

Основные технические решения энергодблока ВБЭР-500 для региональной энергетики

Арефьев А.Е., Петрунин В.В., Фадеев Ю.П. (ОАО «ОКБМ Африкантов»),
Иванов Ю.А., Еремин А.В. (ОАО «НИАЭП»),
Семченков Ю.М., Сидоренко В.А., Горбаев В.А. (НИЦ «Курчатовский институт»),
Егоров С.В. (ОАО «Концерн Росэнергоатом»)

Докладчик - Петрунин В.В.,
Первый заместитель директора ОАО «ОКБМ Африкантов»,
Главный конструктор, д.т.н.

Восьмая Международная научно-техническая конференция
«Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики» – МНТК-2012

Москва, 23–25 мая 2012 г.

Проектная концепция РУ ВБЭР



- 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 проектов атомных станций теплоснабжения крупных городов



Основы эффективности энергоблоков ВБЭР

Тип критерия	Характеристика
Безопасность	<ul style="list-style-type: none">■ Исключение наиболее опасных аварий больших и средних течей при разгерметизации первого контура■ Высокая безопасность в постулированной тяжелой аварии■ Эффективная локализация течей ПГ■ Снижение годовой коллективной дозы при ремонте и обслуживании оборудования
Экономика	<ul style="list-style-type: none">■ Упрощение систем РУ за счет применения прямоточного ПГ■ Использование герметичных ГЦН, не требующих обеспечивающих систем■ Повышение кпд термодинамического цикла за счет использования слабopегрeтoгo пaрa■ Сокращение срока сооружения за счет применения модульной технологии строительно-монтажных работ в сочетании с открытым монтажом■ Относительно низкие разовые инвестиции■ Высокая референтность и исключение необходимости дорогостоящих НИОКР
Удобство эксплуатации	<ul style="list-style-type: none">■ Высокие маневренные характеристики за счет использования прямоточных ПГ■ Стабильный водно-химический и газовый режим за счет герметичного первого контура (отсутствие газовых сдувок, подпиток, сокращение пробоотбора)■ Высокая автоматизация процесса управления (использование возможностей «саморегулирования», прямоточного парогенератора, минимизация числа систем работающих при нормальной эксплуатации - СОИР и КД)■ Минимальное количество ЖРО за счет отсутствия протечек и минимального водообмена в процессе кампании

Технические решения атомных судовых технологий, применяемые в РУ ВБЭР-500

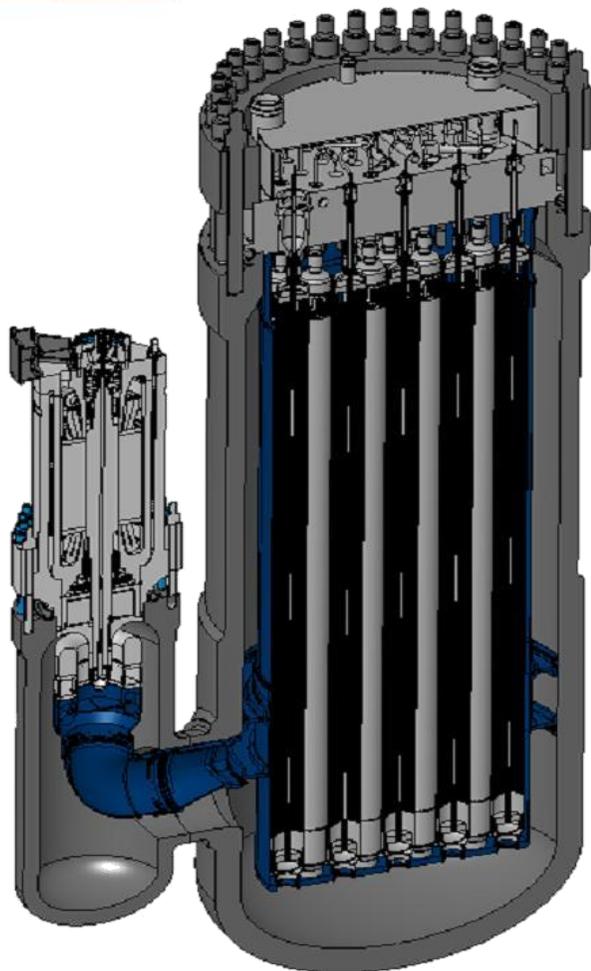
- Блочная компоновка реакторного блока, организация циркуляции 1 контура в ГЦТ, конструкция внутреннего патрубка «труба в трубе», схема крепления реакторного блока, технология сборки и монтажа, эксплуатационный контроль и диагностика
- Прямоточный, модульный ПГ, технология изготовления, эксплуатационный контроль и диагностика
- Моноблочный ГЦН с сухой обмоткой, отделенной от водяной полости тонкостенной перегородкой, встроенные системы охлаждения и газоудаления, конструкция обратного клапана ГЦН, применяемые материалы (корпусные, подшипниковые, изоляционные), технология изготовления, эксплуатационный контроль и диагностика
- Привод СУЗ с герметичным шаговым электродвигателем и обгонной муфтой
- Герметичная быстродействующая арматура, устройство защиты парогенераторов от переопрессовки (ПАУ), питательный клапан 2 контура
- Система пассивного отвода тепла через парогенераторы
- Схемно-конструктивное решение системы очистки и расхолаживания 1 контура
- Размыкатель электропитания по давлению (РЭД)
- «Сухой» способ перегрузки топлива

Результаты НИОКР по АЭС с РУ ВБЭР-600

Характеристика	Значение
Мощность тепловая, МВт	1692
Электрическая мощность, МВт	600 (612)
Срок службы	60 лет
Срок строительства серийного блока	42 мес.
Коэффициент технического использования	0,9
Коэффициент полезного действия	36,3 %
Стоимость сооружения, млрд.руб	157,82 (по данным ССР СПБАЭП в ценах II квартала 2010 г., для мощности 612 МВт эл.)
Удельные капиталовложения в строительство двухблочной АЭС ВБЭР-600	с 3642,5 \$/кВт (в ценах II квартала 2010 г., для мощности 612 МВт эл.)

- Проведенные НИОКР по АЭС с РУ ВБЭР-600 подтвердили техническую возможность создания энергоблока средней мощности, обеспечивающего экономические характеристики по стоимости сооружения на уровне рекомендаций НТС Росатома от 22.10.2009. Достигнут целевой ориентир – непревышение величины удельных капиталовложений в сооружение энергоблоков мощностью 600 МВт не более чем на 20% от аналогичного показателя блоков большой мощности
- Анализ технико-экономических характеристик установок ВБЭР-300 и ВБЭР-600 показывает, что эффективным направлением повышения экономических показателей ВБЭР является увеличение мощности петли теплообмена (~120 МВт) с последующим построением мощного ряда на основе унифицированной петли теплообмена базовой четырех-петлевой установки ВБЭР-500

Унифицированная петля теплообмена ВБЭР-500

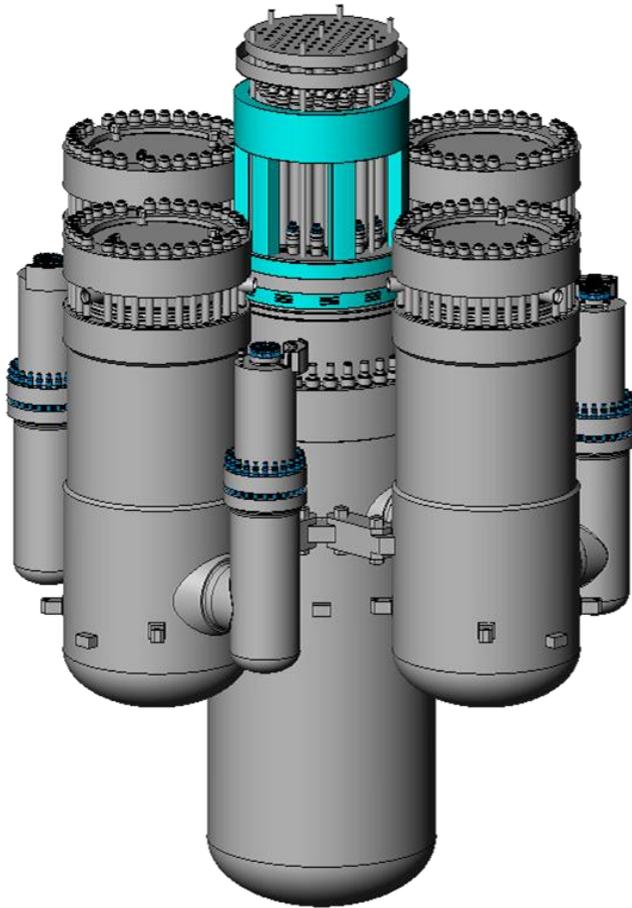


Мощность тепловая, МВт	355*
Параметры первого контура:	
Давление рабочее, МПа	16,3
Температура теплоносителя I контура	
- на выходе из активной зоны, °С	330
- на входе в активную зону, °С	284
Расход теплоносителя первого контура, т/ч	4970
Паропроизводительность, т/ч	642,5
Давление пара, МПа	6,18
Температура пара, °С	310,4
Температура питательной воды, °С	216
Мощность насоса, кВт	1400
Материал трубной системы	42ХНМ
Теплообменная трубка, мм	10x1,1
Теплообменная поверхность, м ²	3775

* Мощность петли ВБЭР-300 – 229,2 МВт (78,7 МВтэ)

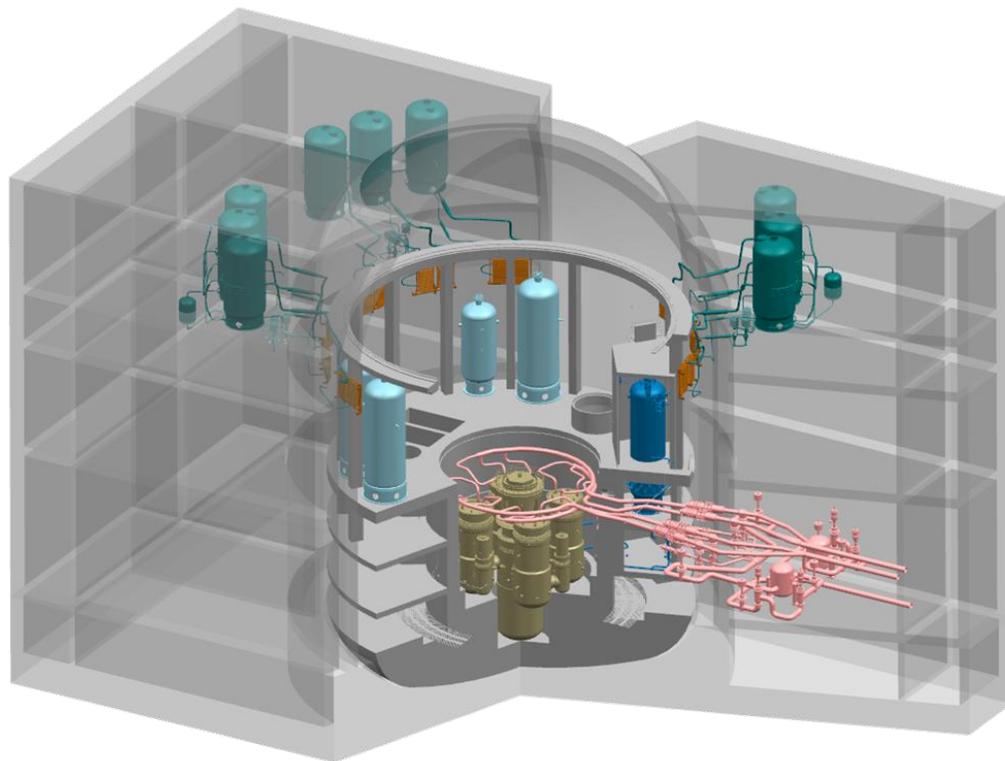
Мощность петли ВБЭР-600 – 282 МВт (100 МВтэ)

Реакторный блок ВБЭР-500



Количество петель, шт	4
Мощность тепловая, МВт	1420
Электрическая мощность, МВт	500
Температура теплоносителя I контура	
- на выходе из активной зоны, °С	330
- на входе в активную зону, °С	284,1
Расход теплоносителя первого контура, т/ч	19560
Паропроизводительность, т/ч	2570
Давление пара, МПа	6,18
Температура пара, °С	310,4
Температура питательной воды, °С	216
Мощность насоса, кВт	1400
Диаметр описанный, м	12,3
Высота, м	17,16
Диаметр патрубков внутренний, мм	1000
Масса реакторного блока, т	1690
Масса реакторного блока в рабочем состоянии, т	1960

Компоновка РУ ВБЭР-500 в 3О



Двойная защитная оболочка:

- внутренняя	металлическая
- наружная	бетонная

Внутренняя защитная оболочка:

- диаметр, м	35
- высота, м	45,9

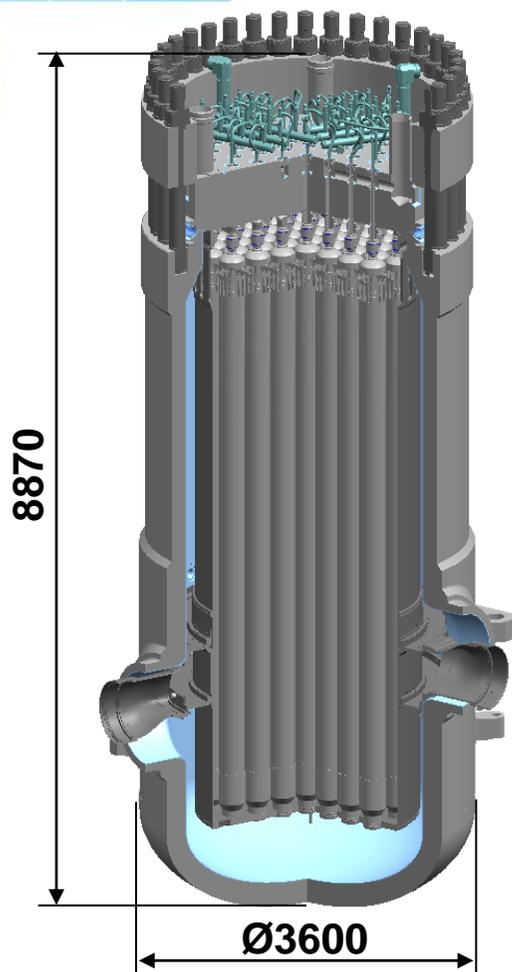
Наружная защитная оболочка:

- диаметр наружный, м	41
- высота, м	48,9

Особенности протекания аварий с потерей теплоносителя (на примере РУ ВБЭР-600)

- Ограничение максимальной величины возможной разгерметизации 1 контура величиной DN 130 мм (реализуется в постулируемой аварии разрыва главного патрубка реакторного блока с учетом работы страховочных ограничительных устройств)
- Наличие страховочных ограничительных устройств (стяжек) приводит при снижении давления 1 контура к уменьшению размера течи – сечение разрыва уменьшается до 7 % от максимального значения
- Отсутствует осушение активной зоны и перегрев оболочек твэлов
- Отсутствует разгерметизация оболочек твэлов
- Радиационные последствия аварии обусловлены выходом активности, содержащейся в теплоносителе 1 контура
- Максимальное значение давления в ЗО в процессе аварии не превышает 0,3 МПа, и достигается за 3-5 мин от начала аварии
- Нет проблем с разбираемостью активной зоны после аварии с разгерметизацией 1 контура
- Малый масштаб разгерметизации при течи парогенератора (не более $D_{экв.} = 60$ мм).
- Отсутствие срабатывания предохранительных устройств на 2 контуре в процессе аварий. Оперативная локализация течи за счет закрытия локализирующей арматуры (отсекаемые участки 2 контура рассчитаны на давление 1 контура).

Результаты применения прямоточных ПГ



- Отсутствие системы продувки парогенератора:
 - снижение жидких радиоактивных отходов;
 - снижение мощности систем очистки и обращения с жидкими радиоактивными отходами.

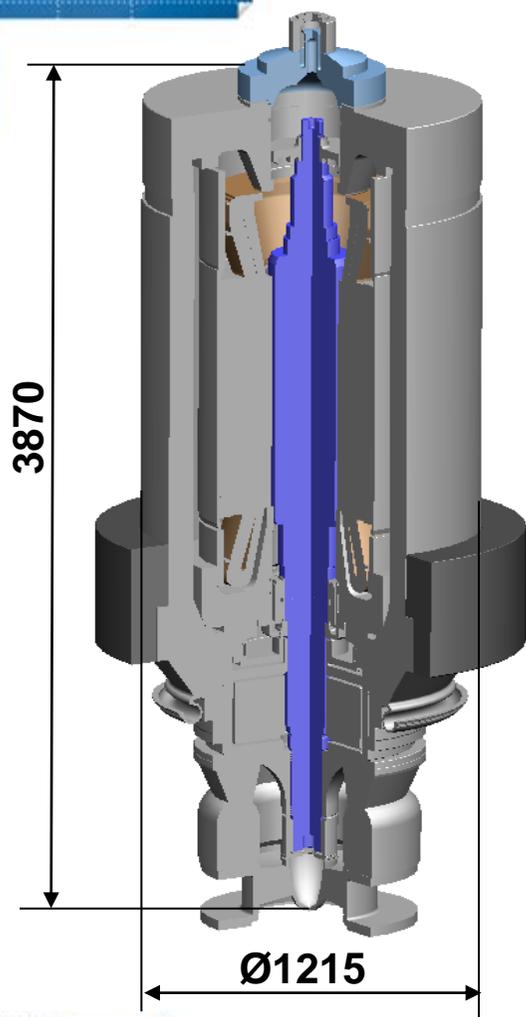
- Отсутствие системы очистки продувочной воды:
 - отсутствуют баки, холодильники, фильтры и насосы.

- Корпус парогенератора работает при давлении первого контура:
 - исключение предохранительных клапанов для защиты корпуса парогенератора от превышения давления;
 - отсутствует выброс теплоносителя первого контура при локализации течи трубной системы.

- Ремонт парогенератора без вскрытия первого контура:
 - снижение дозовых нагрузок при ремонте и обслуживании парогенератора.

Паропроизводительность, т/ч	2570
Температура питательной воды, °С	216
Давление пара за ПГ, МПа	6,18
Температура пара за ПГ, °С	310,4
Материал теплообменной трубки	42ХНМ
Теплообменная трубка	10x1,1

Результаты применения герметичных ГЦН



- **Отсутствие протечек теплоносителя первого контура:**
 - снижение жидких радиоактивных отходов;
 - снижение мощности систем очистки и обращения с жидкими радиоактивными отходами.

- **Отсутствие системы уплотняющей воды:**
 - отсутствует вывод теплоносителя за границы защитной оболочки;
 - отсутствуют сброс давления, охлаждение, очистка и дегазация теплоносителя (отсутствует необходимость в работе систем газоудаления);
 - отсутствуют насосы высокого давления уплотняющей воды.

- **Отсутствие системы смазки:**
 - отсутствуют маслобаки, холодильники, фильтры и маслонасосы, при этом радикально решается проблема пожаробезопасности и упрощается система пожаротушения РО

Подача, м ³ /ч	6550
Напор, м	41,2
Потребляемая мощность, кВт	1400

Модульная технология сооружения

Модульная конструкция РУ приспособлена для сооружения главного корпуса методом «открытого верха» в сочетании с крупноблочным монтажом

Модульный ГЦТ:

корпус реактора + двухкорпусные блоки*,
отсутствие трубопроводов ГЦТ и систем в ПГ и ГЦН



Крупные заводские модули:

бассейн выдержки, конструкции шахт реактора, опорного пояса и блоки-элементы защитной оболочки

**Сокращение сроков
сооружения**

*возможен вариант монтажа интегрированного корпуса

Модульное исполнение систем СОИР, САОТ и ССДГО

Оптимизация параметров РУ и термодинамического цикла турбоустановки

- Реализация слабого перегрева свежего пара в РУ ВБЭР-600 (и соответственно в ВБЭР-500) позволяет перейти от термодинамического цикла ЧВД+С+ЧСД+СПП+ЦНД, принятого в турбоустановке К-600 – 6,9/50 (ВВЭР-600) к циклу ЦВСД+СПП+ЦНД
- Расчетно-конструкторские проработки по выбору конструкции турбины и тепловой схемы турбоустановки, выполненные ОАО «Силовые машины» (ЛМЗ) показали возможность обеспечения КПД турбоустановки не менее 36,3 %
- Разработчиком турбоустановки определены конкретные мероприятия по обеспечению повышения экономичности ТУ:
 - оптимизация газодинамических характеристик проточных частей ЧВД, ЧСД и ЦНД;
 - оптимизация конструкции паровпуска и паровыпуска ЦВСД;
 - оптимизации низкопотенциальной части (НПЧ) машзала;
 - оптимизация тепловой схемы и теплогидравлических характеристик теплообменного оборудования системы регенерации;
 - оптимизация теплогидравлических характеристик СПП и др.

Маневренные характеристики РУ в режимах регулирования мощности

- Конструктивные особенности РУ ВБЭР (наличие прямооточного ПГ с перегревом пара) обеспечивают требования энергосетей к режимам маневрирования.
- Суточное регулирование мощности в диапазоне 50-100% $N_{ном}$ обеспечивается без использования системы борного регулирования для всего топливного цикла (изменением температуры теплоносителя на входе активной зоны расходом питательной воды и перемещением РО СУЗ).
- Для конца топливной кампании диапазон суточного маневрирования может быть расширен до 30-100% $N_{ном}$.
- Диапазон автоматического первичного регулирования частоты (+2 -8)% $N_{ном}$ обеспечивается за счет саморегулирования.
- Технические требования к турбине в части регулирования мощности согласованы с ЛМЗ.

Заключение

Энергоблоки ВБЭР могут быть использованы для тех регионов, в которых блоки большей мощности неприемлемы по состоянию их электросетевого хозяйства.

По сравнению с энергоблоками большой мощности АЭС с РУ ВБЭР характеризуются меньшими потребными инвестициями и более коротким сроком сооружения, что обеспечивает условия для использования инвестиционных возможностей регионов, включая реализацию частно-государственного партнерства и снижает коммерческие риски для потенциальных инвесторов.

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**



603074, Нижний Новгород,
Бурнаковский проезд, 15

Тел. (831) 275-40-76,
(831) 275-26-40

Факс (831) 241-87-72

okbm@okbm.nnov.ru
www.okbm.nnov.ru