

III Международный форум поставщиков атомной отрасли «АТОМЕКС 2011»



ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»



АТОМЭНЕР

РЕАКТОР НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ БН-1200

ВАСИЛЬЕВ БОРИС АЛЕКСАНДРОВИЧ
ГЛАВНЫЙ КОНСТРУКТОР РУ БН
ОАО «ОКБМ Африкантов»

г. МОСКВА
2011 год

- ❑ **Использование быстрых реакторов и реализация замкнутого топливного цикла – необходимые условия для долгосрочного функционирования атомной энергетики**
- ❑ **В быстром реакторе обеспечивается возможность полного перевода ($KB > 1$) неделящегося урана-238 (99,3% природного урана) в делящийся плутоний, а замкнутый топливный цикл – использование этого плутония**
- ❑ **Быстрые реакторы с натриевым теплоносителем:**
 - единственный тип быстрых реакторов, созданных в мире до настоящего времени
 - единственный тип быстрых реакторов, который может быть предложен для коммерческого использования в ближайшие десятилетия
 - Россия является лидером в области быстрых натриевых реакторов – реакторов БН, что определяется:
 - большим опытом НИОКР
 - наличием единственного в мире действующего энергетического реактора БН-600
 - ведущимся сооружением энергетического реактора БН-800
 - ведущейся разработкой проекта серийного реактора БН-1200

ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БН В РОССИИ



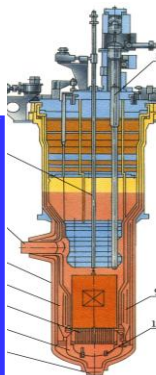
- Успешный 50-летний опыт разработки и эксплуатации
- Сооружение реактора БН-800 для освоения ЗЯТЦ
- Возможность перехода к серийному сооружению - проект БН-1200

Экспериментальные реакторы

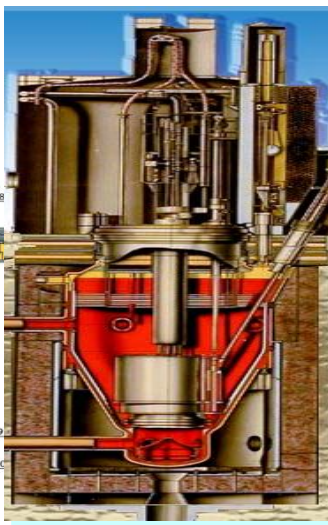
БОР-60
1969г



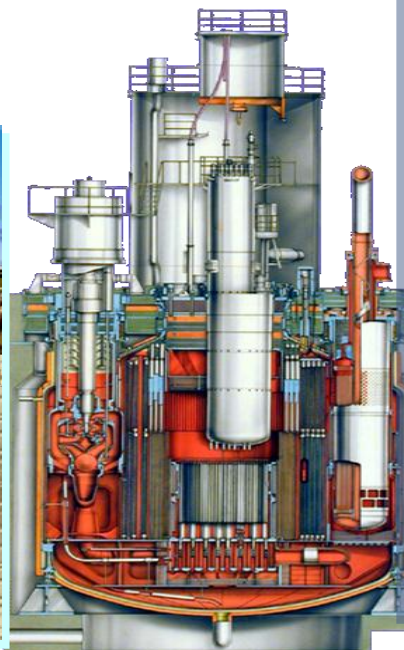
БР-5/10
1959г



БН-350
1973г



БН-600
1980г

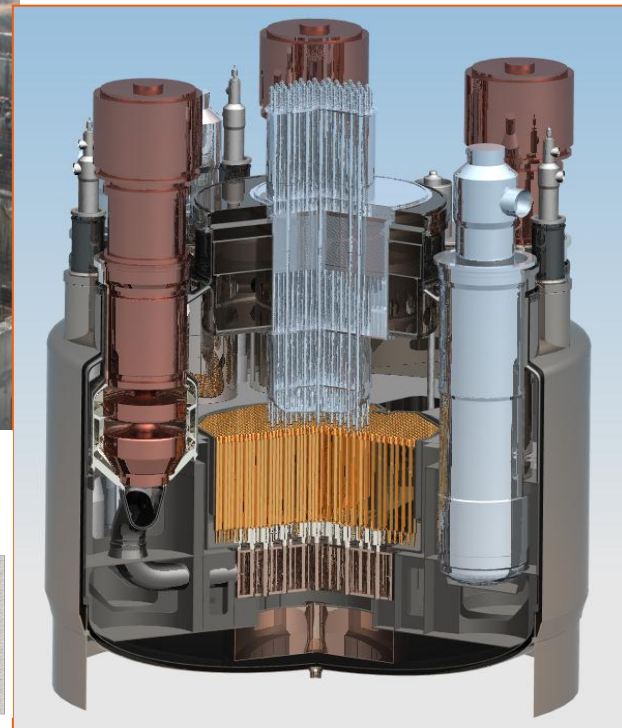


Энергетические реакторы

БН-800
Сооружение

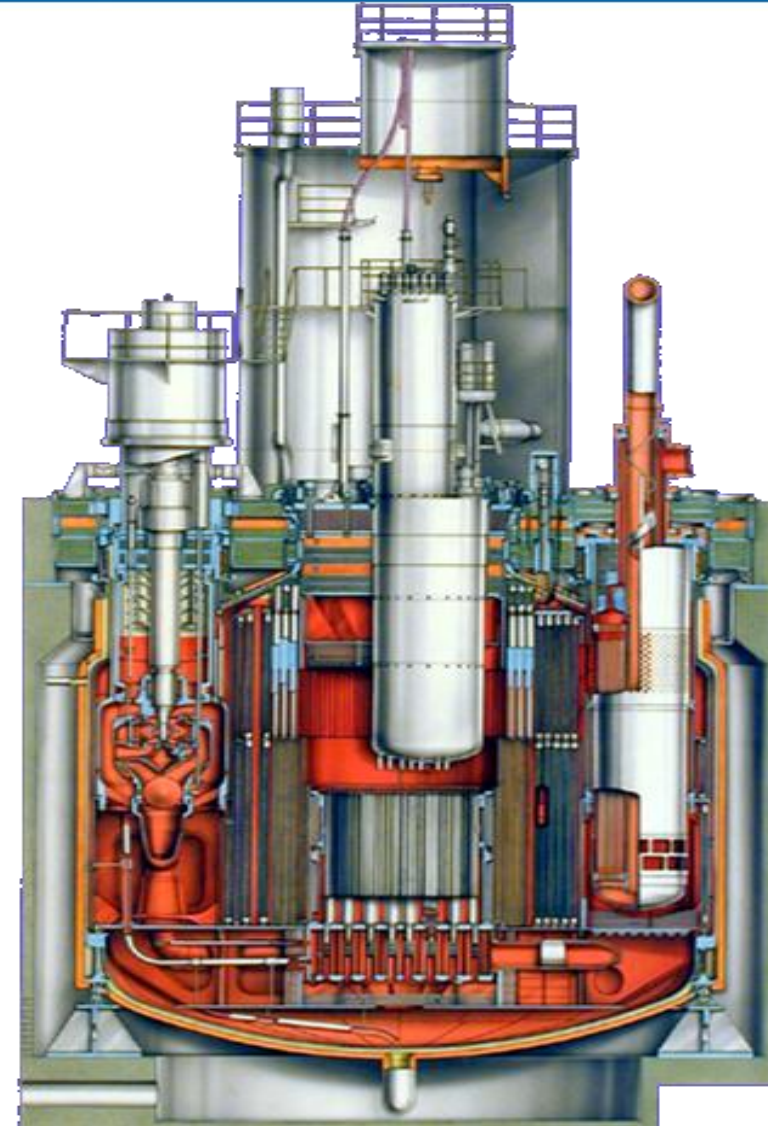
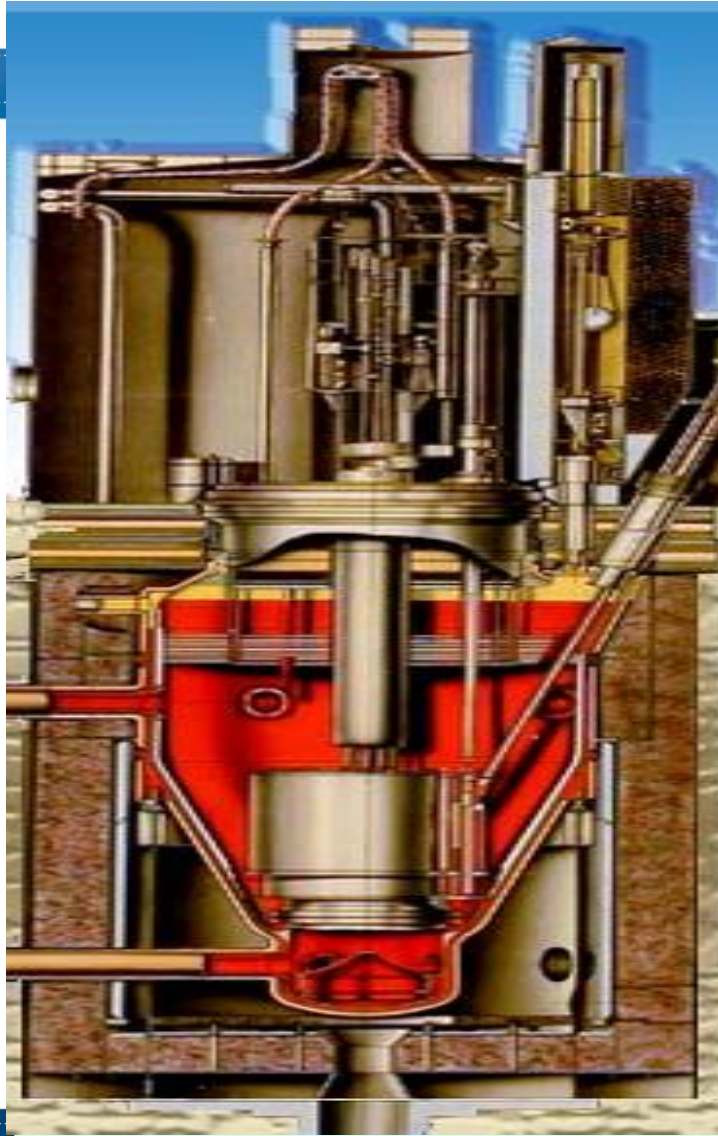


БН-1200
Разработка



- ❑ Подтверждение технических решений по оборудованию и активной зоне РУ БН, разработанных для первого в мире энергетического быстрого реактора БН-350, успешным опытом его эксплуатации в течение 25 лет
- ❑ Совершенствование конструкторских решений в проекте БН-600:
 - Переход от петлевой к интегральной компоновке первого контура
 - Повышение параметров (температура натрия на выходе из активной зоны 550 °С вместо 500 °С)

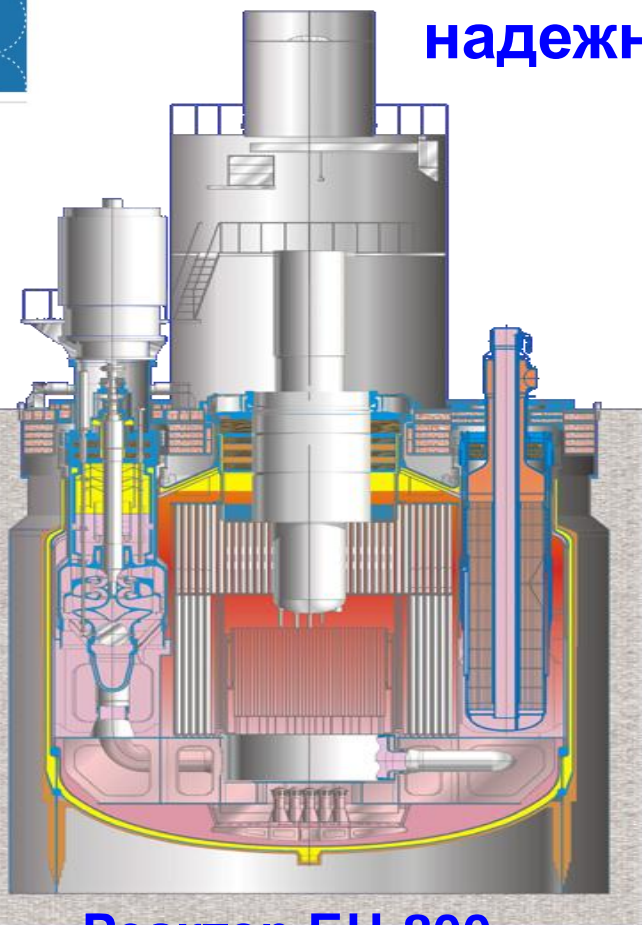
БАЗА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА БН-1200 (2)



□ Основные показатели эксплуатации БН-600

Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ)	78 % за последние 5 лет (близко к КИУМ серийных ВВЭР – 79,9 % за тот же период времени), внеплановые потери КИУМ не превышают 1 %. Плановое время на ППР и перегрузку определяются двумя остановами в год и ремонтом трех ПГ
Аварийные остановки реактора	Среднее число аварийных остановов на 7000 ч работы – 0,2 (по АЭС мира – 0,5-0,7). За период 2000-2011 гг. аварийных остановов не было
Средний выход р/а газов за последние 6 лет	1 % от допустимого уровня (в 4 раза ниже показателя АЭС с ВВЭР за тот же период)
Надежность	В апреле 2010 г. реактор отработал проектный срок службы 30 лет. Обосновано продление срока службы до 45 лет и получена лицензия Ростехнадзора РФ на эксплуатацию до 31.03.2020 г.

□ Внедрение технических решений с целью повышения безопасности, экономичности и надежности энергоблока с реактором БН-800:



Реактор БН-800

- Мощность реактора увеличена на 45 % по сравнению с БН-600 при том же диаметре корпуса
- Используется одна турбоустановка вместо трех в БН-600 (снижение материалоемкости, увеличение КИУМ с ~0,8 до 0,85)
- Предусмотрены:
 - эффективная система отвода остаточных энерговыделений
 - пассивная аварийная защита
 - поддон для удержания кориума

Изготовление оборудования РУ БН-800

- Изготовление оборудования РУ БН-800 полностью ведётся на российских предприятиях – привлечено более 25 заводов. ОКБМ – комплектный поставщик
- В 2011 г. заканчивается изготовление основного оборудования
- Восстановлены или разработаны вновь уникальные технологии изготовления изделий из стали аустенитного класса:
 - Горячей штамповки горловин корпуса реактора
 - Доизготовления корпуса реактора в монтажные блоки непосредственно на монтажной площадке
 - Многослойных сильфонов диаметром до 2600 мм
 - Труб большого диаметра (ø600, 800, 900 мм) и оребренных гнутых труб системы аварийного отвода тепла
 - Пространственной гибки (в трех плоскостях) труб для теплообменного оборудования
 - Поковок больших размеров (диаметром до 2,0 м, толщиной до 250 мм)

Изготовление оборудования РУ БН-800

- Создана промышленная линия по нанесению покрытия методом диффузионного хромирования с последующей нитридизацией
- Восстановлено изготовление электродвигателей с системой управления для насосов I и II контуров мощностью соответственно 5 МВт и 2,5 МВт, электромагнитных насосов для перекачки натрия производительностью до 430 м³/час с естественным воздушным охлаждением
- Организовано изготовление на российских предприятиях натриевых контрольно-измерительных приборов
- Поставки автоматической системы управления, вентиляционного, электротехнического и другого оборудования решаются по аналогии с поставками такого же оборудования для других АЭС, поскольку их основой является однотипное оборудование
- Сооружение БН-800 обеспечивает решение важнейшей практической задачи – восстановление и развитие технологий создания энергетических реакторов БН, что является одним из необходимых условий для перехода к их коммерциализации



Цели проекта БН-1200:

- Создание надежной конструкции РУ нового поколения для серийного энергоблока с быстрым реактором, предназначенного для реализации первоочередных задач перехода к замкнутому топливному циклу атомной энергетики
- Повышение технико-экономических показателей энергоблока с реактором БН до уровня показателей ВВЭР одинаковой мощности
- Повышение безопасности энергоблока до уровня требований к ЯЭУ IV поколения

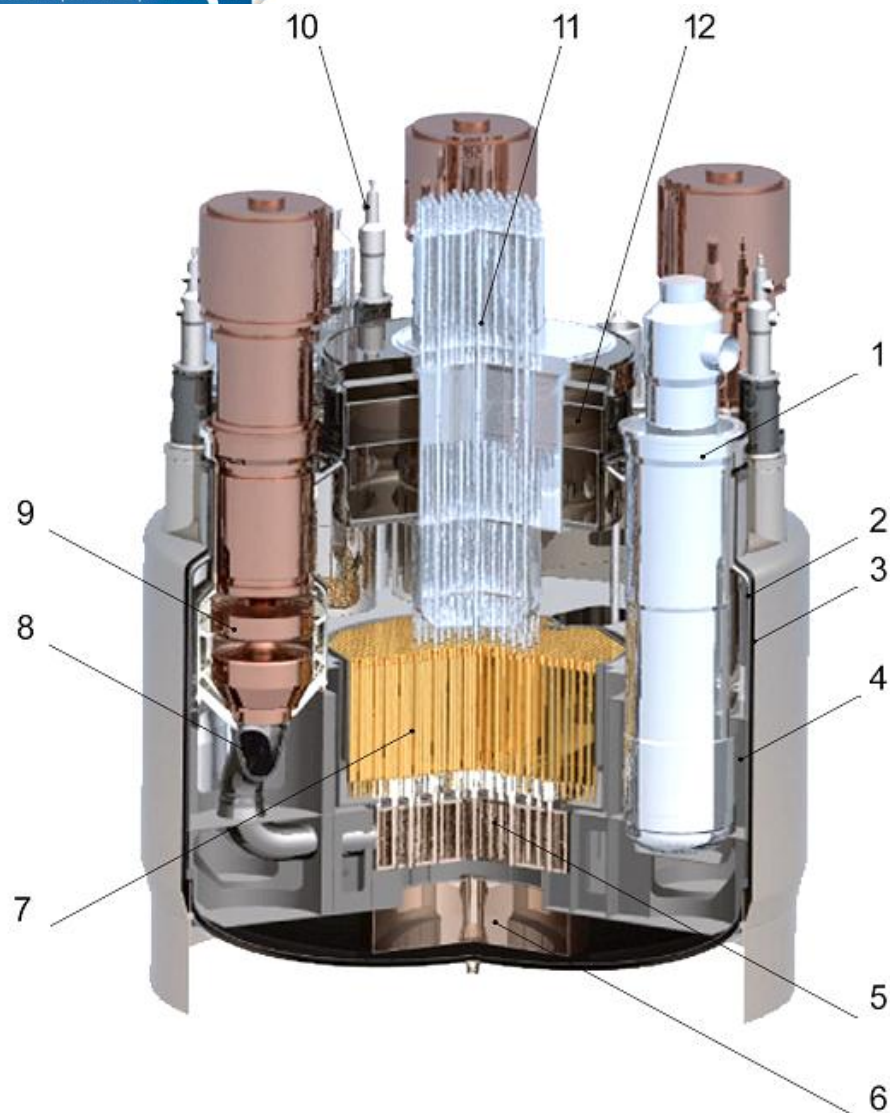
□ Основные положения проекта БН-1200:

- Максимально возможное использование апробированных научно – и инженерно - отработанных технических решений, реализованных в БН-350, БН-600, БН-800
- Применение новых технических решений для повышения безопасности, экономичности энергоблока и эффективности топливоиспользования
- Выбор одинаковой электрической мощности с АЭС-2006 с целью общего подхода к выбору площадок для размещения АЭС и унификации турбогенератора и другого электротехнического оборудования системы выдачи электроэнергии
- Обеспечение транспортабельности крупногабаритного оборудования по железной дороге (корпус реактора и большая поворотная пробка собираются на строительной площадке)

□ Основные характеристики БН-1200 в сравнении с БН-600 и БН-800

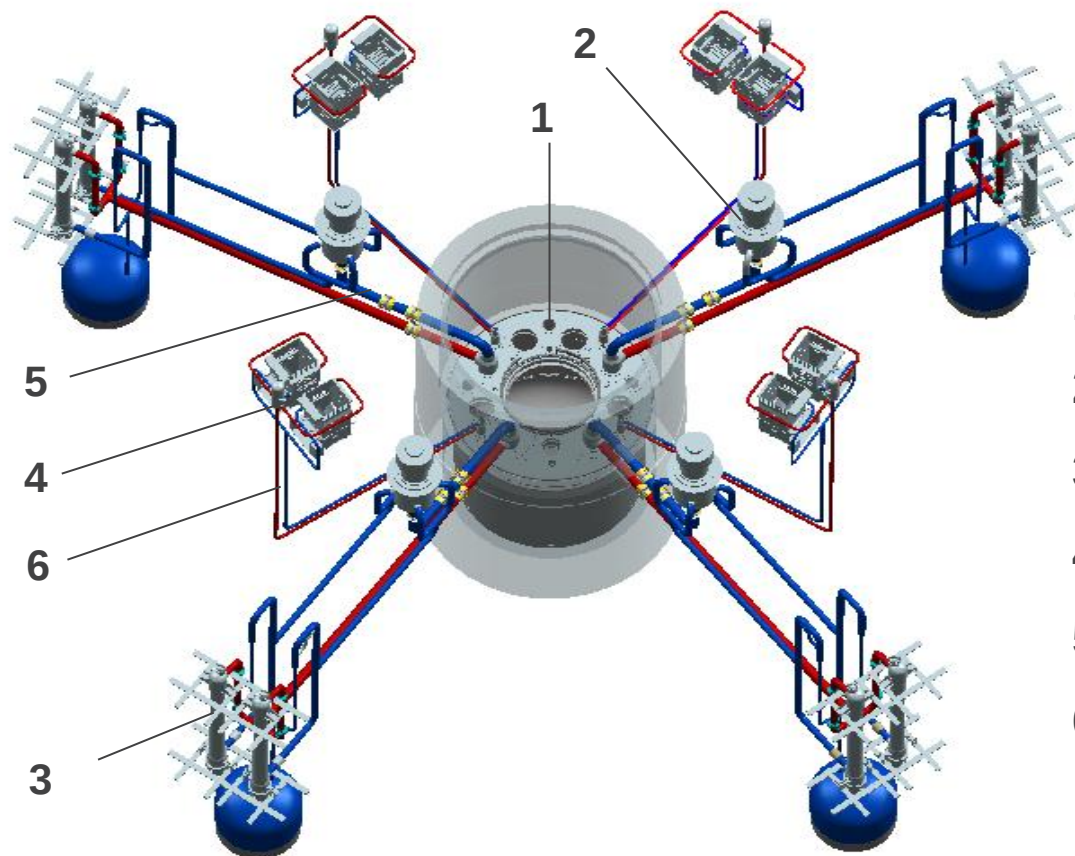
Наименование характеристики	Значение		
	БН-600	БН-800	БН-1200
Тепловая/электр. мощность, МВт	1470/ 600	2100/ 880	2800/1220
Количество петель	3	3	4
Температура теплоносителя на входе/ выходе ПТО по первому контуру, °С	535/368	547/354	550/410
Температура теплоносителя на входе/ выходе ПГ по второму контуру, °С	505/318	505/309	527/355
Параметры третьего контура : - температура острого пара/питательной воды, °С - давление острого пара, МПа	505/240 14	490/210 14	510/270 17
Коэффициент полезного действия АЭС, %: брутто/нетто	42,5/40	41,9/38,8	43,5/40,6

❑ Конструкция реактора БН-1200



- 1 - промежуточный теплообменник
- 2, 3 – основной и страховочный корпуса, соответственно
- 4 - опорный пояс
- 5 - напорная камера
- 6 - устройство сбора топлива
- 7 - активная зона
- 8 - напорный трубопровод
- 9 – ГЦН-1
- 10 - АТО
- 11 - исполнительные механизмы СУЗ
- 12 – фильтр-ловушки

Компоновочная схема РУ БН-1200



1 - реактор

2 - ГЦН-2

3 - парогенератор

4 - ВТО

5 - основные трубопроводы 2 контура

6 - трубопроводы САОТ

■ Направления улучшения экономических показателей:

- Усовершенствование, оптимизация и укрупнение основного оборудования
- Минимизация протяженности натриевых трубопроводов второго контура
- Упрощение транспортно-технологического тракта загрузки-выгрузки ТВС
- Упрощение и сокращение вспомогательных систем и систем аварийного энергоснабжения
- Уменьшение строительных объемов и материалоемкости энергоблока
- Увеличение срока службы до 60 лет
- Повышение коэффициента использования мощности до 90 %
- Повышение выгорания топлива

□ Новые решения по активной зоне:

- Снижение энергонапряжённости до 230 МВт/м³ (450 МВт/м³ в БН-600, БН-800) и увеличение интервала между перегрузками до 330 сут (один останов в год вместо двух для БН-600, БН800)
- Использование одного обогащения топлива вместо трех (снижение затрат на изготовление топливных загрузок)
- Увеличение диаметра твэлов с 6,9 для БН-600, БН-800 до 9,3 мм и размера чехла ТВС «под ключ» с 96х2 для БН-600, БН-800 до 181х3,5 мм, (снижение затрат на изготовление топлива и времени на транспортировку и перегрузку ТВС)
- Увеличение числа гнезд во внутриреакторном хранилище для выдержки ТВС в течение 2 лет, что позволяет снизить их мощность при выгрузке из реактора и отказаться от такой сложной и дорогостоящей части транспортно-технологического тракта, как барабан отработавших сборок с натриевой системой охлаждения

□ {Характеристики активной зоны с МОКС-топливом

Характеристика	Значение
Кампания ТВС активной зоны, годы	3 → 4
Выгорание топлива: максимальное, % т.а. среднее, МВт·сут/кг	11.5 → 14.5 73 → 95
Материал оболочки ТВЭЛОВ	Аустенитная сталь ЭК-164 → Ферритно-мартенситные стали типа ЭК-181, ЧС-139
Коэффициент воспроизводства	~1,2

■ Примечание: Характеристики активной зоны с нитридным топливом, рассматриваемым как перспективное, будут определены в процессе НИР для базового проекта энергоблока

Параметр	БН-600	БН-800	БН-1200
Удельная материалоемкость РУ, т/МВт(э)	13,0	9,7	5,6
Длительность непрерывной работы реактора между перегрузками, сутки	120...170	155	330
КИУМ	0,77 - 0,8	0,85	0,9
Среднее выгорание топлива, МВт·сут/кг	70	70-100	до 138
Срок службы, год	45	45	60

■ По оценкам, экономические показатели БН-1200 будут находиться на сопоставимом уровне с ВВЭР аналогичной мощности. В перспективе себестоимость электроэнергии БН-1200 должна стать ниже, чем ВВЭР, в связи с ожидаемым ростом цен на природный уран

☐ Решения по натриевым контурам:	БН-600	БН-800	БН-1200
■ Промежуточный контур натрий/натрий	+	+	+
■ Окожухование корпусов с р/а натрием	+	+	+
■ Окожухование трубопроводов с р/а натрием	+	+	Трубопроводы с р/а натрием исключены
■ Окожухование трубопроводов второго контура	- + (частично)	- + (частично)	+

Технические решения по системам безопасности:	БН-600	БН-800	БН-1200
1. Аварийная защита: ■ активная ■ пассивная на основе гидравлически взвешенных стержней ■ пассивная на основе температурного принципа действия	+ - -	+ + -	+ + +
2. Система аварийного отвода тепла: ■ в составе третьего контура ■ воздушный теплообменник присоединён ко второму контуру ■ воздушный теплообменник присоединён к первому контуру	+ - -	+ -	+
2.3 Система удержания расплавленного топлива	-	+	+
2.4 Система локализации аварийных выбросов	-	-	+

■ Усовершенствования по обеспечению безопасности позволили ограничить эффективную дозу облучения в запроектных авариях уровнем, не требующим принятия мер по эвакуации и отселению населения

- ❑ 2013 г. – завершение технического проекта
- ❑ 2015 г. – возможное начало сооружения
- ❑ Наилучшее место для сооружения головного энергоблока - площадка Белоярской АЭС, на которой эксплуатируется БН-600 и сооружается БН-800
- ❑ Намерение по сооружению энергоблока с реактором БН-1200 Белоярской АЭС до 2020 г. отражено в соответствующей декларации ГК «Росатом», подписанной в сентябре 2011 г.

- ❑ Изготовление оборудования и натриевых приборов реактора БН-1200 может быть выполнено, в основном, на тех же заводах, которые задействованы для БН-800
- ❑ Изменения конструкции оборудования (его укрупнение) и появление нового оборудования (встроенная ХФЛ, АТО) не требуют создания специализированных производств
- ❑ Возможны некоторые изменения в привлекаемых изготовителях по результатам конкурсных процедур с учётом имеющихся возможностей других производителей

□ Последовательные этапы замыкания топливного цикла:

- Переработка ОЯТ ВВЭР с выделением плутония
- Изготовление для реакторов БН (и, возможно, для ВВЭР) топлива на основе плутония из ОЯТ ВВЭР
- Переработка ОЯТ БН с выделением плутония для изготовления топлива реакторов БН

□ Достаточно подготовленным для запуска первых реакторов БН является смешанное уран-плутониевое оксидное топливо (МОКС-топливо). Для перспективы, с целью улучшения КВ, разрабатывается более плотное нитридное топливо

- Имеется возможность ввода и эксплуатации серии из 6-ти БН-1200 в период до 2030 г. на основе плутония, наработанного в топливе энергетических ВВЭР
- Для реализации указанной задачи, наряду с использованием плутония, наработанного на РТ-1, необходимо создание производства переработки отработавшего топлива ВВЭР-1000
- Первоочередной задачей, наряду с сооружением головного блока БН-1200, является создание производства МОКС-топлива для реакторов БН-1200

- ❑ Развитие технологии БН потребовало длительного времени и больших финансовых затрат. Пройден путь от создания исследовательских реакторов малой мощности до крупных промышленных энергоблоков
- ❑ Создана необходимая база для разработки проекта и строительства энергоблока с реактором БН-1200, обладающего технико-экономическими показателями и уровнем безопасности, предъявляемых к энергоблокам IV поколения
- ❑ Завершение строительства БН-800 и разработка проекта реактора БН-1200 откроют путь к серийному вводу в эксплуатацию быстрых натриевых реакторов и созданию инфраструктуры замкнутого ядерного топливного цикла
- ❑ Основной задачей для внедрения серии реакторов БН-1200, наряду с сооружением головного энергоблока, является замыкание топливного цикла с созданием производств МОКС-топлива и переработки ОЯТ БН и ВВЭР