

# **Перспективы развития и внедрения замкнутого ядерного топливного цикла**

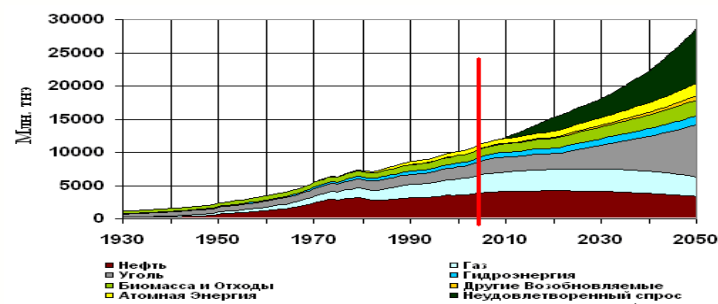
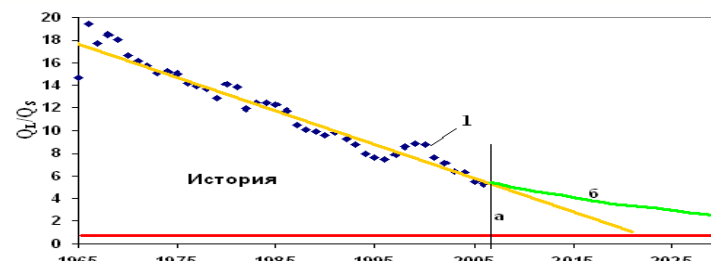
**Пономарев-Степной Н.Н., ОАО «Концерн Росэнергоатом»;  
Зродников А.В., Колтун О.В., ОАО «ВНИИАЭС»**

*Пленарное заседание  
21 мая 2014г. г. Москва*

# Энергетические вызовы 21 века

- Растет глобальное потребление энергии из-за роста населения и повышения уровня жизни;
- Опережающими темпами растет спрос на энергию развивающимися странами;
- Нарастает дефицит ресурса органического топлива и как следствие — рост цен на топливо;
- Растут экологически опасные выбросы углеродной энергетики.

**Необходимо - наращивать использование энергоресурсов всех типов при опережающем росте возобновляемых источников и атомной энергии.**



**Уникальное свойство атомной энергии  
– воспроизводить ядерное топливо –  
является ключевым в оценках  
перспективы ее использования.**



# Атомная энергетика в энергетической стратегии России

---

## *Цели развития атомной энергетики:*

- улучшение топливного баланса страны,
- повышение доли высокотехнологичных и наукоемких продуктов в ВВП и экспорте,
- радикальное решение проблемы выбросов парниковых газов.

## *Для достижения этих целей планируется:*

- активное наращивание доли атомной электроэнергетики в стране,
- формирование лидирующей позиции российского энергопромышленного комплекса в структуре глобальной ядерной энергетики и её топливного цикла
- внедрение атомной энергии в перспективе в энергоемкие промышленные технологии.

# Требования к атомной энергетике и ее топливному циклу

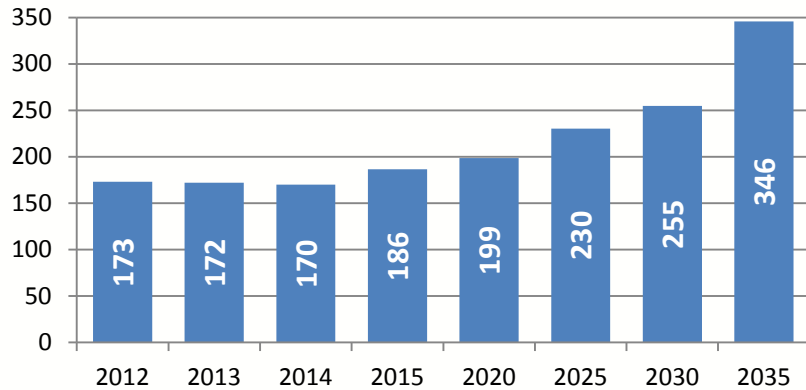
---

- 1. Гарантированная безопасность**
- 2. Экономическая эффективность и конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках**
- 3. Отсутствие ограничений по сырьевой базе на исторически значимый период времени**  
– повышение эффективности использования природного урана
- 4. Обращение с ОЯТ и РАО**  
– снижение накопления ОЯТ, переработка ОЯТ, рецикл плутония, безопасная изоляция РАО

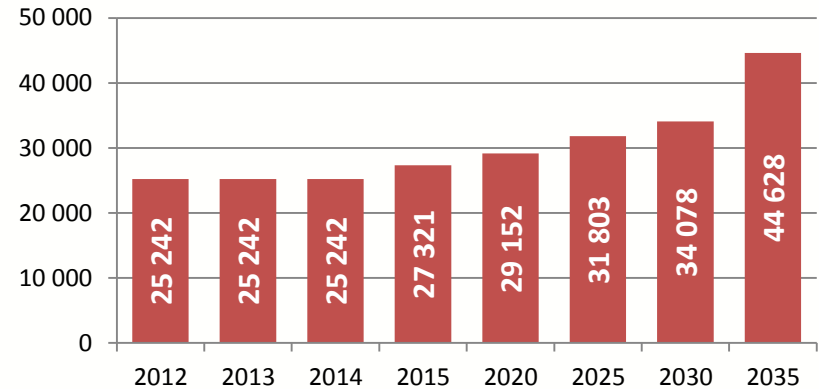


# Основные показатели развития атомной энергетики

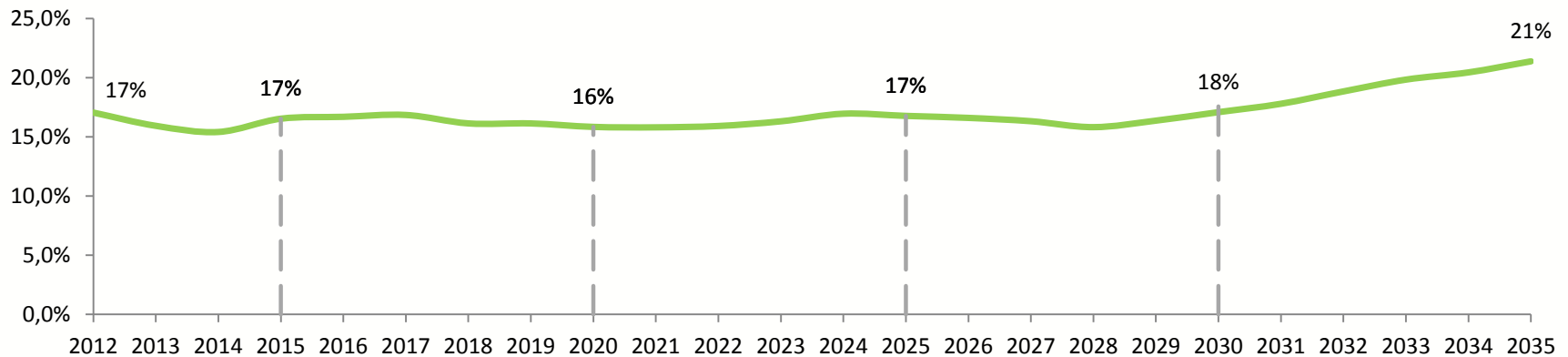
## Выработка, млрд. кВтч



## Установленная мощность, МВт



## Доля выработки АЭС в энергобалансе Российской Федерации



# Системные проблемы нынешней ядерной энергетики

---

**Ближнесрочная проблема –  
накопление отходов.**

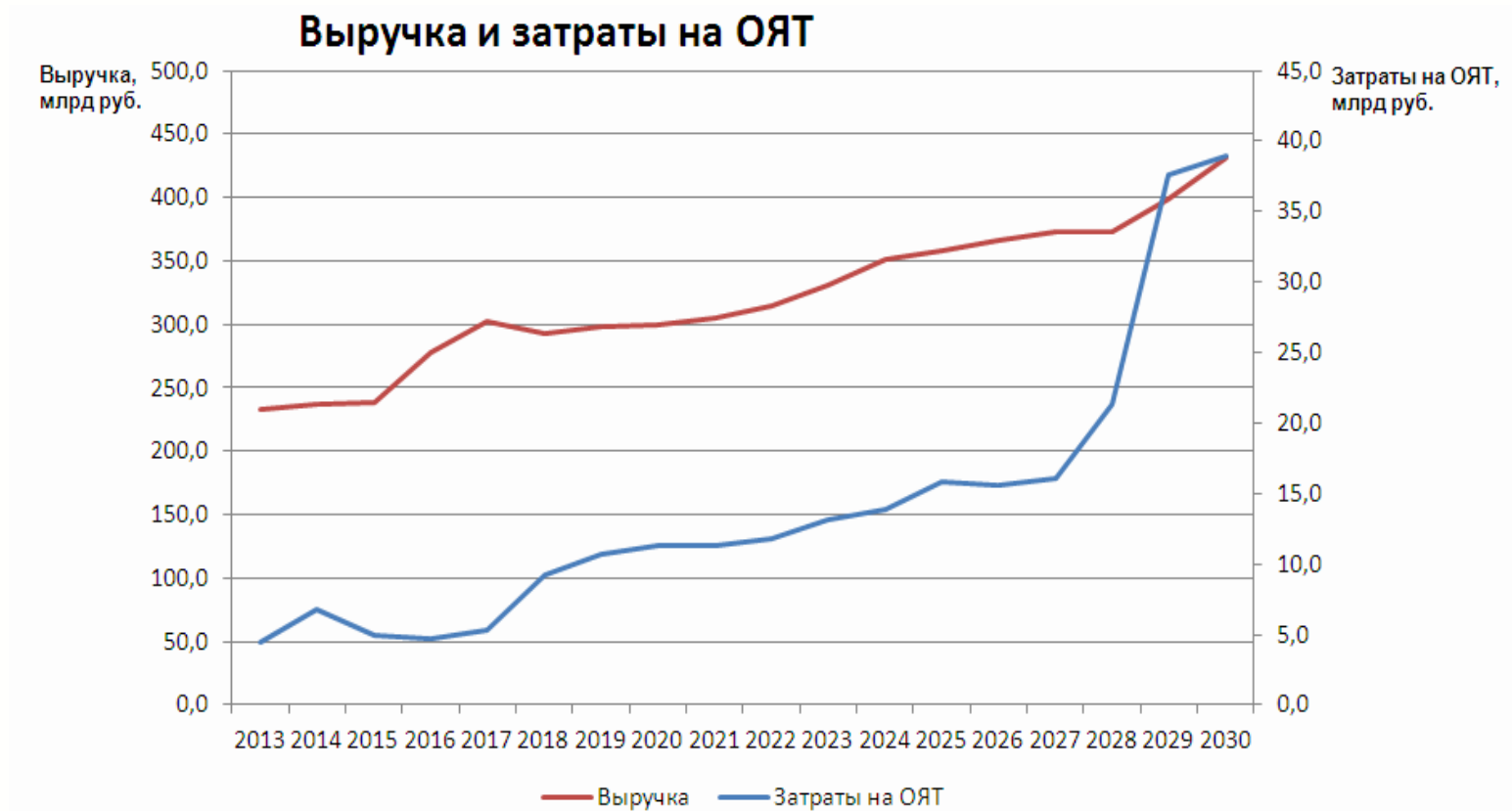
Непрерывно возрастающее количество  
ОЯТ и РАО

**Дальнесрочная проблема –  
ограниченность топливной базы.**

Низкая эффективность полезного  
использования добываемого природного  
урана – менее 1%



# Динамика роста выручки от продажи электроэнергии и затрат на обращение с ОЯТ



**Суммарные затраты на обращение с ОЯТ составят:**

- в период по 2020 год: 61,7 млрд руб.
- в период с 2021 по 2030 годы: 195,5 млрд руб.





# Ядерные энерготехнологии нового поколения

---

Ускоренное и устойчивое развитие конкурентоспособной ядерной энергетики определяет требования к структуре ядерно-энергетической системы и к отдельным её элементам и ставит задачи разработки новых энерготехнологий

# Стратегическое развитие Энергетического Дивизиона

---

**Цель стратегического развития энергодивизиона  
Росатома — обеспечение конкурентоспособности  
на внутреннем и внешнем рынках  
путем  
формирования новой технологической  
платформы ядерной энергетики, основанной на  
ЯЭС с реакторами ВВЭР и БН , работающими в  
замкнутом ядерном топливном цикле**



# Линейка развития технологии ВВЭР

---

1. Действующие энергоблоки: ВВЭР-440, ВВЭР-1000
2. Строящиеся энергоблоки: ВВЭР-1000, ВВЭР-1200 (проект АЭС-2006), ввод в период с 2014 года
3. Строящиеся энергоблоки: проект ВВЭР-ТОИ конкурентоспособен в сравнении с мировыми аналогами, предусматривает работу в маневренном режиме и возможность использования МОКС - топлива, ввод с 2020 г.
4. Проектируемые энергоблоки средней мощности: ВВЭР-600 и ВБЭР-600 (экономически эффективны при мощности более 500 МВт), ввод в России референтного блока возможен в период до 2025 гг.
5. Следующее поколение легководных реакторов (Супер - ВВЭР), сооружение после 2030 г.

# Развитие технологий быстрых натриевых реакторов

---

*Почему Концерн Росэнергоатом для обеспечения конкурентоспособности (за счет сокращения затрат на обращение с ОЯТ) рассматривает технологию натриевых реакторов как приоритетную?*

- 1. В ближайшей и среднесрочной перспективе отсутствует альтернатива внедрению в замкнутый ЯТЦ иной реакторной технологии, кроме технологии быстрых натриевых реакторов, обладающей необходимыми обоснованностью, технико-экономическими характеристиками, референтностью и опытом эксплуатации.**
- 2. Так как в замкнутом ЯТЦ эта технология предусматривает утилизацию в БН-реакторах плутония от переработки ОЯТ ВВЭР при том, что ВВЭР и БН используют МОКС-топливо.**
- 3. Имеется возможность замещения сооружения энергоблоков с ВВЭР в инвестиционной программе Госкорпорации «Росатом» на энергоблоки с БН-1200 при условии превышения затрат на их сооружение и эксплуатационных затрат по сравнению с технологией ВВЭР не более, чем на 15%, что является реально достижимым**



# Научно - технический и проектный задел по БН

- Успешный полувековой опыт разработки и эксплуатации
- Сооружение БН-800 для освоения технологий замыкания ЯТЦ
- Возможность перехода к серийному сооружению - проект БН-1200

## Энергетические реакторы

Экспериментальные реакторы

БОР-60  
1969г

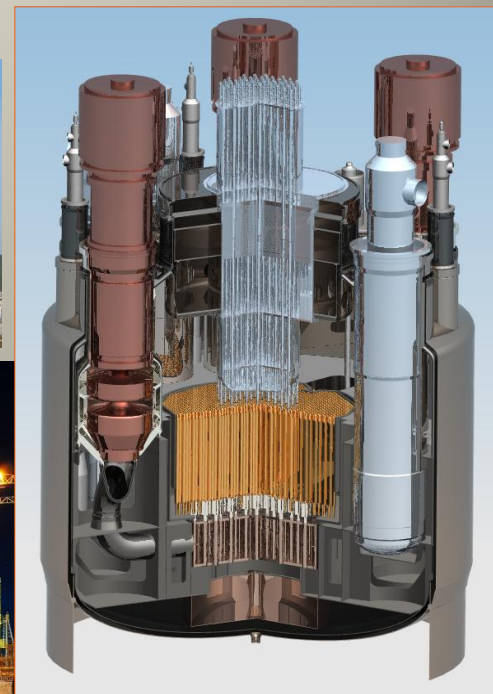
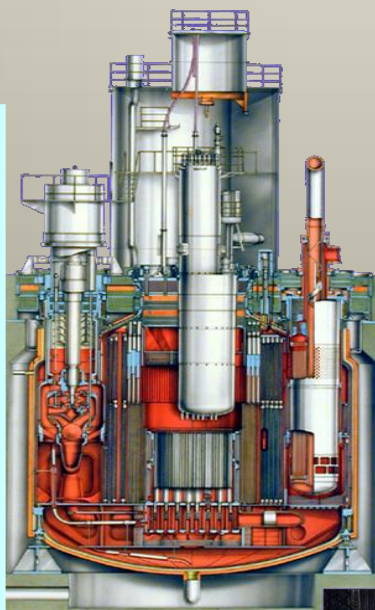
БР-5/10  
1959г

БН-350  
1973г

БН-600  
1980г

БН-800  
Пуск 2014

БН-1200  
Разработка



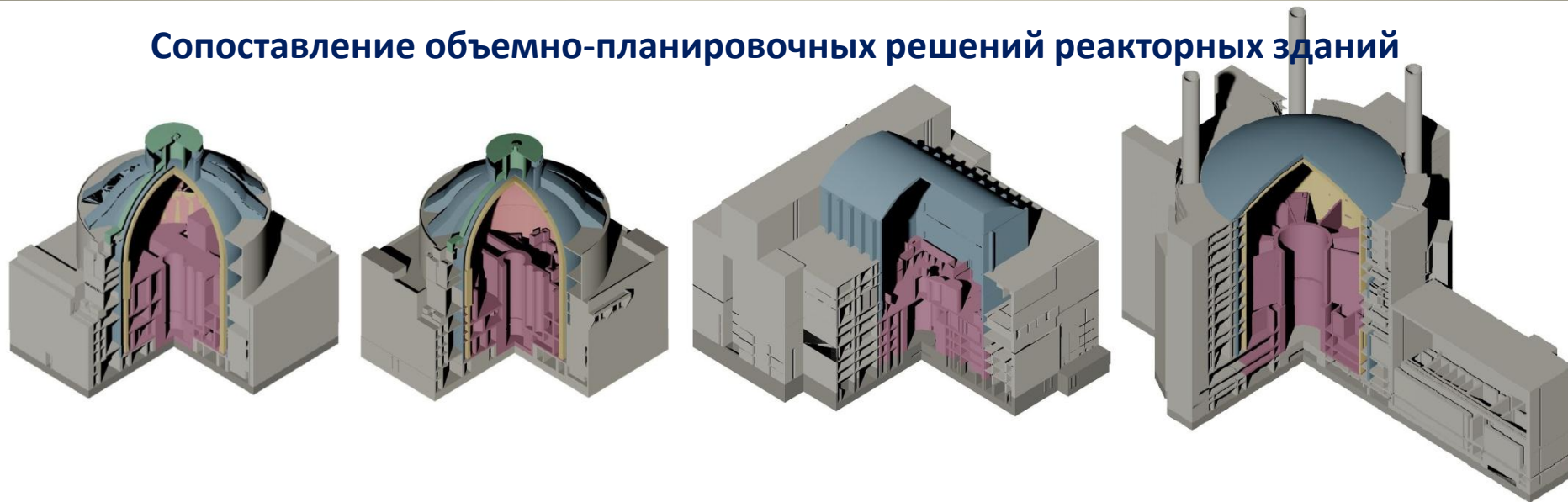
# Сопоставление основных составляющих капитальных затрат на сооружение АЭС\*)

В ценах на 01.01.2013 г. 1\$ = 31 руб

| Наименование показателя              | Единица измерения | НВАЭС-2<br>2 x 1088<br>МВт | ВВЭР-ТОИ<br>*<br>2 x 1175<br>МВт | БН-800<br>2 x 817<br>МВт | БН-1200<br>2 x 1135 МВт |                  |
|--------------------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------|
|                                      |                   |                            |                                  |                          | 2 первых блока          | Серийные блоки   |
| КАПИТАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ, Без НДС         | Млрд. руб         | 237,8                      | 239,3                            | 210,6                    | 254,9                   | 243,9            |
| СМР, в том числе:                    |                   | 76,9                       | 73,4                             | 75,8                     | 83,1                    | 83,1             |
| Оборудование                         | Млрд. руб         | 117,2                      | 123,6                            | 99,8                     | 127,1                   | 116,1/146,3      |
| Удельные капитальные вложения, нетто | \$/кВт            | <b>3 525</b>               | <b>3369</b>                      | <b>4158</b>              | <b>3622</b>             | <b>3465/3895</b> |

\*) данные ВНИИАЭС; в знаменателе показаны величины, полученные на основе консервативного подхода

## Сопоставление объемно-планировочных решений реакторных зданий



НВАЭС-2

ВВЭР-ТОИ

БН-800

БН-1200

# Ядерная энергетическая система с ВВЭР и БН в замкнутом ЯТЦ

## Базовый сценарий и состав системы на 1-м этапе (до 2035г.)

### □ Линейка БН

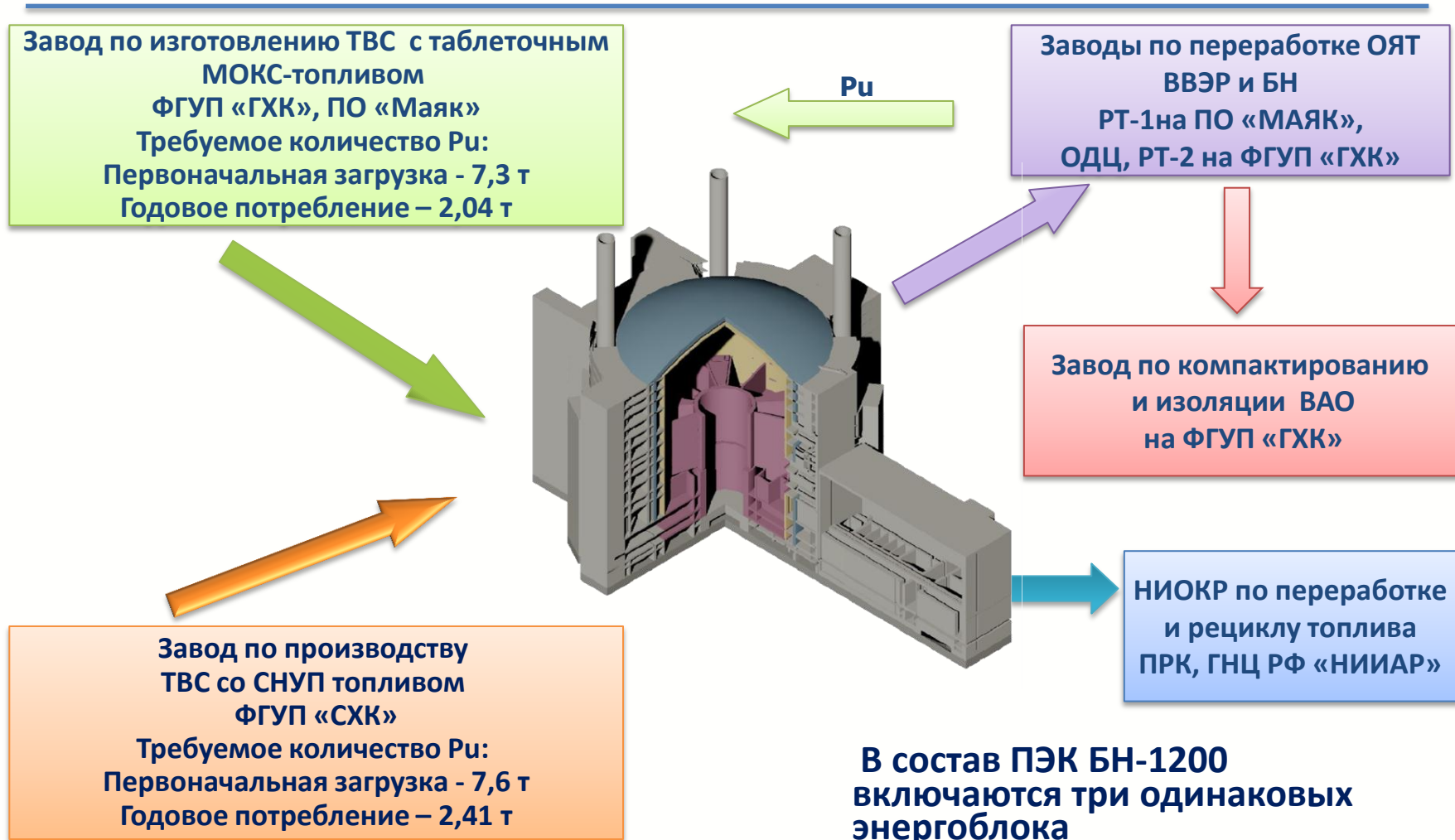
- **Опытно-промышленный комплекс: БН-800 с инфраструктурой ЯТЦ для отработки технологий замыкания ЯТЦ - начиная с 2016 года.**
- **Промышленный энергокомплекс (ПЭК БН-1200): э/б с реакторами БН-1200 и инфраструктурой замкнутого ЯТЦ – начиная 2025 года**

### □ Линейка ВВЭР

- **Сооружение ВВЭР в соответствии инвестиционной программой ГК «Росатом»; переработка ОЯТ ВВЭР для использования плутония в БН - с 2020г.**
- **ВВЭР с МОКС - топливом на основе плутония реакторов из ОЯТ БН – начиная с 2029 года.**



# ПЭК БН-1200. Схема материальных потоков

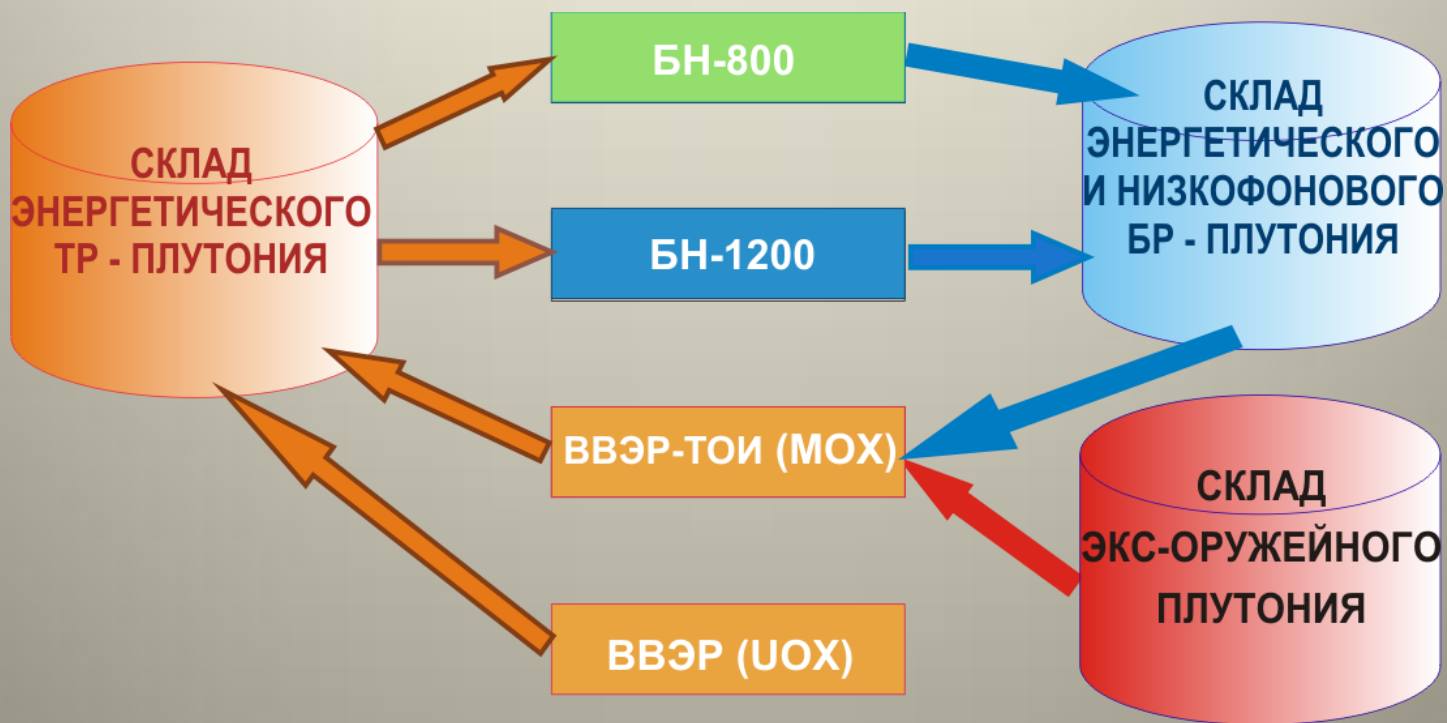


**В состав ПЭК БН-1200  
включаются три одинаковых  
энергблока**

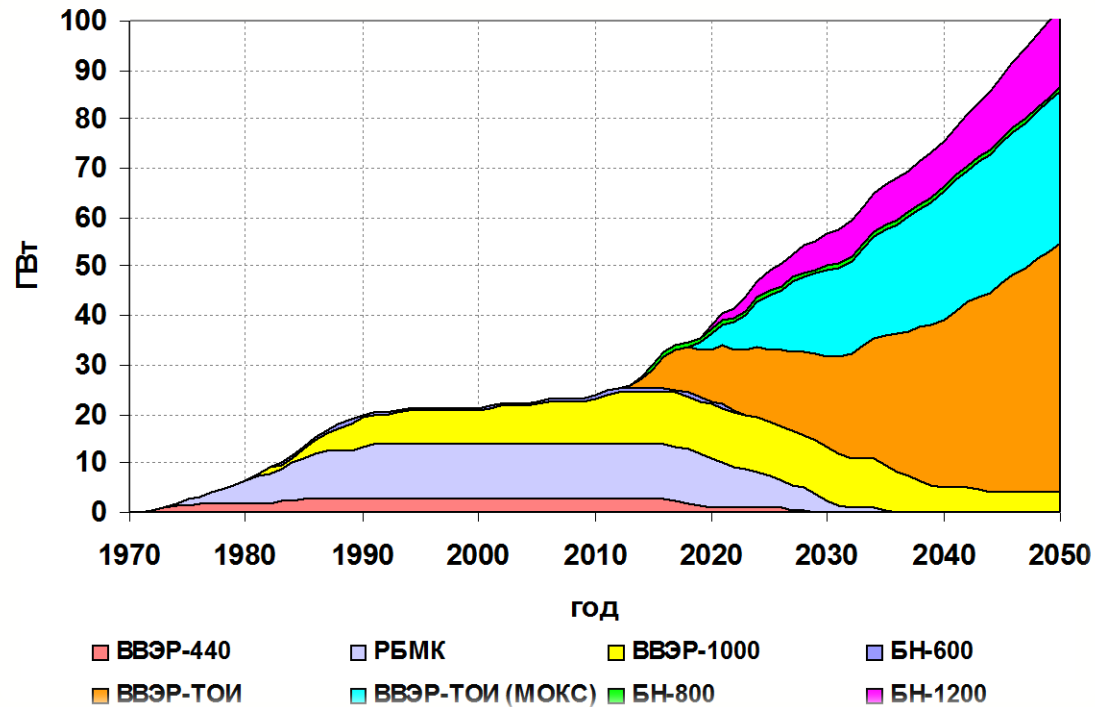


# Логистика работы со складами плутония

---



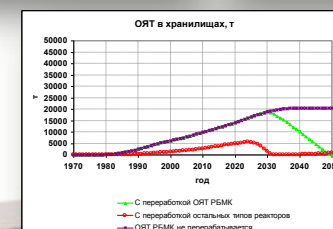
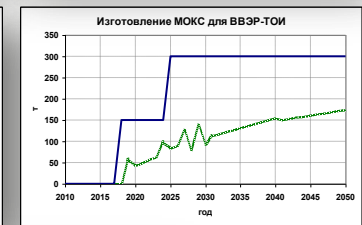
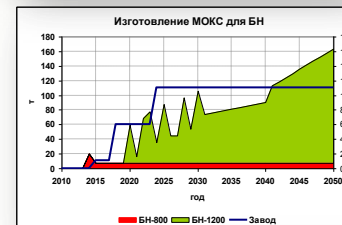
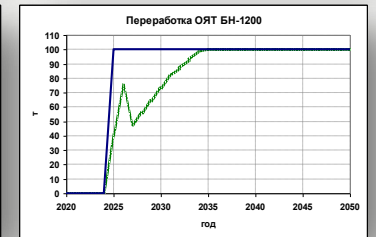
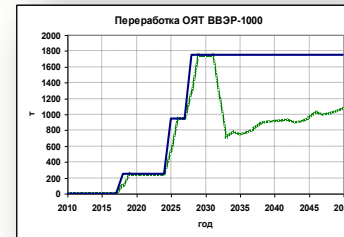
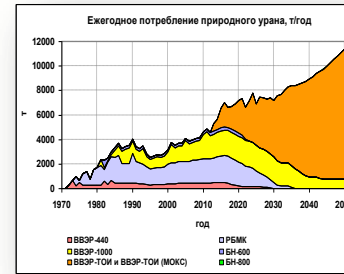
# Установленные мощности; базовый сценарий (1й этап) ЯЭС с ВВЭР и БН в замкнутом ЯТЦ.



| Реактор          | ВВЭР-440 | РБМК | ВВЭР-1000 | БН-600 | ВВЭР-ТОИ | ВВЭР-ТОИ (МОКС) | БН-800 | БН-1200 |
|------------------|----------|------|-----------|--------|----------|-----------------|--------|---------|
| Срок службы, лет | 45       | 45   | 50        | 40     | 60       | 60              | 45     | 60      |

# Материальные балансы замыкания ЯТЦ; базовый сценарий 1го этапа

- Потребности в природном уране и разделительных работах
- Мощности заводов по переработке ОЯТ
- Мощности заводов по изготовлению топлива для быстрых реакторов
- ОЯТ в хранилищах



# Результаты системного анализа замыкания ЯТЦ

---

- Замыкание топливного цикла при использовании только тепловых реакторов не дает качественного решения системных проблем нынешней ядерной энергетики.
- Сценарные варианты ЯЭС с быстрыми реакторами с умеренными параметрами воспроизводства топлива и не использующими плутоний от переработки ОЯТ ВВЭР качественно не меняют ситуации по интегральному расходу урана и не решают проблемы накопления ОЯТ ВВЭР.
- Системные проблемы действующей ядерной энергетики – непрерывно возрастающее количество ОЯТ и РАО и неэффективное использование природного урана – решаются при формировании ЯЭС, в состав которой входят БН с улучшенными параметрами воспроизводства топлива в сочетании с ВВЭР при обеспечении переработки, обоюдного рециклирования и регенерации топлива.



# Ключевые события и мероприятия по замыканию ЯТЦ до 2035 года

---

- ❑ Ввод в эксплуатацию завода по производству МОКС-топлива для реактора БН-800 на ФГУП «ГХК» в 2015 г.
- ❑ Разработка технического проекта головного э/б БН-1200 в составе ПЭК с замыканием ЯТЦ – 2016 г.
- ❑ Переработка ОЯТ ВВЭР: завод РТ-2 (1я очередь) – 2025г.
- ❑ Проектирование и сооружение завода по производству смешанного уран-плутониевого топлива для реакторов БН-1200 в срок до 2025 года.
- ❑ Проектирование и сооружение модуля по переработке ОЯТ реакторов БН-800 и БН-1200 в составе ОДЦ на ФГУП «ГХК» в срок до 2025 года.
- ❑ Сооружение 5-ти блоков БН-1200 в 2025, 2028, 2030, 2033, 2035 г.г.
- ❑ Проектирование и сооружение завода по производству МОКС- топлива для ВВЭР из регенерата ОЯТ БН в срок до 2028 г.
- ❑ Начало эксплуатации ВВЭР на МОКС – топливе в срок до 2030 г.



# Планируемые результаты работ

- Сдерживание роста топливной составляющей в себестоимости электроэнергии, производимой на АЭС.
- Повышение эффективности использования природного урана
- Решение проблемы ОЯТ и РАО. Снижению расходов на обращение с ОЯТ. Снижение объемов хранения ОЯТ.
- Прекращение накопления плутония на складах, энергетическое использование плутония, снижения рисков его распространения.
- Утилизация избытков оружейного плутония
- Практическое промышленное освоение новой энергетической технологии: воспроизводство, переработка, рецикл топлива, сепарация, компактирование и изоляция ВАО.
- Повышение конкурентоспособности ВВЭР на международном рынке за счет предоставления полного пакета услуг замкнутого ядерного топливного цикла.
- Повышение конкурентоспособности Генерирующей компании .



# Архитектура ядерной энергетической системы, удовлетворяющей требованиям стабильности и безопасности

---

- Реакторы на тепловых нейтронах в сочетании с реакторами на быстрых нейтронах с расширенным воспроизводством топлива.
- Замыкание топливного цикла с переработкой ОЯТ, многократным рециклом топлива, сепарацией и изоляцией РАО.
  - Это обеспечит неограниченность ресурса ядерного топлива за счет производства/воспроизводства Pu и U-233 из природных урана и тория, снизит объемы хранилищ ОЯТ и обеспечит решение проблемы обращения с РАО.
- Высокотемпературные реакторы для производства водорода, технологических процессов и коммунального сектора.
  - Это компенсирует нарастающий дефицит органического топлива в промышленности, на транспорте и в сфере быта (неэлектрическая сфера потребления энергетических ресурсов).



**Спасибо за внимание**