫХ ТЕЧЕЙ ПО АКТИВНОСТИ ПАРА ВТОРОГО КОНТУРА
- ❖ **РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ БЕЗ ВСКРЫТИЯ ПОЛОСТЕЙ I КОНТУРА**
- ❖ **ВОЗМОЖНОСТЬ ВЫСОКОМАНЕВРЕННЫХ РЕЖИМОВ**

Характеристика	Значение
Количество парогенерирующих модулей	55
Количество теплообменных труб в модуле	90
Количество теплообменных труб в ПГ	4950
Размер теплообменных труб, мм	10×1.4
Материал трубной системы	Титановый сплав
Масса трубной системы, т	58,5
Срок службы, лет	30

Принципиальная схема ВБЭР



Защитная оболочка РУ ВБЭР-300

**Внешняя бетонная
защитная оболочка**

- падение самолета массой 20 т;
- воздушная ударная волна 30 кПа;
- герметичность 10% объема/сут.

**Внутренняя
металлическая защитная
оболочка**

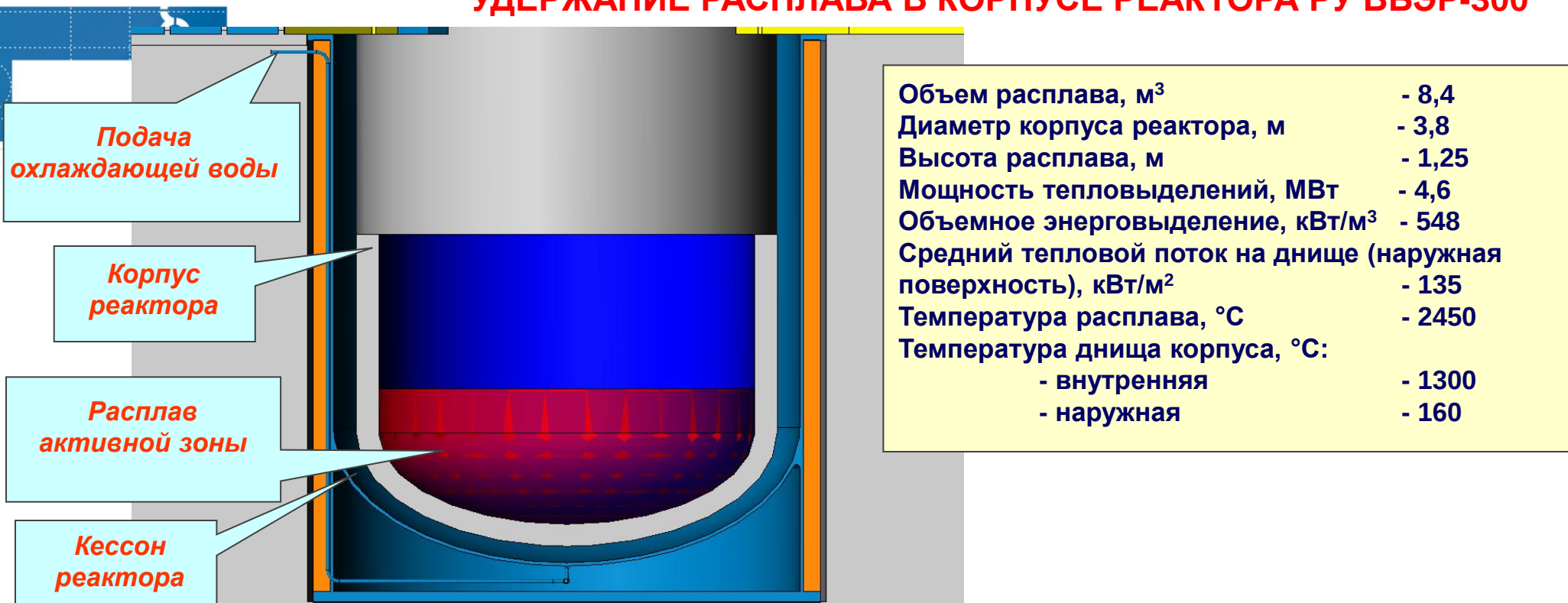
- внутреннее давление 0,4 МПа;
- герметичность 0,2% объема/сут.

Транспортный шлюз

Компоновка основного оборудования и систем реакторной установки выполнена в защитной оболочке диаметром 30 м.

Анализ постулированной тяжелой аварии

УДЕРЖАНИЕ РАСПЛАВА В КОРПУСЕ РЕАКТОРА РУ ВБЭР-300



Результаты предварительного анализа тяжелой аварии

- ☐ Подплавление корпуса реактора отсутствует
- ☐ Обеспечивается надежный теплоотвод от наружной поверхности днища корпуса
- ☐ Механические свойства корпуса при возникающем перепаде температур сохраняются на достаточном уровне для обеспечения несущей способности

Радиационная безопасность ВБЭР-300

Санитарно-защитная зона

Промплощадка АТЭЦ

Зона планирования защитных мероприятий

1 км

Дозовая нагрузка для населения:

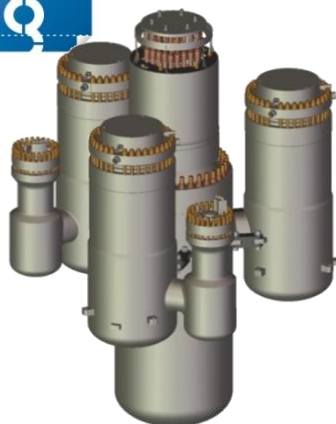
- при нормальной эксплуатации - 0,01%
- при максимальной проектной аварии - 5% от естественного радиационного фона

Доза облучения населения в запроектной аварии с тяжелым повреждением активной зоны не превышает 5 мЗв

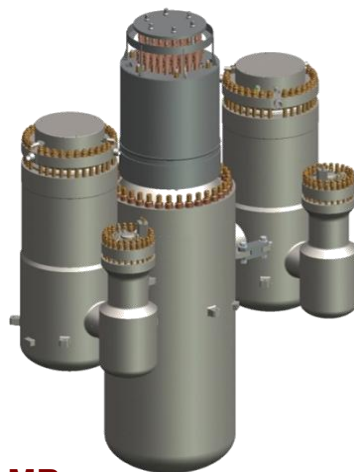
**Высокий уровень радиационной безопасности РУ ВБЭР-300
соответствует современным требованиям к реакторам нового поколения**

Мощностной ряд РУ типа ВБЭР

**МОЩНОСТНОЙ РЯД РУ ТИПА ВБЭР
РАЗРАБОТАН НА БАЗЕ
УНИФИЦИРОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ**

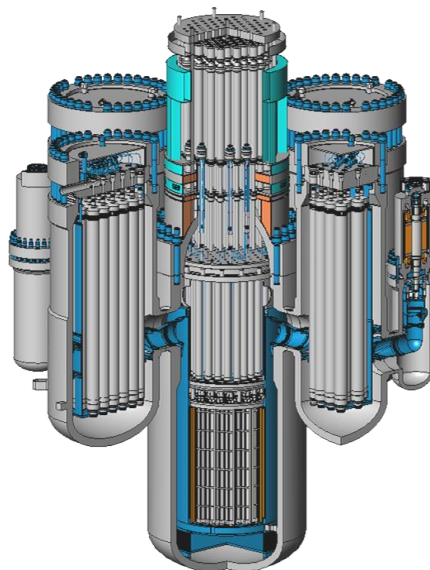


ТРЕХПЕТЛЕВАЯ РУ
N ≈ 250 МВт эл.



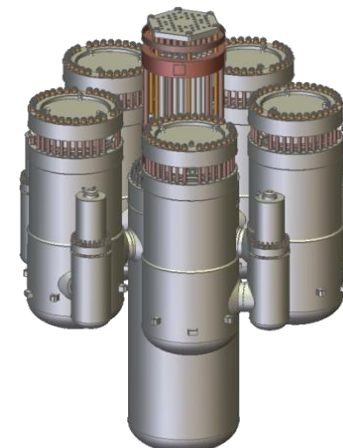
N=150 МВт эл.

ДВУХПЕТЛЕВАЯ РУ



ЧЕТЫРЕХПЕТЛЕВАЯ РУ

N = 325 МВт эл.



ПЯТИПЕТЛЕВАЯ РУ
N=460 МВт эл.



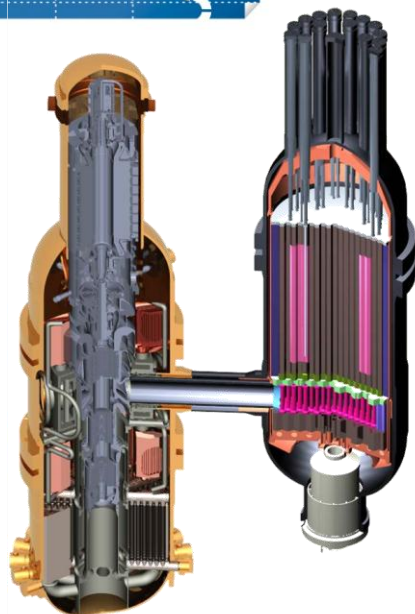
ШЕСТИПЕТЛЕВАЯ РУ **N=600 МВт эл.**



Инновационные технологии на основе высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов для энерготехнологического применения



Основные особенности установок ГТ-МГР



- ◆ **ЭНЕРГОМОДУЛЬ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ:**

- ✓ УПРОЩЕНИЯ И МИНИМИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА ОБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМ, А СЛЕДОВАТЕЛЬНО – КАПИТАЛЬНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ;
- ✓ СОЗДАНИЯ МОЩНОСТНОГО РЯДА УСТАНОВОК МОЩНОСТЬЮ ОТ 0,5 ДО 300 МВт (Эл.) И ПРИМЕНЕНИЯ КАК В КРУПНОМАСШТАБНОЙ, ТАК И В РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

- ◆ **ПРОИЗВОДСТВО ВЫСОКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА (ДО 950°C) ДЛЯ:**

- ✓ ЗАМЕЩЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА В ЭНЕРГОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ: ВОДОРОД, НЕФТЕХИМИЯ И НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО УДОБРЕНИЙ И СИНТЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА ИЗ УГЛЯ;
- ✓ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ВЫСОКИМ К.П.Д. (ДО 50%) И НИЗКИМИ ТЕПЛОВЫМИ СБРОСАМИ В ОКУРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
- ✓ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И КОМУНАЛЬНОГО ТЕПЛА

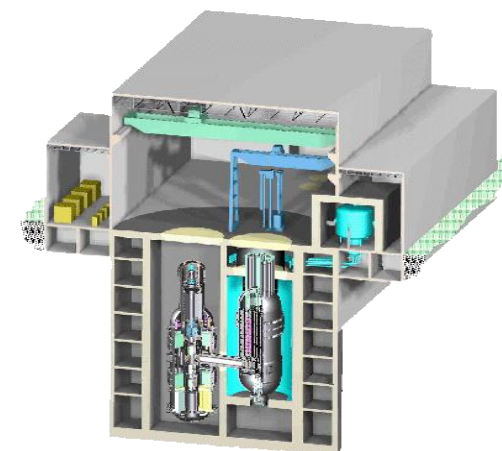
- ◆ **КЕРАМИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ:**

- ✓ ИСКЛЮЧЕНИЕ АВАРИЙ С РАСПЛАВЛЕНИЕМ А.З., СВЕРХГЛУБОКОЕ ВЫГОРАНИЕ, ГИБКИЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ (УРАН, УРАН-ТОРИЙ, ПЛУТОНИЙ, МОХ-топливо)

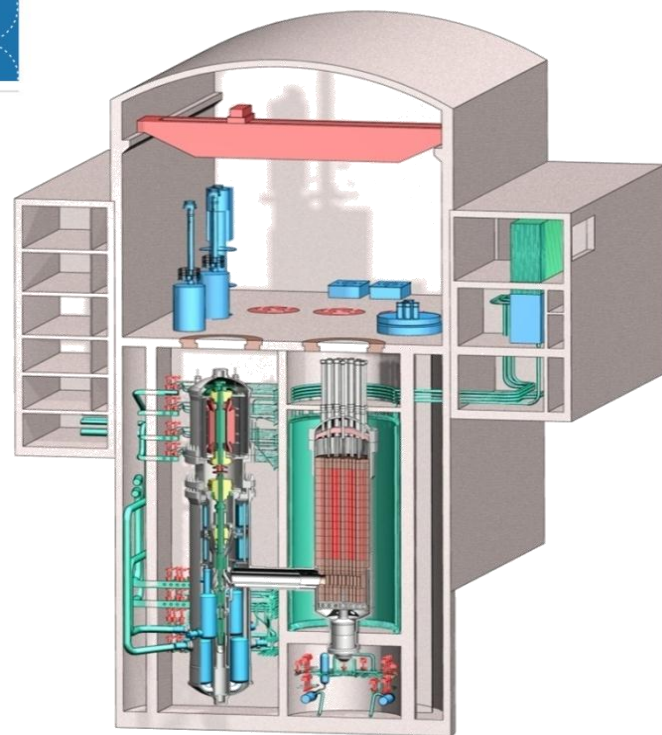
- ◆ **НОВЫЕ ТИПЫ МАТЕРИАЛОВ И ОБОРУДОВАНИЯ С ВОСТРЕБОВАННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

- ◆ **КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПО СРАВНЕНИЮ С ПГУ**

- ◆ **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ БАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕЖДУНАРОДНАЯ КООПЕРАЦИЯ**



Возможные варианты исполнения РУ МГР-100



МГР-100

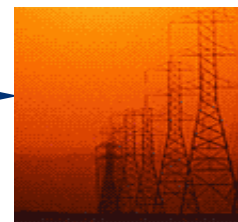
Мощность реактора
Температура теплоносителя
на выходе из реактора

215 МВт

до 950°C

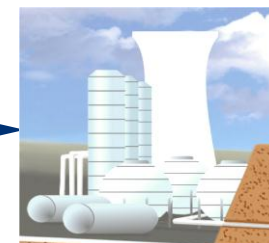
**Электричество и коммунальное
тепло**

**Энергоисточник для региональной
энергетики**



**Энергоисточник для производства
водорода**

Водород



**Энергоисточник для производства
перегретого пара для добычи нефти из
битумных песков**

Добыча нефти



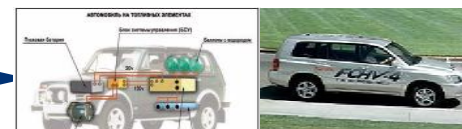
**Энергоисточник для снабжения
высоко/среднепотенциальным теплом
технологического производства**

Нефтеперерабатывающий завод



**Энергоисточник для
производства синтез-газа**

Метано-водородная смесь



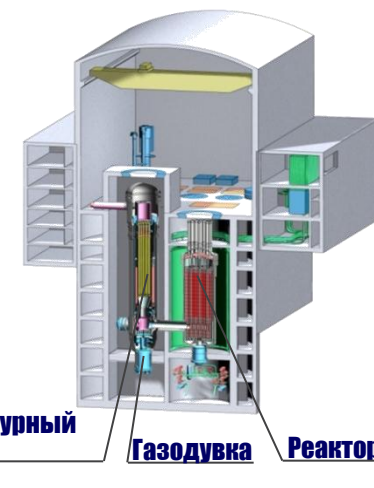
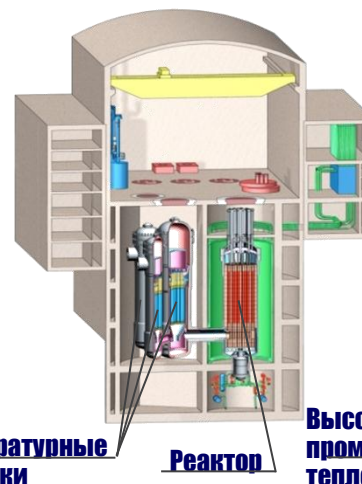
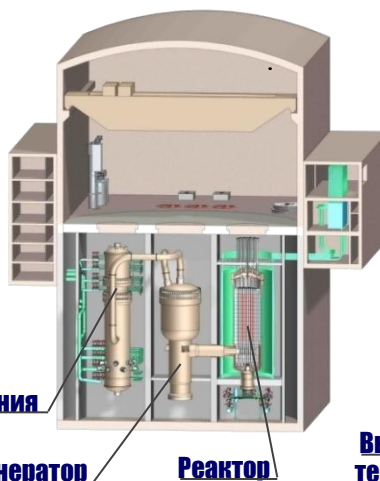
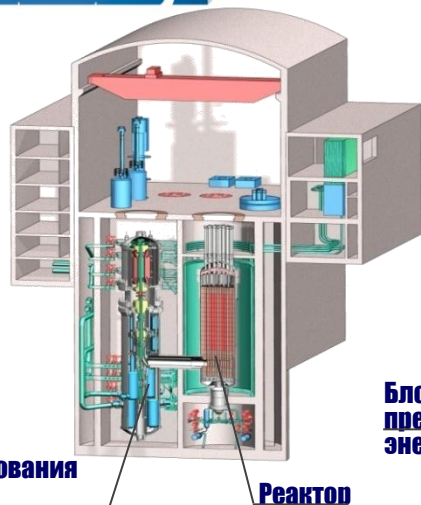
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МГР-100

МГР-100 ГТ

МГР-100 ВТЭ

МГР-100 ПКМ

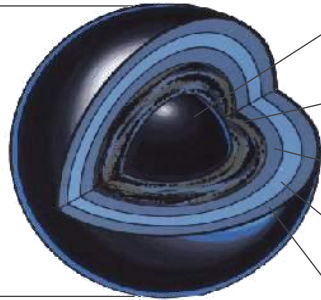
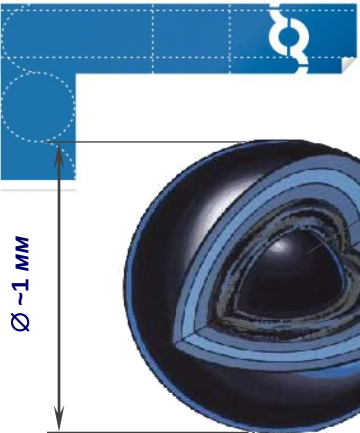
МГР-100 НПЗ



Характеристики

	МГР-100 ГТ	МГР-100 ВТЭ	МГР-100 ПКМ	МГР-100 НПЗ
	Назначение			
	Выработка электроэнергии и бытовое теплоснабжение	Производство водорода методом высокотемпературного электролиза пара	Производство водорода методом паровой конверсии метана	Высокотемпературное теплоснабжение нефтехимического производства
Тепловая мощность, МВт	215			
Температура гелия, °C:				
- на входе в а.з.	490	553	450	300
- на выходе из а.з.	795	850	950	750
Давление, МПа	5			
Производительность по водороду, т/ч	-	2,7	16,9	-

Керамическое топливо

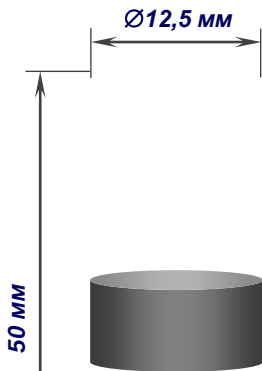


Микровэл

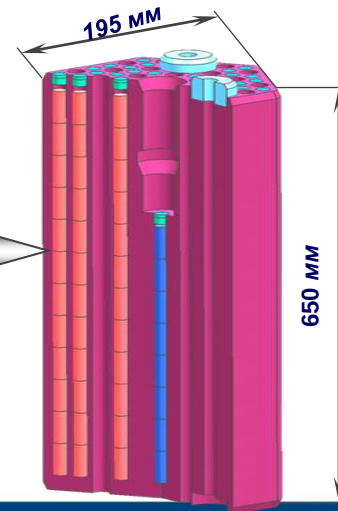
- Топливный керн (UO_2) ($\varnothing \sim 0.5$ мм)
- Пористый пироуглерод ($\gamma=1.0$ г/см³; $t=0.09$ мм)
- Плотный пироуглерод ($\gamma=1.8$ г/см³; $t=0.04$ мм)
- Карбид кремния ($\gamma=3.2$ г/см³; $t=0.04$ мм)
- Плотный пироуглерод ($\gamma=1.8$ г/см³ $t=0.04$ мм)

- Обогащение, % по U^{235}
- Кампания топлива, эфф. сут.
- Микрокампания, эфф. сут.
- Среднее выгорание, МВт.сут/кг т.а.
- Максимальная температура топлива на номинальном уровне мощности, °C
- Максимальная температура топлива при аварии, °C

МГР-Т	МГР-100
14.7	14
900	800
300	400
125	120
1323	1124
1654	1592



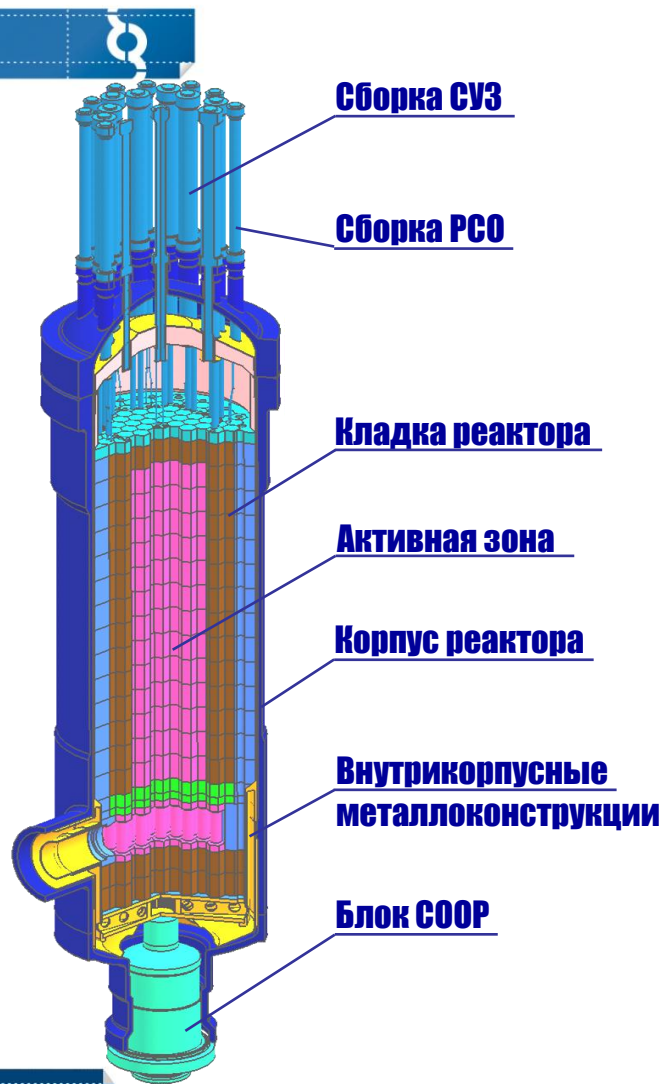
Топливный компакт
~ 2780 микровэл



Тепловыделяющая сборка

- Конструкционный материал – реакторный графит
- 636 топливных компактов

Реактор

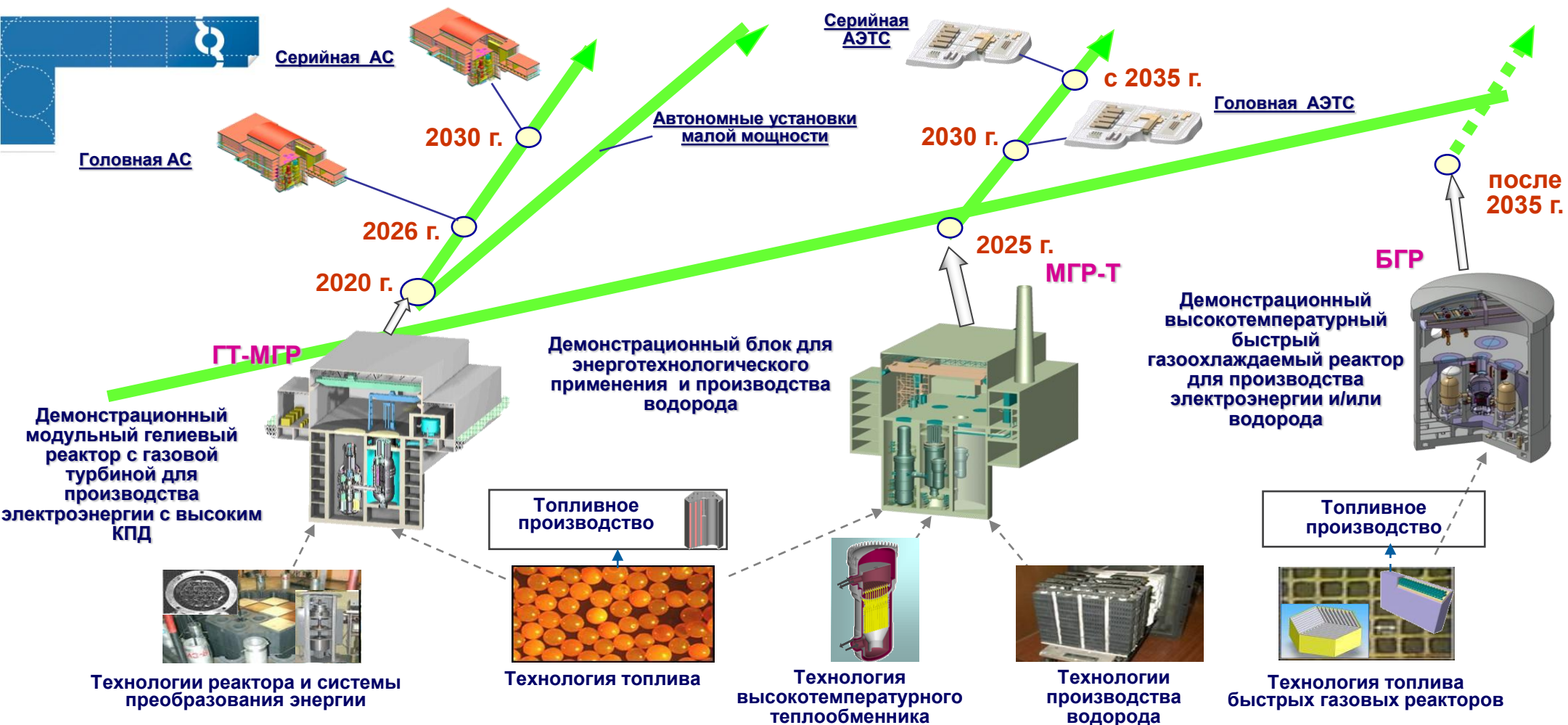


Основные технические характеристики

- ◆ Тепловая мощность, МВт 215
- ◆ Тип активной зоны цилиндрическая
- ◆ Материалы топливных блоков и отражателей графит
- ◆ Тип ТВС призматич.
- ◆ Количество ТВС, шт. 1356
- ◆ Энергонапряженность, МВт/м³ 5.5
- ◆ Количество сборок СУЗ, шт. 31
- ◆ Количество приводов СУЗ, шт. 31
- ◆ Количество РС, шт. 31
- ◆ Геометрические размеры кладки ТВС, мм:
 - эквивалентный диаметр 2516
 - высота 7800
- ◆ Время перегрузки, сут 25

- ♦ ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОТОПЛИВА
- ♦ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГЕЛИЕВЫХ ТУРБИН И КОМПРЕССОРОВ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УМЕНЬШЕНИЯ МАССОГАБАРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ;
- ♦ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ;
- ♦ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОТУРБИННОГО ЦИКЛА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КПД УСТАНОВКИ;
- ♦ РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТЕПЛОУСТОЙЧИВЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, В ТОМ ЧИСЛЕ НА ОСНОВЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ;
- ♦ РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ НОВОЙ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МГР КАК В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ, ТАК И В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Развитие технологии ВТГР



МОДУЛЬНЫЙ ГЕЛИЕВЫЙ РЕАКТОР СОСТАВЛЯЕТ ОСНОВУ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВТГР

- ♦ В ОАО «ОКБМ Африкантов» на базе судовых технологий, разработаны проекты РУ для АС, обеспечивающих создание АС мощностного диапазона от 3,5 до 600 МВт (эл.) наземного и плавучего исполнений, которые могут быть использованы как для нового энергетического строительства, так и для замещения устаревших блоков региональной теплоэнергетики, работающих на газе, мазуте и угле.
- ♦ Проекты РУ имеют высокую степень обоснованности и отвечают современным требованиям по безопасности, обеспечивают привлекательные технико-экономические показатели
- ♦ Развивается направление инновационных высокотемпературных газовых реакторов, способных в будущем стать основными энергоисточниками в различных областях промышленности (выработка электроэнергии и коммунального тепла; получение высокопотенциального тепла и пара для технологических целей химической промышленности, нефтепереработки и нефтехимии, производства синтетического жидкого топлива из угля; использование в составе энерготехнологических комплексов для производства водорода

