



ПРОРЫВ  
РОСАТОМ

# Быстрые реакторы нового поколения и их роль в замыкании ЯТЦ

**Хомяков Ю. С.**

АО «Прорыв»

Круглый стол «АЭС с реакторами на быстрых нейтронах: вчера, сегодня, завтра (ретроспектива и перспективы)», Обнинск, 25 июня 2021 г.

# Рождение идеи расширенного воспроизводства



Реактор БР-1 :  $KB = 2.5 \pm 0.2$

без учета  $U^{238}(n,f)$  :  $KB = 2.0 \pm 0.2$

Лейпунский А.И.



Бондаренко И.И.





Фейнберг С.М.

Б. Гейтс



## What is an “improved” nuclear system?

---

- Ideally, it is a global nuclear infrastructure that:
  - Meets global energy needs indefinitely
  - Avoids global warming
  - Creates virtually no risk of weapons proliferation
  - Makes nuclear waste disposal easier
  - Meets the highest accident safety standards
  - Minimizes the environmental footprint of the overall nuclear infrastructure
  - Competes favorably with clean coal power generation systems
    - Ideally, without a carbon tax
    - Alternatively, with a carbon tax to level the environmental playing field
- How close we can come?

---

Confidential and Proprietary  
No reproduction or distribution without express  
written permission of TerraPower, LLC



«A sodium-cooled reactor utilizing metal uranium fuel was found to offer the most promise»

# Основные цели РБН и ЗЯТЦ



01 Конкурентоспособность

02 Безопасность

03 Нераспространение

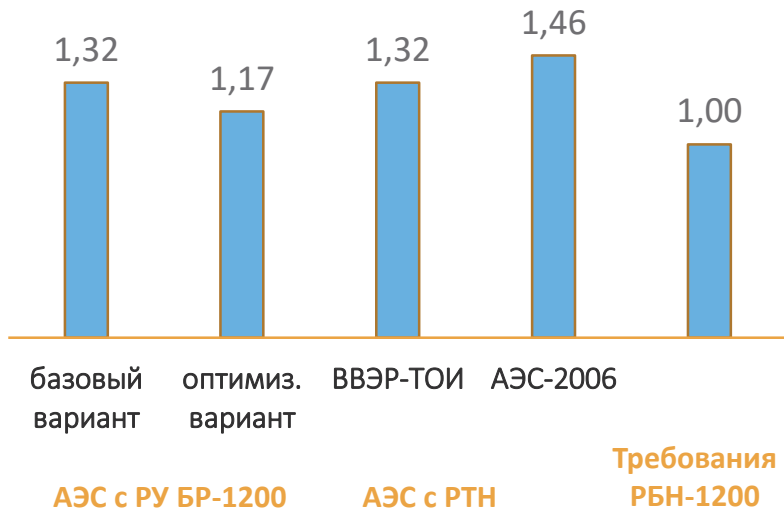
01 Решение «отложенных» проблем с ОЯТ

02 Фракционирование и трансмутация РАО

03 Расширение топливной базы

## Реакторы на быстрых нейтронах – системообразующее звено масштабной ЯЭ и ЗЯТЦ

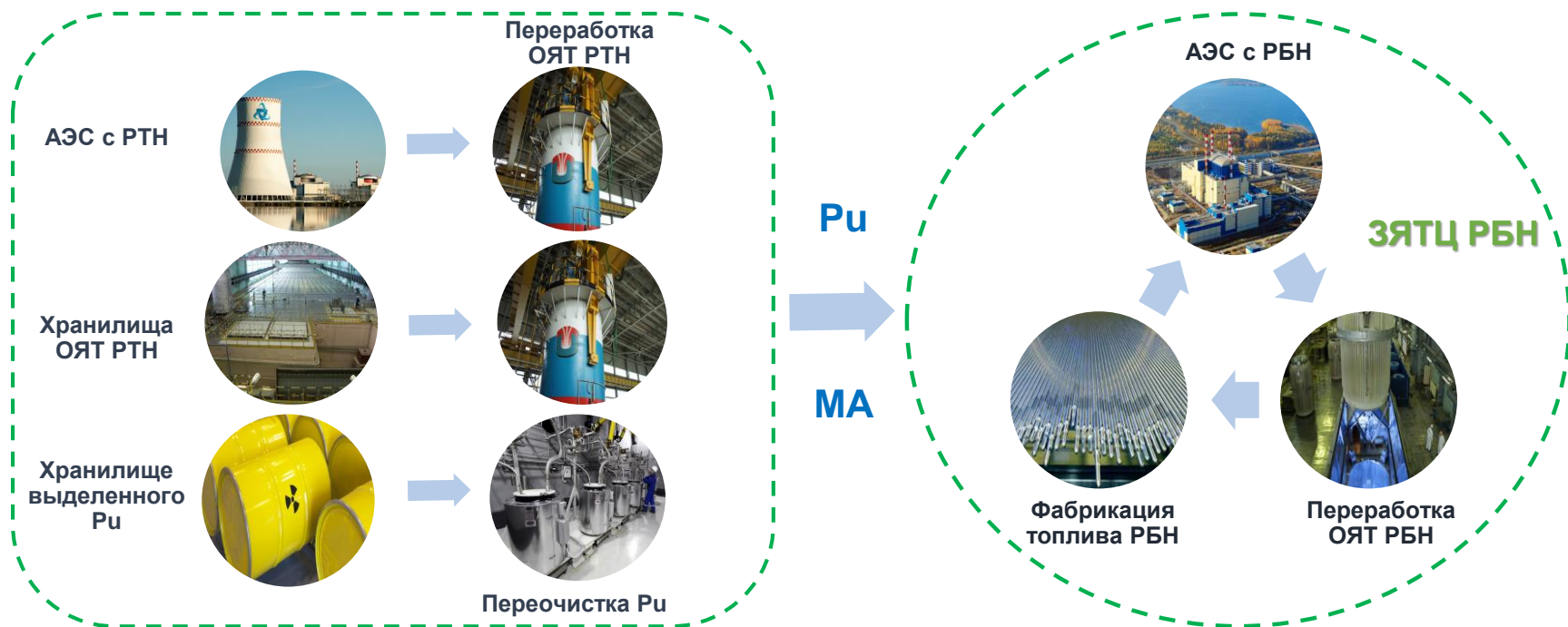
# Конкурентоспособность РБН и РТН



Уст. мощность энергоблока (брутто), МВт	
АЭС с РУ БР-1200, базовый вариант	1 200
АЭС с РУ БР-1200, оптимизированный вариант	1 260
Типовой график ВВЭР-ТОИ	1 255
Типовой график АЭС-2006	1 197
Требования конкурентоспособности АЭС с РБН-1200	1 220

*Конкурентоспособность РБН и РТН – ключевая развилка при формировании ЯЭ и ЗЯТЦ*

# Ликвидация ОЯТ и РАО – приоритет ЗЯТЦ с РБН



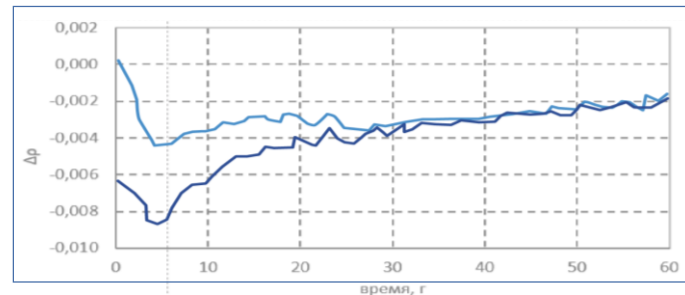
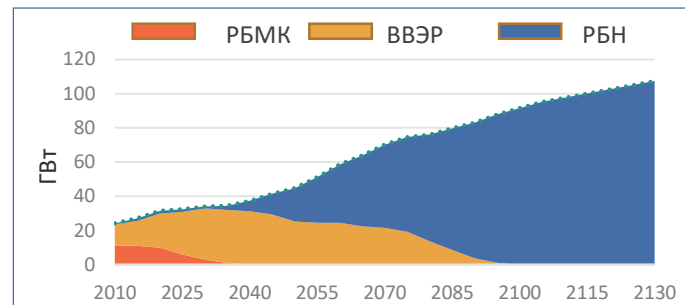
# Решение проблемы накопления ОЯТ и РАО в РФ



## Сценарий «оптимального» перехода к ЗЯТЦ :

- ✓ Полный переход к ЯЭ на РБН к концу XXI века
- ✓ Полная ликвидация накопленного ОЯТ и утилизация запасов Pu в РБН
- ✓ Полное вовлечение МА (от ВВЭР и РБН) в ЗЯТЦ РБН и исключение их накопления в РАО
- ✓ Возможность удовлетворения топливных потребностей без бланкетов и форсирования КВ
- ✓ Воспроизводство топлива сосредоточено в активной зоне и одновременно решает проблему безопасности РБН
- ✓ Трансмутация МА также способствует безопасности

## Сценарий Стратегии ЯЭ РФ



## Важное условие «оптимального» сценария: конкурентоспособность РБН с РТН

# Миссия БН-800 - отработка технологий ЗЯТЦ

01 Вовлечение Pu из ОЯТ ВВЭР, перевод на МОКС топливо – замыкание по Pu ВВЭР

02 Переработка ОЯТ РБН и многократный рецикл МОКС топлива - замыкание по U и Pu в РБН

03 Фракционирование и трансмутация МА - переход к радиационно-эквивалентному обращению с РАО



Централизованный ЗЯТЦ : Белоярская АЭС – завод МОКС (ГХК) – переработка (Маяк)

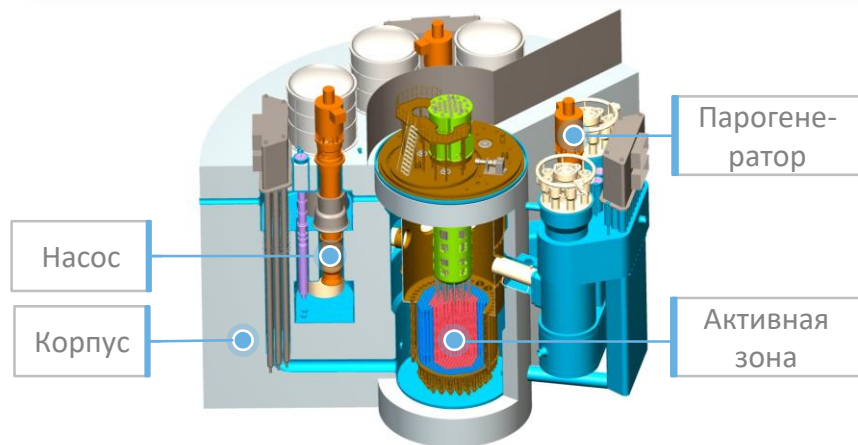


# БРЕСТ-ОД-300 с Pb теплоносителем и ПЯТЦ

«Естественная безопасность»

Двухконтурная реакторная установка

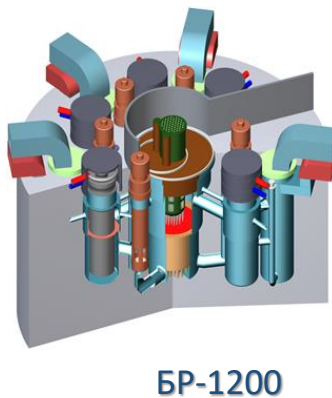
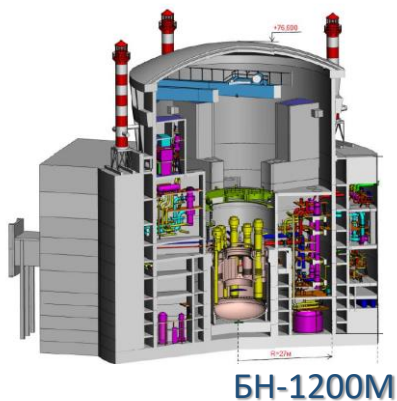
Отсутствие оружейного Pu (бланкета)



- ✓ 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 Pu 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)

Промышленный энергокомплекс - интегрированное решение по РБН и ЗЯТЦ

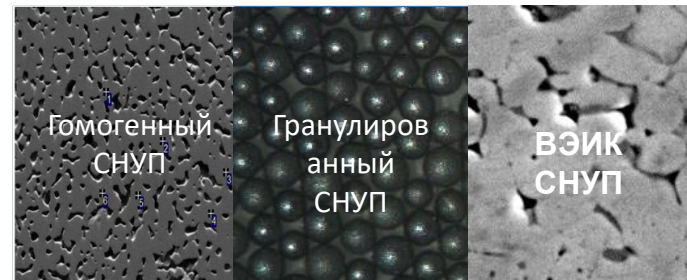
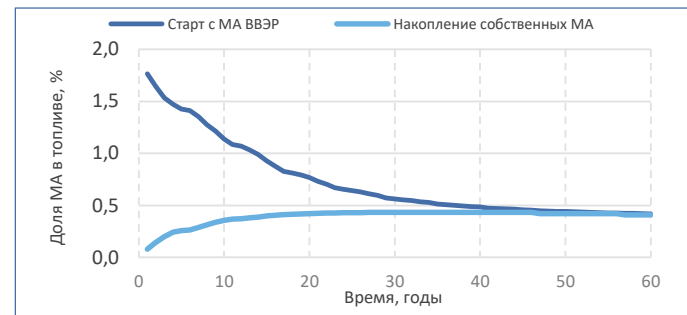
# Трансмутация МА в энергетических РБН

## Сочетание коммерческой энергетической функции РБН и трансмутации МА

- ✓  $Np$  выжигается совместно с топливом
- ✓ Выжигание  $Am$ : гомогенное и / или гетерогенное
- ✓ Реакторная трансмутация  $Cm$  не рассматривается

## Топливо с $Am$ для трансмутации в РБН (НИОКР):

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



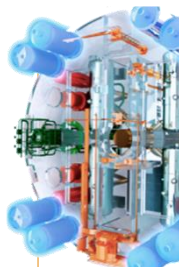
Для утилизации МА не требуются специализированные реакторы - выжигатели

# Пути улучшения технологии реакторов ВВЭР

## Эволюционно-инновационный



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



Спектральное регулирование реактивности (отказ от борного регулирования)

## Инновационно-революционный



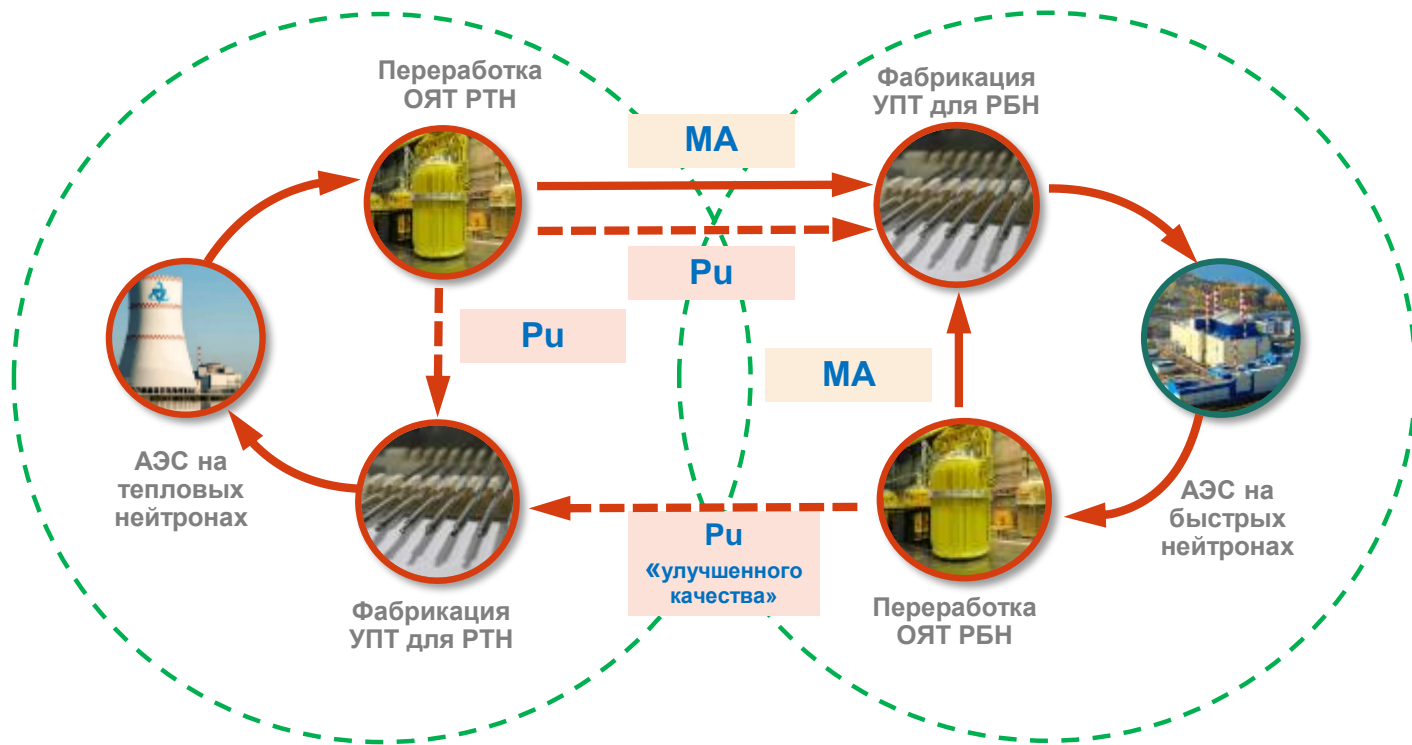
Повышение КПД – снижение тепловых выбросов в атмосферу (до 45% при СКД)



Сокращение потребления природного урана до 130 т/ГВт(э)·год

Повышение КВ до 0,7-0,8 (до ~1 при СКД)

# Альтернативные концепции ЗЯТЦ с РБН



# Альтернативные опции РБН в ЯТЦ

01 Трансмутация МА от ВВЭР и/или зарубежных реакторов при рецикле в них Pu (РБН как реактор - выжигатель)

02 Расширенное воспроизводство Pu для обеспечения топливом реакторов ВВЭР (РБН как бридер)

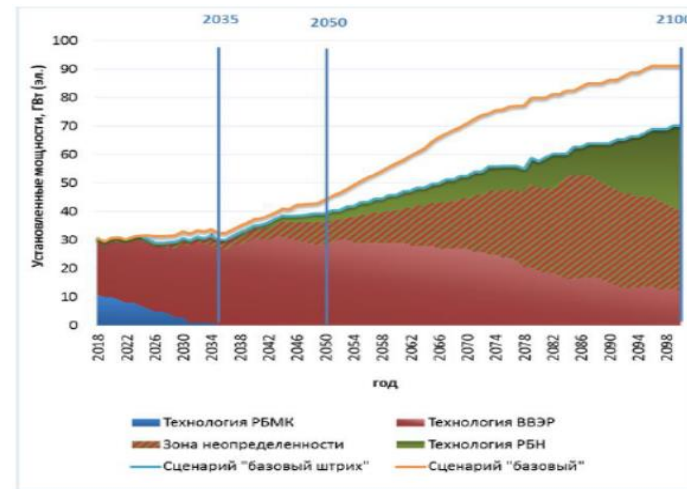
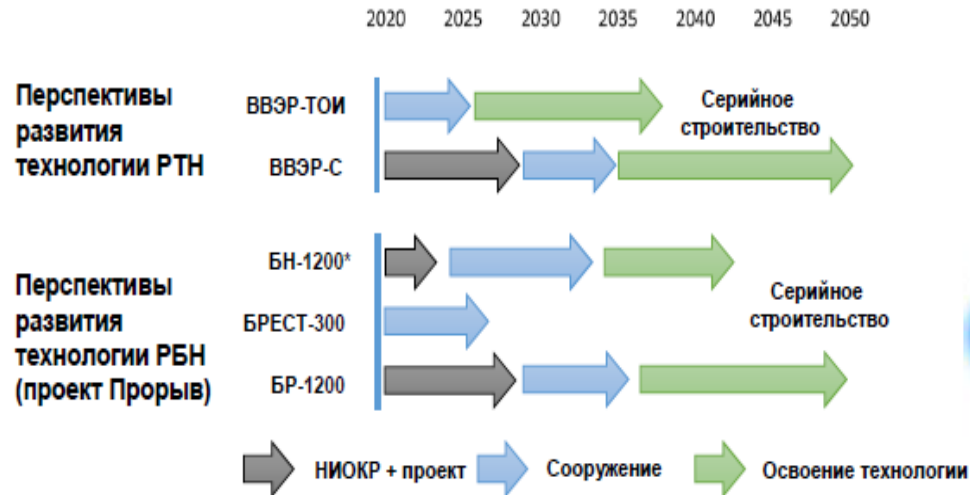
03 «Улучшение» изотопного состава МОКС топлива реакторов ВВЭР и/или зарубежных реакторов

✓ Существующие разработки РБН могут служить базой для таких опций (в случае необходимости)



*Опции ориентированы в первую очередь на зарубежных заказчиков*

# Двухкомпонентная ядерная энергетика РФ



Успешное прохождение технологических развилок будет определять облик будущей ЯЭ РФ

# Заключение



ЯЭ с РБН должна занять достойное место в безуглеродном мировом энергетическом балансе



РБН играют системообразующую роль в формировании ЗЯТЦ



Ключевые задачи РБН в ЗЯТЦ на настоящий момент связаны с решением «отложенных» проблем по накоплению ОЯТ и РАО



В РФ намечено освоение и демонстрация ЗЯТЦ с РБН на опытно-демонстрационном (ОДЭК) и промышленном (ПЭК) уровнях на рубеже 30-40 гг





# Спасибо за внимание

**Хомяков Юрий Сергеевич**  
Начальник отдела науки АО «Прорыв»

E-mail: [hus@proryv2020.ru](mailto:hus@proryv2020.ru)  
[www.proryv2020.ru](http://www.proryv2020.ru)

25.06.2021