



ПРОРЫВ
РОСАТОМ

Основные научные задачи замыкания ядерного топливного цикла двухкомпонентной ЯЭ

Круглый стол «С опорой на историю в будущее атомной отрасли
через образование и аналитические исследования»

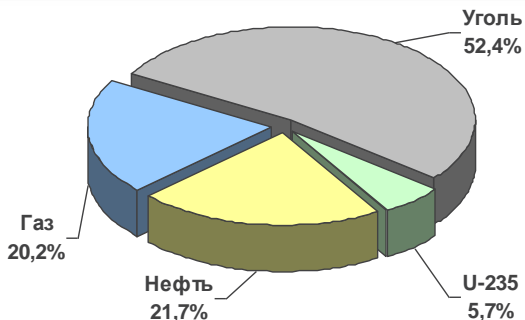
Хомяков Ю.С.

АО «Прорыв»

Переход от ОЯТЦ к ЗЯТЦ: преимущества

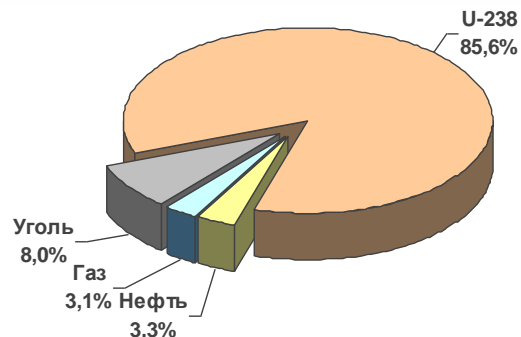
1 ГВт ВВЭР в ОЯТЦ за 60 лет

- ❖ Ресурсы: 11 200 т природного $U_{\text{прир}}$
- ❖ ОЯТ: 1362 т
- ❖ РАО: 14 т $Pu^{*})$ и 3 т МА



1 ГВт РБН в ЗЯТЦ за 60 лет

- ❖ Ресурсы: 88 т обедненного $U_{\text{обедн}}$
- ❖ ОЯТ на хранении: 27 т
- ❖ РАО: 0,09 т Pu и 0,004 т МА

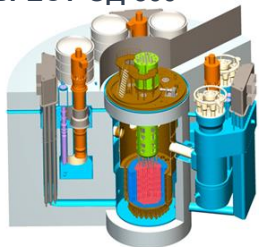


Энергоемкость мировых природных энергетических ресурсов

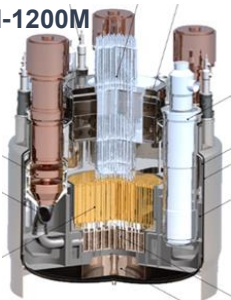
Задачи по физике быстрых реакторов

- ✓ Достижение КВА ~ 1 с самообеспечением топливом, работа на ^{238}U без зон воспроизводства
- ✓ Равновесная активная зона и саморегулирование реактивности при выгорании топлива
- ✓ Многократный рецикл U и Pu любого изотопного состава без накопления ОЯТ
- ✓ Выжигание долгоживущих РАО (МА, FP)
- ✓ Технологии производства радиоактивных изотопов для радиационных технологий, ядерной медицины

БРЕСТ-ОД-300



БН-1200М



Белоярская АЭС

Ключевая физическая особенность РБН: избыточный нейтронный потенциал для ядерной трансмутации

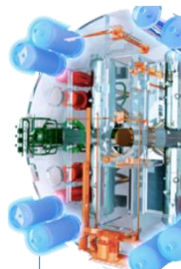
Развитие технологий ВВЭР-С, ВВЭР-СКД



Замена циркониевых сплавов
(исключение паро-циркониевой
реакции при запроектных авариях)



Повышение КПД – снижение тепловых
выбросов в атмосферу (до 45% при
СКД)



Спектральное регулирование
реактивности (отказ от борного
регулирования)



Сокращение потребления природного
урана (130-135) т/ГВт(э)·год
Повышение КВ до 0,7-0,8 (до ~1 при
СКД)

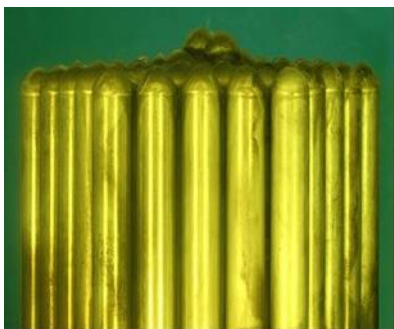
Физхимия свинцового теплоносителя

Основные задачи физхимии Рb теплоносителя

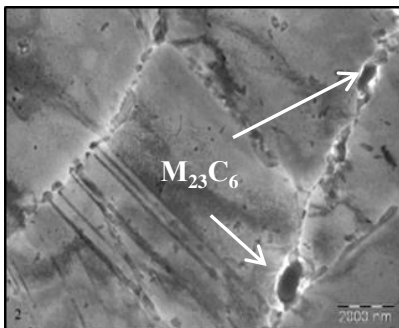
- ✓ Освоение нового жидкометаллического теплоносителя РБН
- ✓ Создание и поддержание специального кислородного режима для предотвращения коррозии конструкционных материалов
- ✓ Разработка регламентов и ТУ на свинец реакторной чистоты
- ✓ Контроль качества теплоносителя прошло приёмочные испытания
- ✓ Разработка моделей локальной коррозии



Топливные технологии: СНУП топливо для РБН



- ✓ Технологии фабрикации топлива
- ✓ Расчетное обоснование работоспособности топлива с учетом радиационных факторов
- ✓ Реакторные испытания (технология, методы)
- ✓ Послереакторные исследования, экспериментальные методики
- ✓ Достижение среднего выгорания 12% т.а.
- ✓ Жидкометаллический подслои
- ✓ Метрология
- ✓ Базы данных свойств топливных материалов



Цель: достижение среднего выгорания 12% т.а.

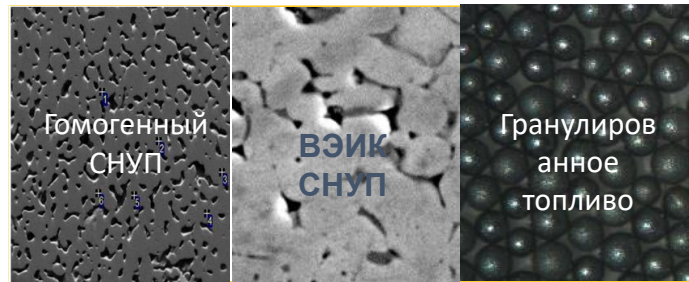
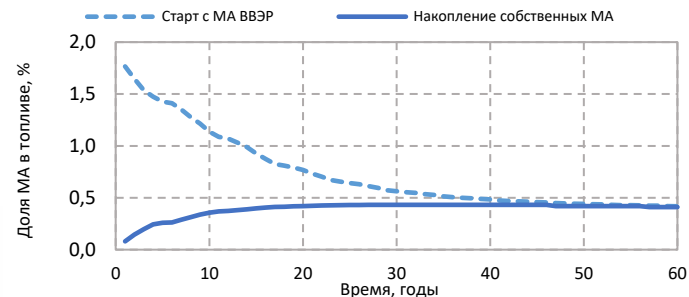
Топливо для трансмутации МА в энергетических РБН

Сочетание коммерческой энергетической функции РБН и трансмутации МА

- ✓ №р выжигается совместно с топливом
- ✓ Выжигание Am: гомогенное и / или гетерогенное
- ✓ Реакторная трансмутация Cm не рассматривается

Топливо с Am для трансмутации в РБН:

- ❑ СНУП (0,5-1,0%), гетерогенный СНУП (до 10%)
- ❑ МОКС (табл., 2-3%), гетерогенный МОКС (вибро, 10%)
- ❑ Гетерогенный UOX (до 20%)
- ❑ Инертные матрицы (до 20%)



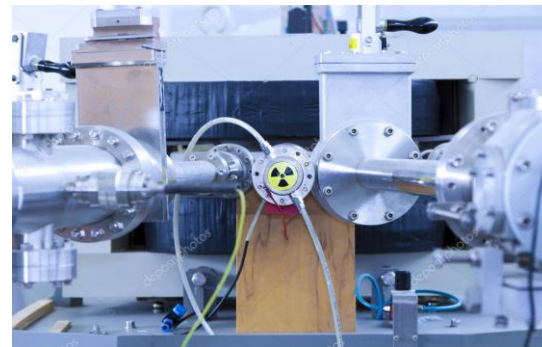
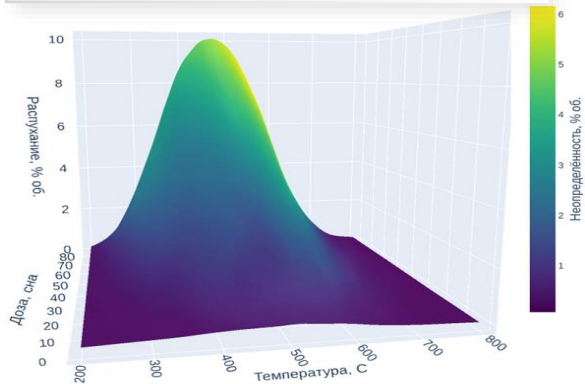
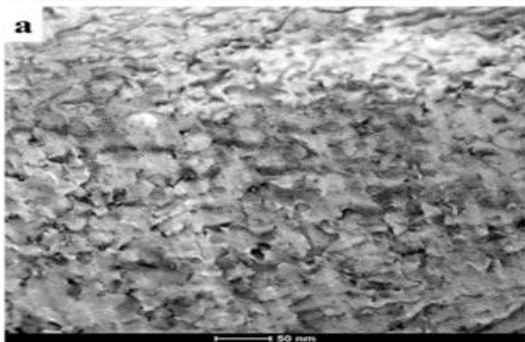
Коммерческие быстрые реакторы способны решить проблему МА ЯЭ РФ

Конструкционные материалы

- ✓ Радиационно-стойкие не набухающие ФМ стали
- ✓ ДУО-стали
- ✓ Дозы – до 160-200 сна

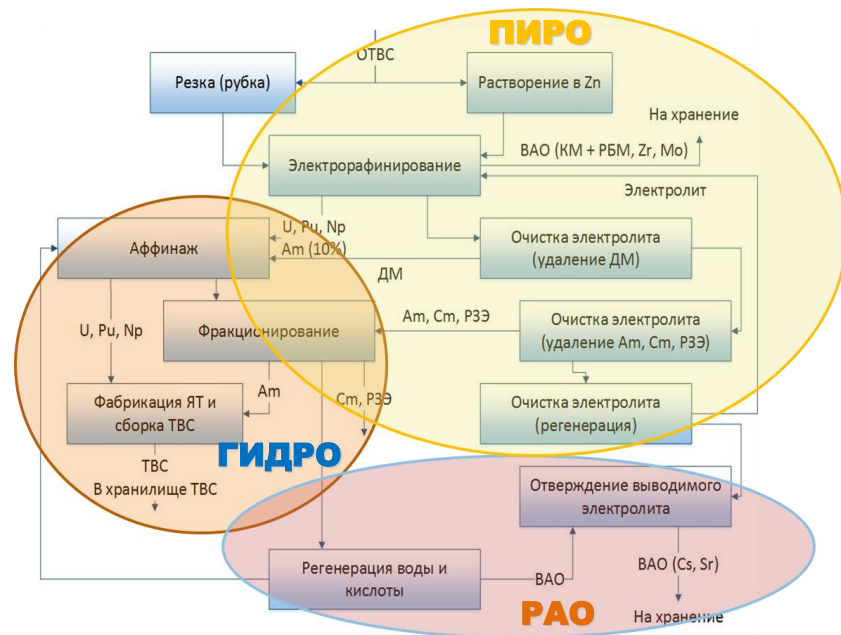
Развитие цифровых инструментов материаловедения и баз данных

Ускоренные испытания с использованием ионных ускорителей



Задачи при переработке ОЯТ РБН

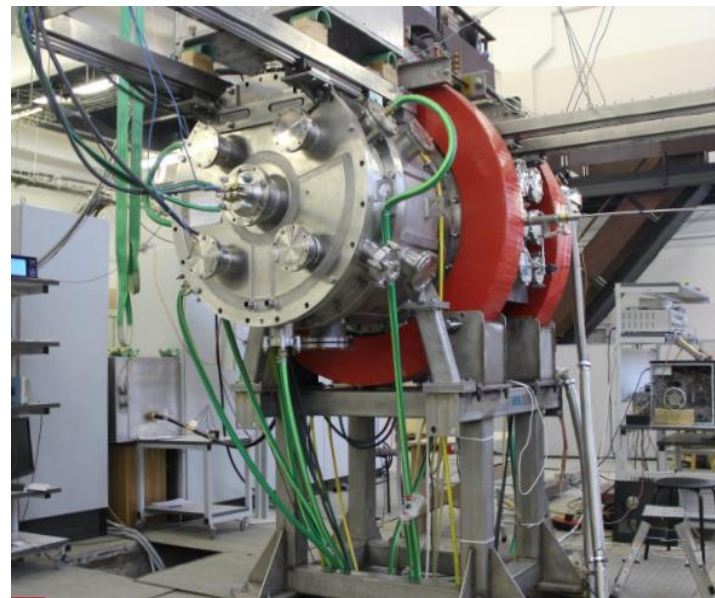
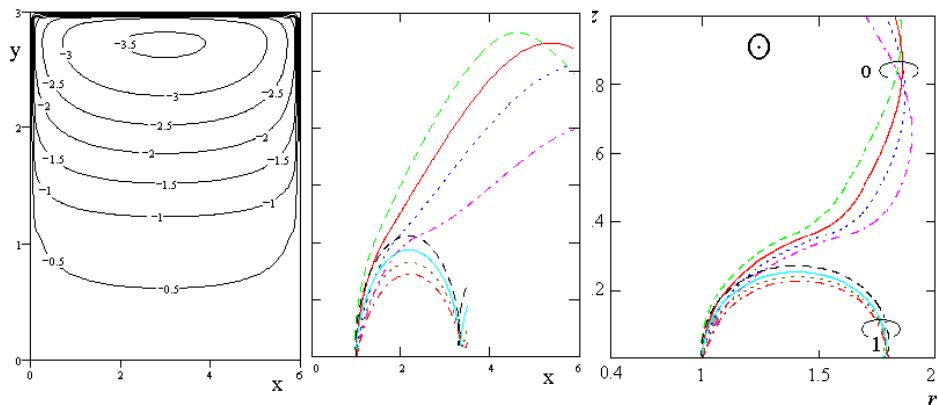
- ✓ Переработка ОЯТ с малым временем выдержки – высокой активностью
- ✓ Устойчивость к нераспространению – отсутствие разделения U-Pu-Np
- ✓ Малые технологические не рециклируемые потери актинидов в РАО $\leq 0,1 \%$
- ✓ Надежная утилизация и изоляция ^{14}C
- ✓ Фракционирование РАО
- ✓ Разделение Am и Cm



Комбинированная радиохимическая технология переработки ОЯТ РБН

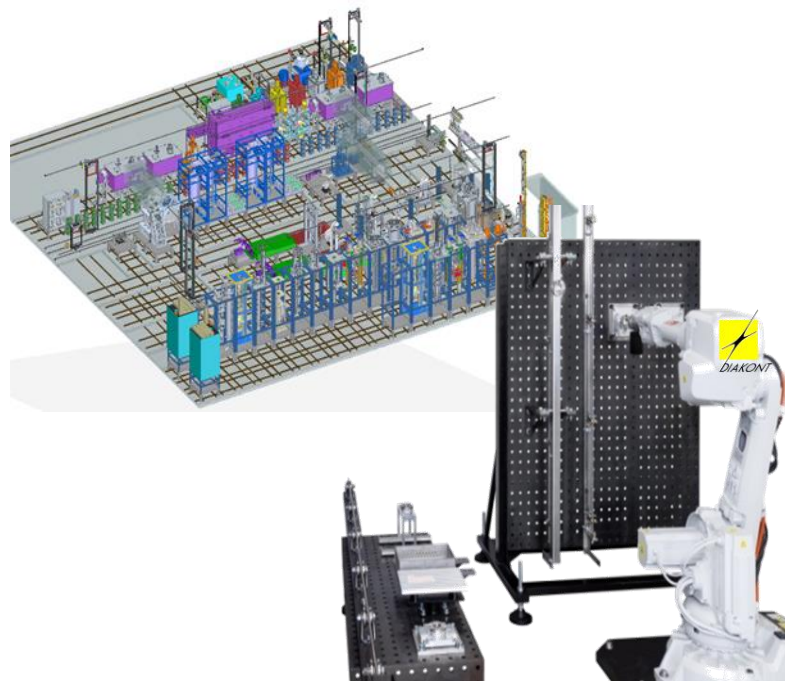
Основная задача

Физическая сепарация актинидов и осколков деления – технологическая поддержка режима нераспространения на фундаментальном уровне



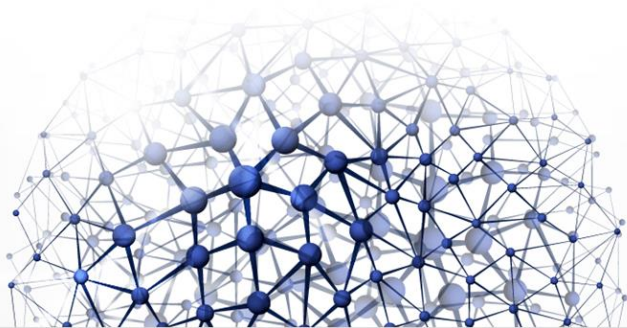
Основные задачи роботизации

1. Автоматизированные безлюдные производства условиях:
 - значительных радиационных нагрузок от ОЯТ и рефабрицируемого ЯТ
 - сухой инертной атмосферы и возможной высокой запыленности
2. Обеспечение **компактности** производства.
3. Возможность **перенастройки производств** на новых перспективных видов продукции
4. **Увеличение срока эксплуатации** производства до 100 лет



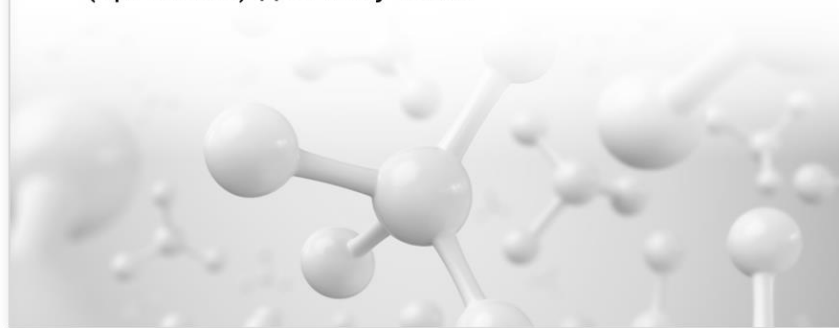
Радиационная эквивалентность

Выравнивание потенциальной биологической опасности РАО и природного уранового сырья за счет замыкания топливного цикла с трансмутацией минорных актинидов



Радиологическая эквивалентность

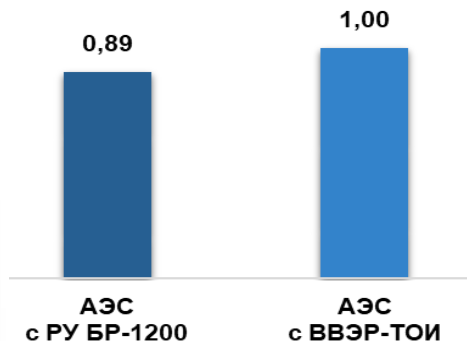
Выравнивание пожизненных радиационно обусловленных рисков потенциальной индукции онкологических заболеваний РАО и природного уранового сырья с учетом динамики эквивалентных (органных) доз облучения



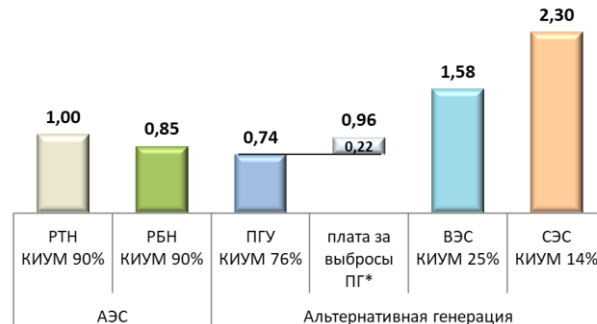
Основные задачи

- ✓ Выработка критериев конкурентоспособности ПЭК
- ✓ Выявление основных факторов, влияющих на стоимость АЭС
- ✓ Прогноз конкурентоспособности АЭС с РБН и ВВЭР (1 этап)
- ✓ Прогноз конкурентоспособности с альтернативными источниками энергии

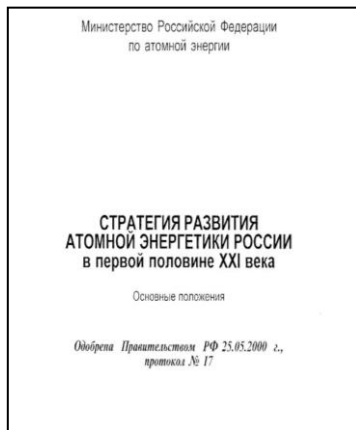
Удельная стоимость сооружения АЭС, отн. ед.



LCOE энерготехнологий (ставка дисконтирования 5%), отн. ед.



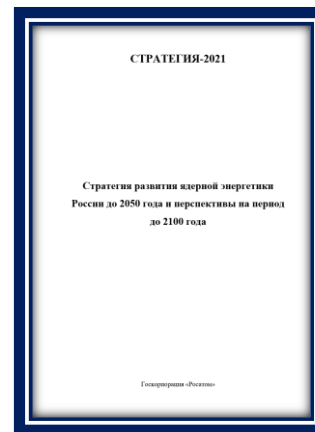
Системные и концептуальные исследования



«Будущее ядерной отрасли России, ее устойчивое развитие связано с формированием двухкомпонентной ядерной энергетики и переходом к замкнутому топливному циклу»

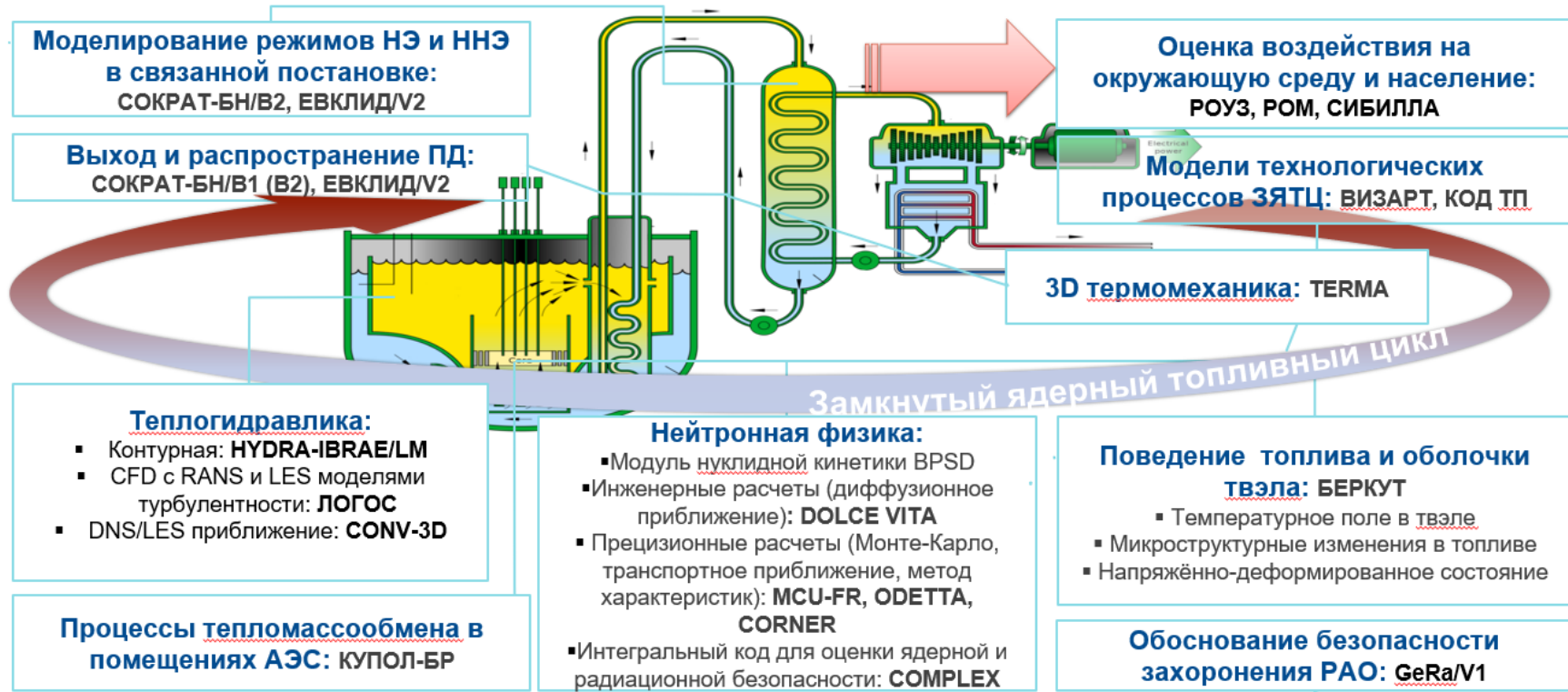


«Будущее ядерной отрасли России, ее устойчивое развитие связано с формированием двухкомпонентной ядерной энергетики и переходом к замкнутому топливному циклу»



«Стратегическими целями Госкорпорации «Росатом» в части обращения с ОЯТ является сокращение объемов ОЯТ за счет экономически и экологически оправданной переработки и реализация возможности возвращения продуктов переработки в ядерный топливный цикл.»

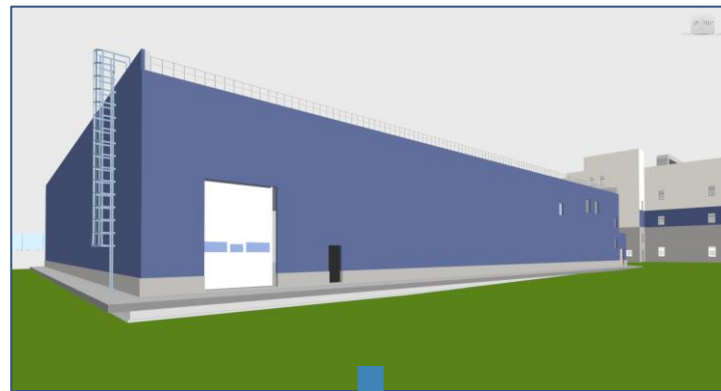
Система кодов нового поколения



Разработка и создание объектов с использованием цифровых двойников



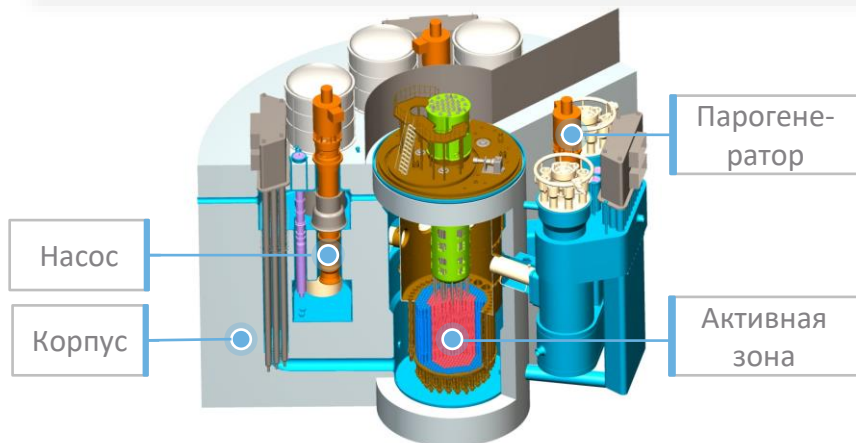
Модель



Объект

Разработка быстрых реакторов: БРЕСТ-ОД-300

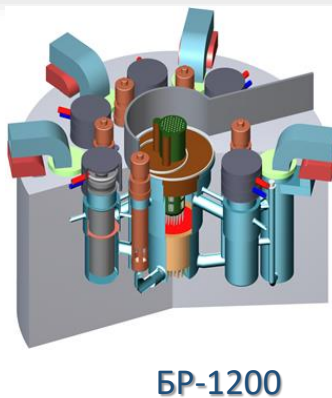
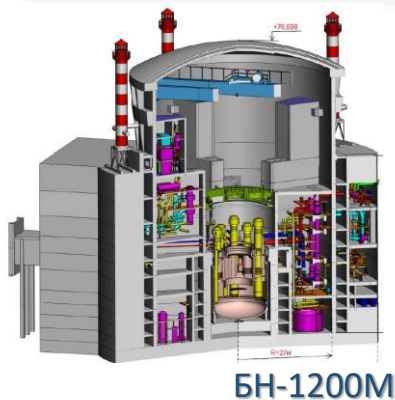
- 01 Двухконтурная реакторная установка
- 02 «Естественная безопасность»
- 03 Отсутствие оружейного Pu (бланкета)



- ✓ ПЯТЦ: Полный цикл топлива на одной площадке
- ✓ Промышленное освоение (U-Pu)N топлива
- ✓ Переработка ОЯТ с малой выдержкой, демонстрация короткого ЯТЦ (2-3 года)

Коммерциализация технологии РБН и ЗЯТЦ

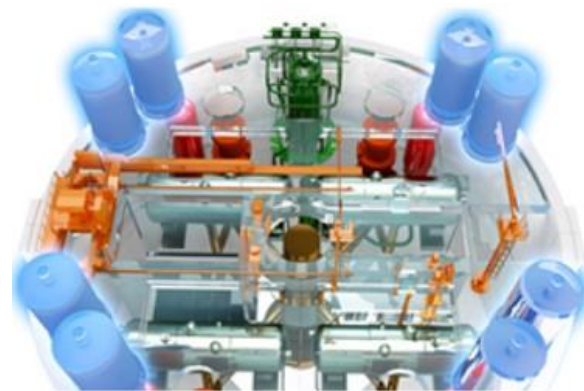
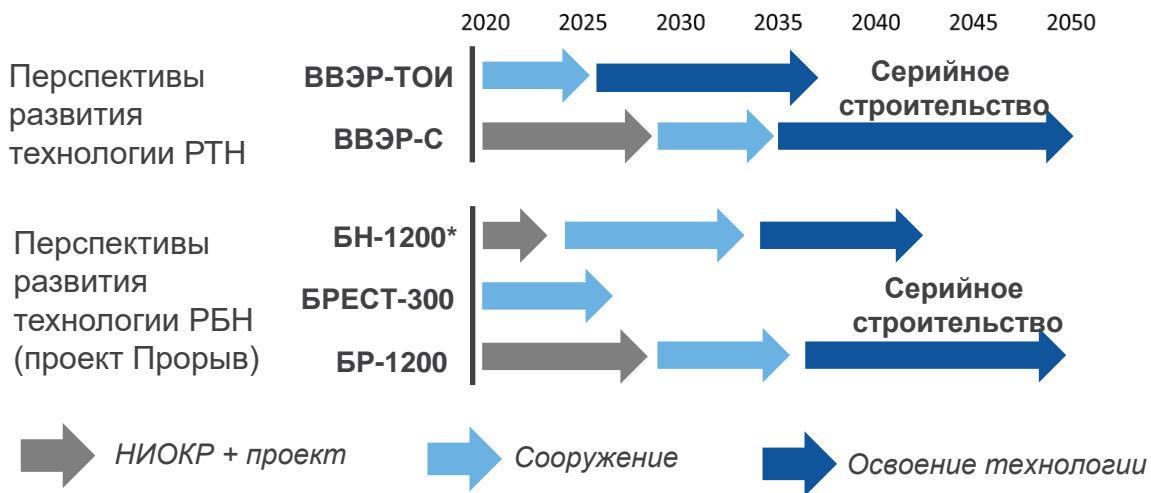
- ✓ Универсальность по типу топлива: МОКС, СМУП
- ✓ Всеядность Р_и из ОЯТ: РБН, РТН, МОКС РТН
- ✓ Сжигание МА РБН и МА от ВВЭР
- ✓ Вариация КВ от $\sim 1,05$ до $\sim 1,35$



- 01 Конкуренетоспособность с реакторами ВВЭР
- 02 «Естественная безопасность»
- 03 Возможность отказа от бланкетов (при экспорте)

Ожидаемые сроки освоения технологий

Формирование двухкомпонентной системы ЯЭ с ЗЯТЦ в обеспечение устойчивого развития



* При подтверждении экономической эффективности ввод возможен до 2030 г.

Спасибо за внимание !

Хомяков Юрий Сергеевич

Начальник отдела науки АО «Прорыв»,
доктор физ.-мат. наук

Моб. тел.: +7 (926) 371 05 51

E-mail: hus@proryv2020.ru

www.proryv2020.ru

Ноябрь 2022 г.