



Проект БН-1200 как основа перехода к двухкомпонентной атомной энергетике

Васильев Б.А., Васяев А.В., Зверев Д.Л., Шепелев С.Ф.

АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород

Аширметов М.Р., Ершов В.Н., Онуфриенко С.В.

АО «АТОМПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург,

Говердовский А.А., Поплавский В.М., Труфанов А.А.

АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», г. Обнинск

Беззубцев В.С., Пономарев-Степной Н.Н.

АО «Концерн Росэнергоатом», г. Москва

МНТК-2016, Москва

25-27 мая 2016 г.

Введение

- ❑ Создание двухкомпонентной ядерной энергетической системы на базе ВВЭР и БН уже в ближнесрочной перспективе обеспечивается:
 - возможностями реакторов БН по воспроизводству топлива, эффективной утилизации плутония и урана ОЯТ ВВЭР и реакторов БН
 - опытом России по разработке и эксплуатации реакторов БН (БР-5, БОР-60, БН-350) и компетенции, полученные при эксплуатации реактора БН-600 и создании реактора БН-800
 - преемственностью базовой технической концепции реактора БН интегрального типа и использование многих отработанных решений, а также объем выполненных НИОКР в обоснование новых решений, применяемых в проекте коммерческого реактора БН-1200
- ❑ Коммерциализация быстрых реакторов на основе проекта БН-1200 предполагает создание комплекса предприятий ЗЯТЦ, объединяющего действующие и вновь создаваемые технологически связанные кластеры объектов ЯТЦ
- ❑ Планируется разработка проекта энергетического комплекса с энергоблоками БН-1200 для демонстрации экономической эффективности такой системы с учетом долгосрочного функционирования

Обработка топливных технологий и технологий замкнутого топливного цикла в реакторах БН-600 и БН-800 (1)

БН-600

- ❑ Использование уранового диоксидного топлива - начало освоения реакторных технологий
 - достигнуто глубокое выгорание топлива
(среднее значение - 74 МВт·сут/кг, что ~ 1,5 раза больше, чем для реакторов ВВЭР)
 - имеются реальные основания для увеличения выгорания топлива до 90 МВт·сут/кг и перспектива его дальнейшего роста
 - близость свойств УОКС и МОКС топлива определяет преимущество результатов для этих видов топлива
 - изготовлены и успешно испытаны 42 экспериментальные ТВС с МОКС топливом
 - часть этих сборок переработана на заводе РТ-1

Обработка топливных технологий и технологий замкнутого топливного цикла в реакторах БН-600 и БН-800 (2)

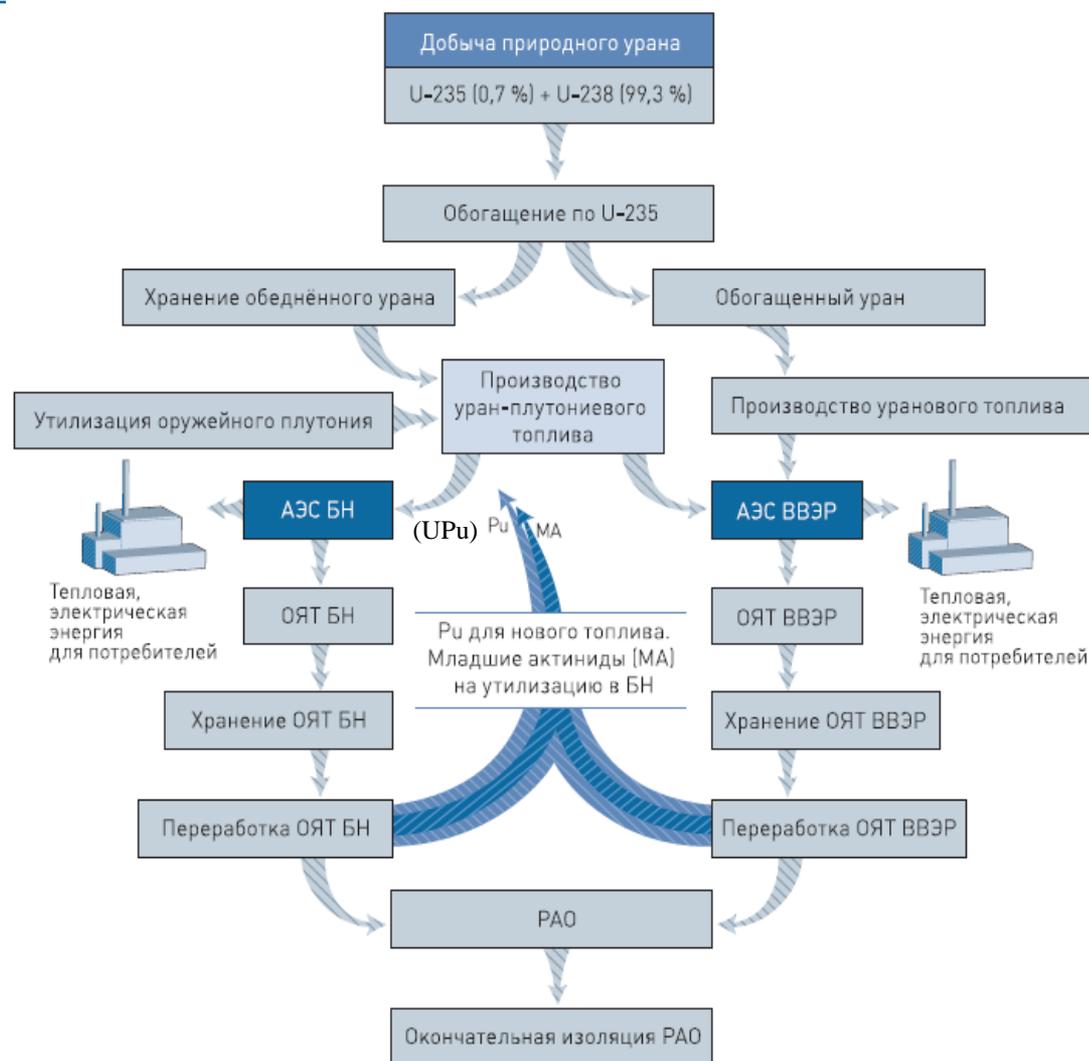
БН-800

- ❑ Использование МОКС-топлива обуславливает лидирующие позиции по освоению технологий ЗЯТЦ и возможность совершенствования топлива
- ❑ Перевод с частичной на полную загрузку МОКС-топливом, изготовленном на ГХК
- ❑ Исходное сырье для изготовления топлива - плутоний ОЯТ ВВЭР-440
- ❑ Возможность использования уран-плутониевого топлива на базе плутония с широким вектором изотопов при одновременном размещении топлива разного состава в активной зоне
- ❑ Планирование массовой переработки ОТВС с МОКС-топливом и НИОКР для отработки наиболее перспективных методов переработки
- ❑ Достижение рекордной величины нейтронного потока - $8 \cdot 10^{15}$ н/см²·с
- ❑ Обеспечение в БН-800 ускоренных испытаний как твэлов, так и конструкционных материалов, в том числе перспективного нитридного топлива

Задачи реализации ЗЯТЦ на основе реакторов БН-1200 (1)

- ❑ Переход на двухкомпонентную систему атомной энергетики с замыканием топливного цикла принята на начальном этапе развития атомной энергетики
- ❑ Поэтапная разработка ПЭК с учетом возможного расширения или тиражирования предприятий топливного цикла
- ❑ Использование уже созданных и создаваемых в настоящее время производств и технологий ЯТЦ: ФГУП «ГХК», ФГУП «ПО «Маяк», АО «СХК», логистических технологий при обращении со свежим и отработавшим топливом ВВЭР, БН-600 и БН-800
- ❑ 2016 год - разработка концептуального проекта ЭК с двумя энергоблоками БН-1200 и предприятиями централизованного топливного цикла, включая выполнение технико-экономических исследований

Схема замкнутого топливного цикла реакторов типа ВВЭР и БН



Состояние разработки проекта БН-1200

- ❑ **2007 год** – начало работ по проекту ЭБ с РУ БН-1200 в соответствии с программой АО «Концерн Росэнергоатом»
- ❑ Принятые основные технические решения одобрены на НТС Госкорпорации «Росатом» и НТС АО «Концерн Росэнергоатом»
- ❑ **2010 год** – начало работ в рамках реализации Федеральной целевой программы
- ❑ **2014 г.** - выполнена разработка технического проекта РУ, технического проекта турбоустановки и материалов проекта энергоблока
- ❑ **2015 г.** - проведена экспертиза документации проекта в соответствии с Распоряжением Государственной корпорации «Росатом» № 1-1/87-Р от 27.02.2015 г.
- ❑ **2015 г.** - результаты проекта и экспертизы одобрены Решением НТС № 1 и № 8 от 12.08.2015 г. и ТК 118 от 12.08.2015 г.

Технические решения, направленные на повышение уровня безопасности и улучшение технико-экономических показателей (1)

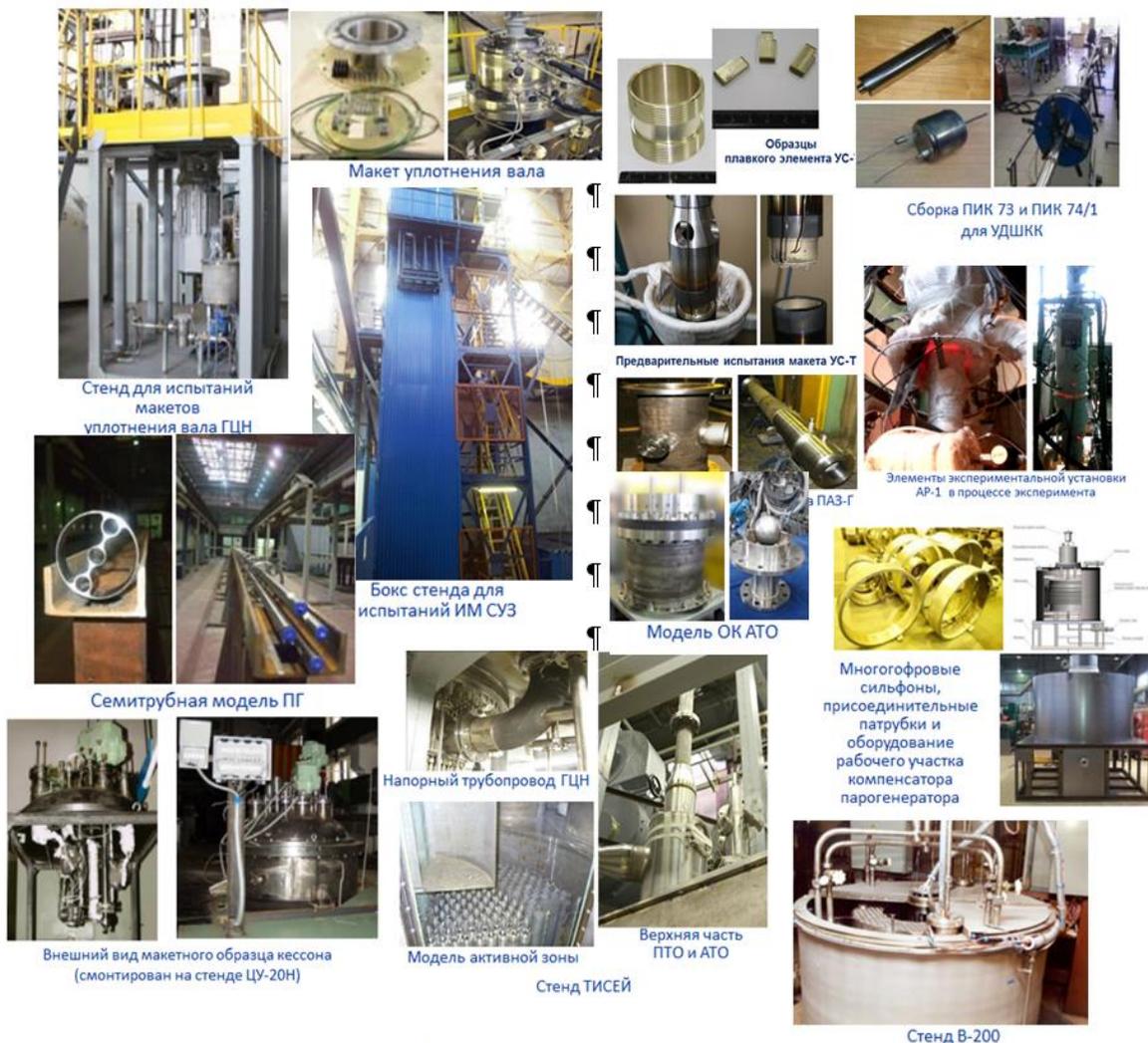
Реактор	БН-600	БН-800	БН-1200
Номинальная тепловая мощность, МВт	1470	2100	2800
Электрическая мощность, брутто, МВт	600	880	1220
Количество тепловыделяющих петель	3	3	4
Температура теплоносителя по первому контуру, °С (на входе/выходе промежуточного теплообменника)	535/368	547/354	550/ 410
Температура теплоносителя по второму контуру, °С (на входе/выходе ПГ)	505/318	505/309	527/355
Параметры третьего контура: температура острого пара, °С давление острого пара, МПа температура питательной воды, °С	505 14 240	490 14 210	510 17 275
Коэффициент полезного действия, брутто / нетто, %	42.5 / 40	41.9 / 38.8	43.5 / 40.7

- Повышение параметров острого пара на выходе из ПГ и питательной воды ⇒ увеличение КПД(брутто) установки
- Применение круглого в плане здания реактора с шахтой реактора в центре
- Применение четырех идентичных петель теплоотвода ⇒ модульность компоновки
- Размещение основного оборудования в баке реактора, окужухование трубопроводов ⇒ исключение возможности течей наружу радиоактивного натрия
- Использование сильфонных компенсаторов температурного расширения на трубопроводах второго контура ⇒ сокращение протяженности трубопроводов
- Применение термо- и радиационностойкой стали X16H11M3 ⇒ увеличение срока эксплуатации энергоблока не менее 60 лет

Технические решения, направленные на повышение уровня безопасности и улучшение технико-экономических показателей (2)

- ❑ Использование нитридного уран-плутониевого топлива как перспективного и МОКС-топлива как достаточно обоснованного
- ❑ Снижение энергонапряженности активной зоны, укрупнение твэлов => увеличение кампании ТВС в 1,5 – 2 раза
- ❑ Использование дополнительно к системе аварийной защиты (наряду с пассивной защитой гидравлического принципа действия) системы пассивной защиты на основе температурного принципа
- ❑ Увеличение объема ВРХ => обеспечение выдержки ОТВС в течение двух лет и исключение барабана отработавших сборок с натриевым теплоносителем
- ❑ Размещение первичной защиты в активной зоне и сокращение внутриреакторной защиты
- ❑ Укрупнение секции ПГ , использование вертикальных прямоточных корпусного типа ПГ (8 модулей) вместо секционно-модульных ПГ для БН-600 (72 модуля) и БН-800 (60 модулей)
- ❑ Применение вертикального элеватора, совмещение перегрузочного и отмывочного боксов
- ❑ Обеспечение естественной циркуляции по всем контурам САОТ
- ❑ Применение легкого сферического купола над центральным залом в сочетании с применением современных высокопрочных бетонов и арматуры
- ❑ Значительное сокращение количества оборудования в системе аварийного электроснабжения за счет использования пассивных систем безопасности

Расчетные и экспериментальные исследования в обоснование технических решений



Основные результаты по безопасности

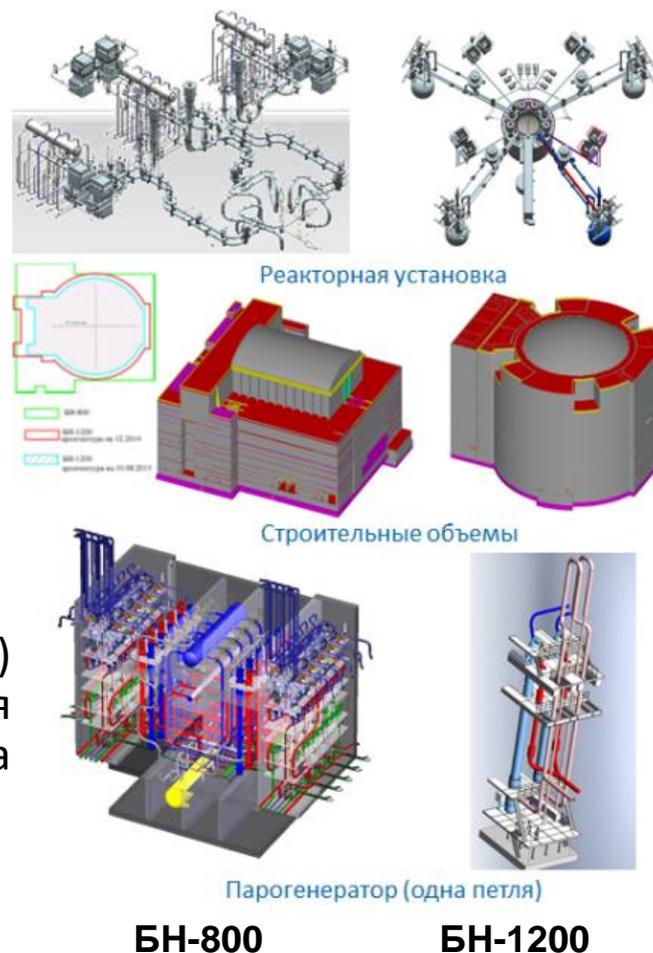
В итоге выполненных мероприятий в проекте достигнуто значительное повышение уровня безопасности:

- ❑ Вероятность тяжелого повреждения активной зоны для внутренних событий при работе реактора на мощности для БН-1200 составляет $\sim 5 \cdot 10^{-7}$, что значительно ниже соответствующих величин для БН-600 $\sim 10^{-5}$ и БН-800 $\sim 2 \cdot 10^{-6}$
- ❑ Выполнено требование об исключении необходимости эвакуации населения при авариях
- ❑ Для расчетного обоснования проекта используется комплекс расчетных проектных кодов, создаются коды нового поколения. К настоящему времени около 60 % кодов аттестованы, остальные находятся в стадии верификации и аттестации.
- ❑ Верифицируется тест-симулятор, разработанный на базе математической модели энергоблока с РУ БН-1200 на основе расчётного кода РАСНАР-БН

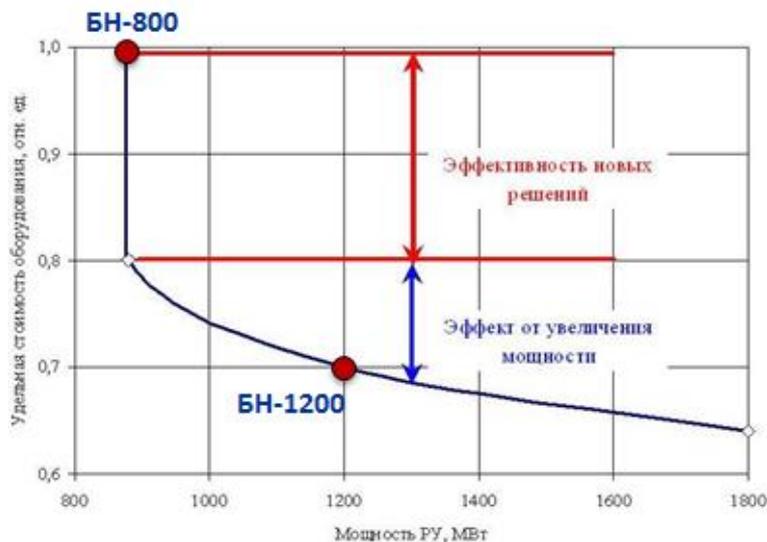
Основные результаты по технико-экономическим показателям (1)

Реактор	БН-800	БН-1200
Удельный объем главного корпуса, м ³ /МВт(э)	750	550
Удельные строительные объемы боксов ПГ, м ³ /МВт(э)	32	16
Удельная материалоемкость РУ, т/МВт(э)	9,7	5,8
Удельная металлоемкость ПГ, т/МВт	1,48	0,33
Микрокампания, эфф. сут	155	330
КИУМ	0,85	0,9
Срок службы, год	45	60

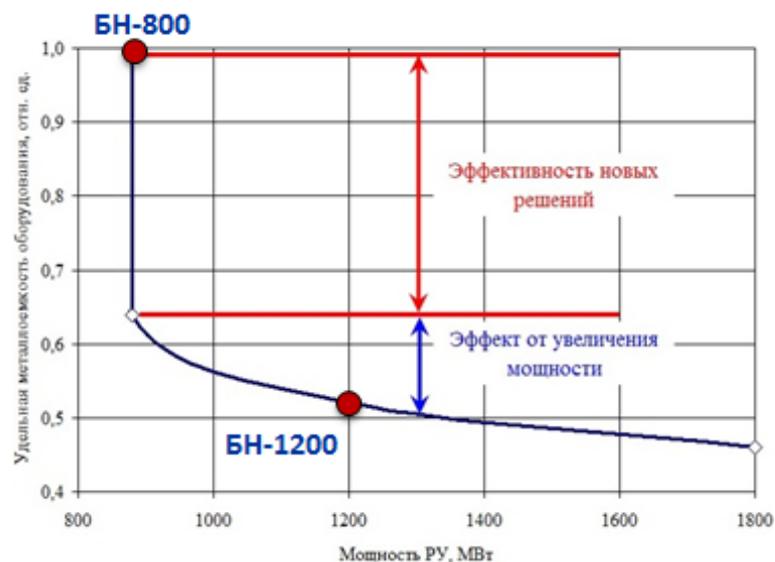
- Удельные капитальные затраты ЭБ БН-1200 (2015 г.) сравнимы с соответствующими показателями для энергоблоков с ВВЭР (превышение не более чем на 4-16 % по сравнению с ВВЭР-ТОИ)



Основные результаты по технико-экономическим показателям (2)



Зависимость удельной стоимости оборудования РУ от мощности



Зависимость удельной металлоемкости оборудования РУ от мощности

Улучшение технико-экономическим показателей

❑ Реакторная установка:

- ГЦН с картерной системой смазки
- герметичный ГЦН-2 с синхронной магнитной муфтой
- сокращение количества ВТО
- сокращение количества ХФЛ -2
- оптимизация натриевых сосудов 2 контура
- уменьшение диаметра сбросных трубопроводов
- оптимизация перегрузочного бокса, перегрузочной машины и механизма подъема пробки

❑ Энергоблок:

- сокращение диаметра реакторного здания за счет расположения ПГ при сохранении конструкции существующего оборудования в РО
- уменьшение высоты тяговых труб САОТ
- оптимизация компоновки БВ, объема и сроков выдержки ОТВС
- сокращение объема ХСТ
- сокращение объема обстройки за счет расположения ВТО в РО
- оптимизация систем промконтуров и технического водоснабжения

- ❑ Реализация намеченных мероприятий, направленных на дальнейшее снижение стоимости, позволит улучшить технико-экономические показатели энергоблока с РУ БН-1200 еще на 10-15 %

Заключение

Создание двухкомпонентной энергетической системы с энергоблоками ВВЭР и БН-1200 – это решение отложенных проблем атомной энергетики, связанных с ОЯТ и РАО, обеспечение эффективного использования урана и сокращение его добычи и обогащения, повышение конкурентоспособности атомной энергетики на рынке энергоресурсов как в части безопасности, экологичности, так и в части экономической привлекательности