



ОКБМ
АФРИКАНТОВ
РОСАТОМ

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ

Г.Н. Кодочигов, Н.Г. Кодочигов, И.В. Маров, Е.В. Марова, А.М. Маслов,
В.В. Петрунин, С.Ф. Шепелев

АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Нейтроника-2024

28 мая 2024 года

Поручения Президента и Правительства Российской Федерации при реализации стратегии долгосрочного развития России с низким выбросом парниковых газов - увеличение доли электроэнергии, вырабатываемой на атомных электрических станциях (АЭС), к 2045 г. до 25 %



ОКБМ
АФРИКАНТОВ
РОСАТОМ

- Создание ядерной энергетической системы (ЯЭС) нового поколения с обеспечением её устойчивого развития путем эффективного замещения выбывающих мощностей электрогенерации энергоблоками с реакторами типа ВВЭР и экономически конкурентоспособными реакторами на быстрых нейтронах
- Сбалансированное сочетание базовых (ВВЭР-1000), ключевых (ВВЭР-ТОИ), прогрессирующих (БН) и новых (ВВЭР-С, ВВЭР-СКД) технологий
- Решение задач эффективного использования природного ядерного топлива, замыкания ЯТЦ с решением отложенных проблем современной ядерной энергетики, повышения уровня безопасности на всех стадиях жизненного цикла объектов ЯЭС, обеспечения гарантий нераспространения и стимулирование развития международного бизнеса



Предпосылки развития ЯЭС

- ВВЭР: ограниченное количество рециклов топлива, жесткие требования к изотопному составу плутония, возможность использования плутония из ОЯТ реакторов на быстрых нейтронах, расширение номенклатуры видов топлива (МОКС, РЕМИКС), ограничение по количеству загружаемого МОКС топлива
- Реакторы на быстрых нейтронах типа БН: использование плутония любого изотопного состава, многократное рециклирование плутония, глубокое выгорание топлива, выжигание МА, расширение номенклатуры используемых видов топлива (СНУП, МОКС), наработка медицинских и промышленных изотопов
- ВТГР: глубокое выгорание топлива, однократное прохождение топлива через реактор, широкая номенклатура видов топлива, производство высокотемпературного тепла для производства водорода и водородсодержащих продуктов (ВСП)
- Реакторы малой и средней мощности (МСМ): гибкость по отношению к существующим сетям, возможность крупноузлового монтажа на площадке, большая длительность кампании без перегрузок ядерного топлива, использование их в качестве энергоисточника для коммунального теплоснабжения. Топливообеспечение реакторов МСМ возможно в рамках общего ЯТЦ реакторов большой мощности

Этапность замыкания топливного цикла ядерной энергетики и перехода к двухкомпонентной ЯЭС как исходные предпосылки для проведения системного анализа различных вариантов организации ЯЭС



ОКБМ
АФРИКАНТОВ
РОСАТОМ

■ Этап 1. Начальный этап совместного топливного цикла тепловых и быстрых реакторов (2040-2050 гг.)

Открытые вопросы:

- целесообразности переработки ОЯТ быстрых реакторов на данном этапе
- отработки технологии изготовления топлива на основе плутония из ОЯТ тепловых реакторов
- отработки технологии изготовления композиций с МА, включая обращение с Np и Cm
- создания производств ЯТЦ не только для производства топлива, но и переработки ОЯТ как тепловых, так и быстрых реакторов
- реализации потенциала расширения международного бизнеса за счет предоставления услуги по облагораживанию плутония из МОКС ОЯТ PWR

■ Этап 2. Последующие этапы замыкания ЯТЦ (до 2100 года)

К началу данного этапа должен быть завершен этап отработки ядерных технологий и технологий ЯТЦ, промышленного выжигания в быстром реакторе МА, создания топливных производств

Открытым остаются вопросы соотношения ядерных технологий в составе ЯЭС и , соответственно, мощностей топливных производств

Интересным аспектом может стать создание специализированных быстрых реакторов, различных по функциональному назначению: реакторов по облагораживанию плутония, выжигателей америция, реакторов по производству искусственных радиоактивных изотопов и др.

Проект коммерческого БН



ОКБМ
АФРИКАНТОВ
РОСАТОМ

Выбор мощности	Мощность реактора – 1200 МВт(эл)
Выбор конструкции реактора	С полным интегрированием систем и оборудования 1 контура
Выбор компоновки реактора	Четырехпетлевая схема с САОТ, подключенной непосредственно к реактору
Выбор типа топлива	СНУП топливо, МОКС топливо
Выбор основных типоразмеров ТВС и твэл	ТВС с увеличенным размером под ключ и твэл увеличенного диаметра
Выбор принципа срабатывания сборки пассивной аварийной защиты температурной (ПАЗ-Т)	Исполнение устройства самосрабатывающего температурного (УС-Т) на основе плавкого элемента
Выбор схемы обращения с отработавшими топливными сборками	Отказ от барабана отработавших сборок
Оптимизация системы перегрузки	Перегрузочный бокс с двумя отделениями (с уменьшенными массогабаритными показателями)
Выбор парогенератора	Корпусной парогенератор
Оптимизация ПГ	Двухмодульный парогенератор с уменьшенной длиной и увеличенным количеством теплообменных трубок
Оптимизация ГЦН-1	ГЦН-1 с картерной системой смазки с сокращением элементов системы маслоснабжения
Оптимизация ХЛ-1	ХЛ-1 с увеличенной емкостью без ЭМН и ЭМНД
Оптимизация САОТ	Оптимизация мощности САОТ и схемно-компоновочных решений
Выбор способа компенсации температурных перемещений трубопроводов 2 контура	Использование сильфонных компенсаторов
Выбор компоновки 2 контура	Отказ от буферной емкости, идентичные петли
Оптимизация ХЛ-2	ХЛ-2 с увеличенной емкостью



Технические решения по активной зоне БН



ОКБМ
АФРИКАНТОВ
РОСАТОМ

Решение	Параметр	Эффект в БН-1200М по отношению к БН-800
Пониженная теплонапряжённость	Микрокампания	2 (3,2) раза
	Кампания	2,7 (4,3) раза
	КИУМ	+ 5 (8) %
Укрупнение твэл и ТВС	Количество ТВС	- 50%
	Потребление ТВС	5,7 (8,9) раз
	Потребление твэл	2,7 (4,2) раза
Увеличение объема ВРХ	Нячеек ВРХ / Нячеек а.з.	Увеличение времени выдержки ОТВС ↓ Исключение БОС
Использование в реакторе сборок борной защиты с исключением внутрикорпусной стальной защиты	Масса	30,7 раз
Применение плотного СНУП топлива	КВ (МОКС / СНУП): - активной зоны - полный – с экранами	+0,2 / +0,3 +0,3 / +0,4

- Достигнуто снижение вероятности тяжелого повреждения активной зоны для внутренних событий при работе реактора БН-1200 на мощности до $\sim 5 \times 10^{-7}$, что ниже соответствующих величин для БН-600 и БН-800

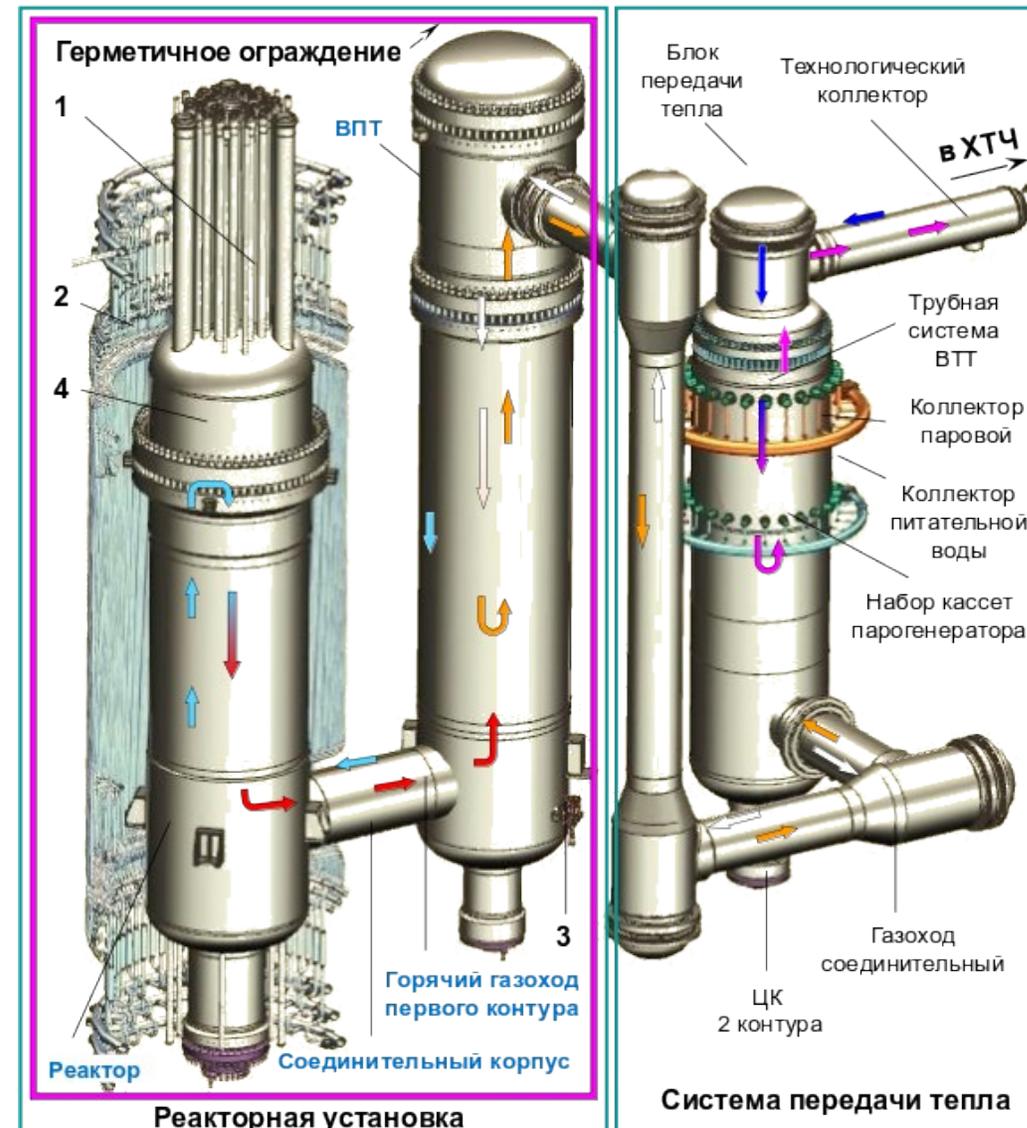
Атомные станции с ВТГР – один из наиболее доступных источников энергии и высокопотенциального тепла, необходимого для получения водорода и водород-содержащих продуктов



ОКБМ
АФРИКАНТОВ
РОСАТОМ



- Выработка тепла с температурой до 950–1000 °С
- Применение в активной зоне реактора нерасплавляемых материалов: керамического ядерного топлива в виде микрочастиц с покрытиями из карбида кремния (основного барьера на пути распространения продуктов деления), графита и инертного гелиевого теплоносителя
- Исключение плавления активной зоны, удержание продуктов деления внутри топлива во всех проектных и запроектных авариях
- Реализация свойств самозащищённости в отношении останова реактора и отвода остаточного тепла во всех ситуациях, включая потерю теплоносителя, потерю всех активных средств циркуляции и всех (нормальных и аварийных) источников электроснабжения



Соответствие требованиям по ядерной и радиационной безопасности на уровне установок Поколения 4

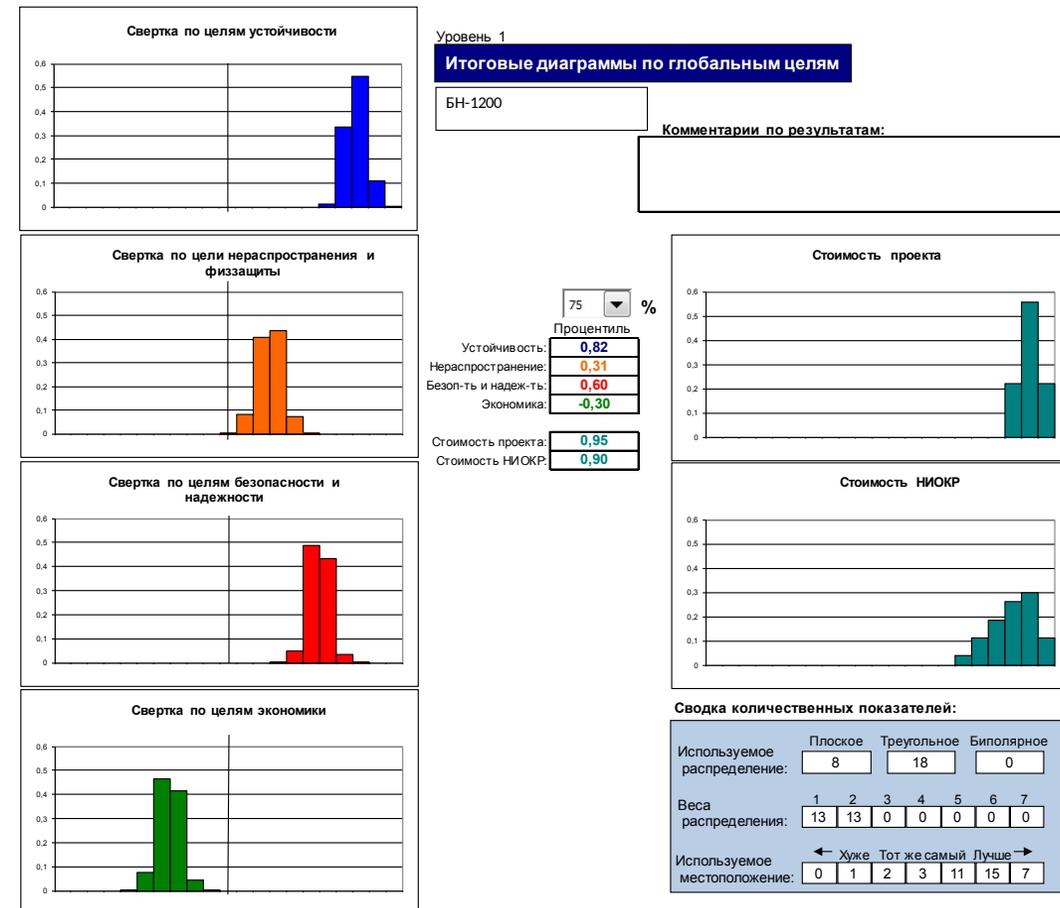


ОКБМ
АФРИКАНТОВ
РОСАТОМ

■ В сентябре 2017 года в рамках форума «Поколение IV» состоялось совещание управляющего совета проектного соглашения по системной интеграции и оценке быстрого натриевого реактора, в ходе которого концепция реактора БН-1200 была признана соответствующей критериям IV поколения

■ Для повышения конкурентоспособности ЭБ с РУ БН выполняются:

- анализ результатов эксплуатации БН-600 и БН-800 для снижения консерватизма при проектировании
- разработка визуальной модели организации монтажа оборудования РУ с использованием 3D моделирования с целью выявления возможных ошибок и оценки логистических решений при транспортировке и монтаже оборудования;
- применение системы управления требованиями технических заданий с целью автоматизации контроля за ходом разработки и обоснования проекта, а также исключения коллизий при разработке проекта
- проведение многокритериального анализа конкурентоспособности модернизированного ЭБ, включающего сравнение с энергоблоками ВВЭР-ТОИ, АР-1000, угольными электростанциями, ПГУ и др., с целью определение уровня конкурентоспособности ЯЭС



Заключение



- Создание проектов инновационных ядерных установок, в частности типа БН и ВТГР, отвечает Стратегии развития ядерной энергетики России по созданию многокомпонентной ЯЭС, решает задачи устойчивого топливообеспечения, обращения с ОЯТ и РАО, расширения отраслевого бизнеса и отвечает концепции достижения углеродной нейтральности в области энергетики, увеличения доли атомной генерации в выработке электроэнергии в Российской Федерации до 25 % к 2045 году
- Развитие ядерных технологий БН и ВТГР определяет расширение области их применения – не только производство электроэнергии, высокотемпературного тепла, но и наработка радиоактивных изотопов, продуктов технологического цикла
- Изменения системных требований, в первую очередь, в части технико-экономических показателей обуславливают развитие проектов, многовариантность организации ЯЭС, что определяет задачи системных исследований сложных энергетических систем с применением широкого набора критериев, включая критерии неэнергетического использования ядерных установок

Спасибо за внимание

Марова Елена Викторовна

+7 831 241-03-97, marova@okbm.nnov.ru

28.05.2024