



ПРОРЫВ  
РОСАТОМ

# Конкурентоспособность перспективных проектов АЭС с РБН и ЗЯТЦ

АО «Прорыв»

Толстоухов Д.А., Пресняков И.В., Панов С.А.

17.10.2023

# Перспективы роста установленной мощности ЯЭ в России

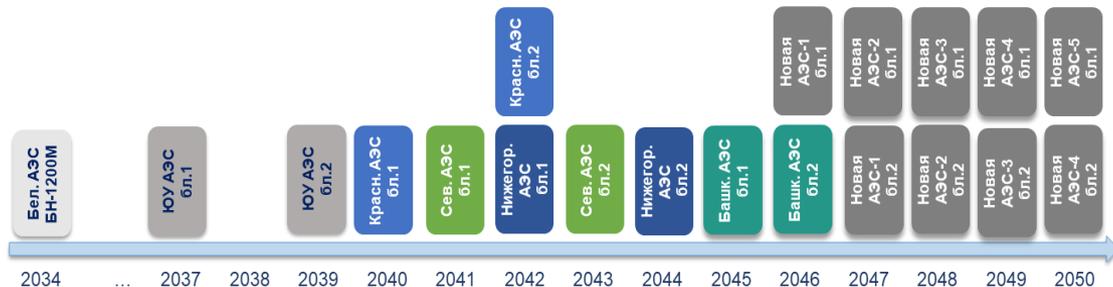
Поручение Президента РФ от 05.06.2021:

- Увеличение доли ЯЭ в выработке электроэнергии в стране до 25% на рубеже 2045-2050 годов.

Ключевые задачи Стратегии-2021 \*:

- Снижение удельных выбросов CO<sub>2</sub> на выработанный кВт.ч от электроэнергетики России;
- Формирование двухкомпонентной структуры ЯЭ;
- Развитие инфраструктуры замкнутого ЯТЦ;
- Расширение географии размещения АЭС в России и обеспечение низкоуглеродной энергией изолированных и труднодоступных территорий.

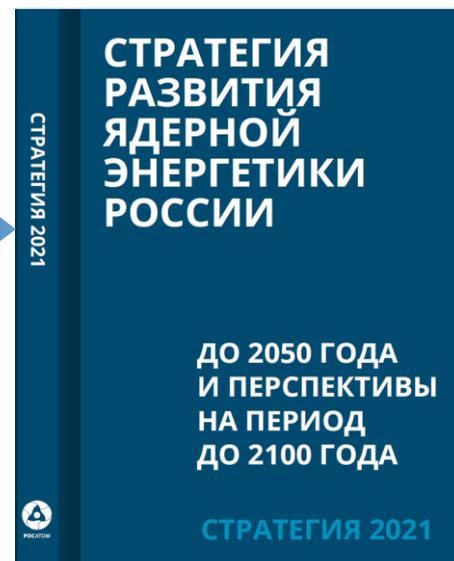
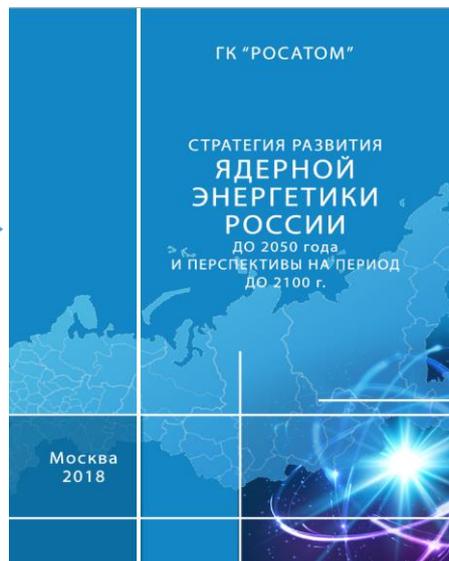
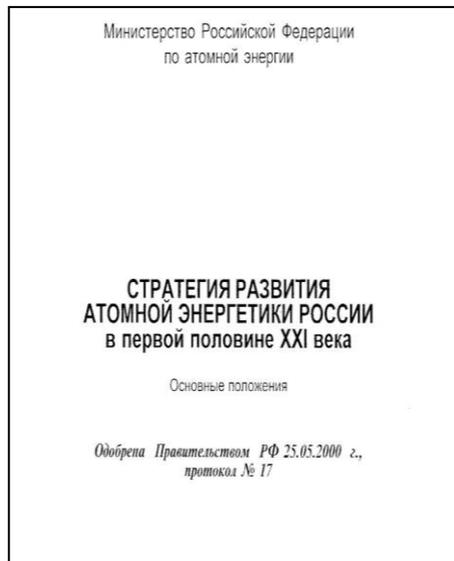
Динамика ввода АЭС с РБН большой мощности в РФ



- За базу принята актуальная ДК, направленная на согласование в Минэнерго России
- Динамика ввода АЭС по актуальной ДК обеспечивает достижение доли ЯЭ в энергобалансе РФ ~25% к 2045 г.
- После 2045 года динамика ввода АЭС с РБН большой мощности принята с темпом 2 ЭБ/год

\* «Стратегия развития ядерной энергетики России до 2050 года и перспективы на период до 2100 года», одобрена Президиумом НТС Госкорпорации «Росатом» 15.03.2022 г. и Стратегическим советом Госкорпорации «Росатом» 11.04.2022 г.

# Стратегия развития ЯЭ и её последовательная реализация



”

При обеспечении баланса между радиационной и биологической опасностью захораниваемых радиоактивных отходов и уранового сырья, извлекаемого из недр, можно избежать существенных нарушений природного уровня радиационной и биологической опасности и сделать убедительными доказательства безопасности обращения с РАО.

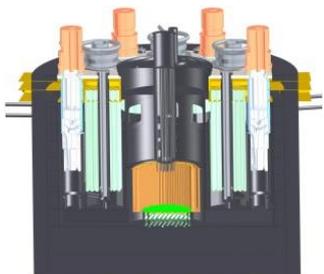
”

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.

# Реакторы IV поколения с ЗЯТЦ – целевое состояние «зеленого» атома в XXI веке



## Быстрый реактор естественной безопасности со свинцовым теплоносителем – БР-1200

- равновесная активная зона;
- интегральная компоновка реактора;
- использование пассивных систем, препятствующих возникновению и развитию аварий.



- **Отсутствует необходимость принятия мер** по защите населения (эвакуация) **даже в случае запроектной аварии**
- **Исключены** чернобыльские и фукусимские последствия от аварий для населения
- При любых аварийных событиях **обеспечен радиационно-обусловленный онкориск ниже пренебрежимо малого**
- **Гарантия** безопасной эксплуатации технологий ЯЭ **для будущих поколений**

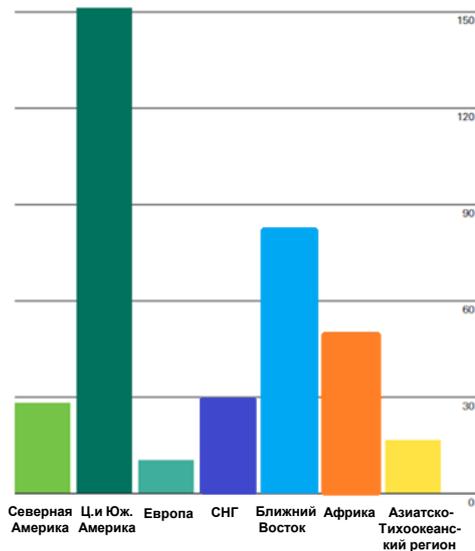


- В замкнутом ЯТЦ пожизненный радиационно-обусловленный риск возможных онкологических заболеваний от РАО **уже через ~100 лет** будет ниже аналогичного риска от уранового сырья.
- Поддержка режима нераспространения **на технологическом уровне** – неразделение U и Pu в замкнутом ЯТЦ
- ЯЭ на основе НТП позволит укрепить лидерство РФ в экспорте АЭС и высокотехнологичной продукции

# Запасы нефти, угля и газа

## Нефть

Отношение запасы/добыча, кол. лет

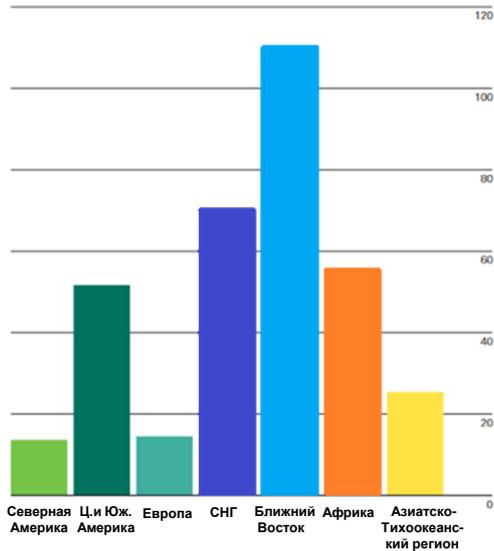


При существующем уровне добычи и потребления, мировых доказанных запасов нефти хватит на

**50 лет**

## Природный газ

Отношение запасы/добыча, кол. лет

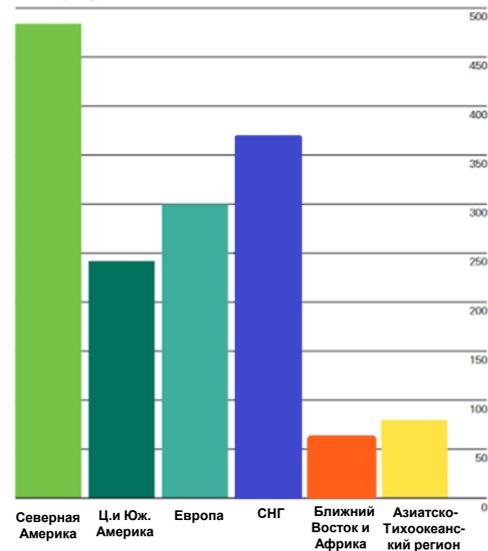


При существующем уровне добычи и потребления, мировых доказанных запасов природного газа хватит на

**50 лет**

## Уголь

Отношение запасы/добыча, кол. лет

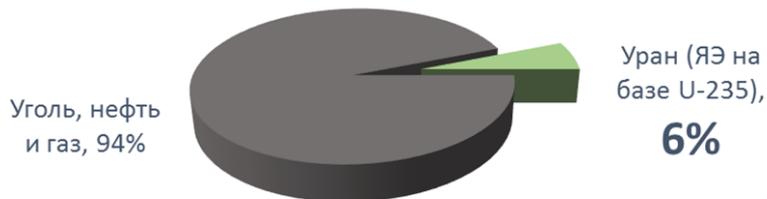


При существующем уровне добычи и потребления, мировых доказанных запасов угля хватит на

**139 лет**<sup>5</sup>

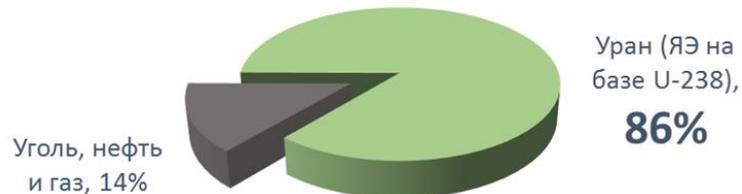
# Замкнутый ЯТЦ - отсутствие ограничений ЯЭ по сырьевой базе

## Энергоемкость различных природных энергетических ресурсов



### Открытый ЯТЦ

- ограничен ресурсной базой природного урана



### Замкнутый ЯТЦ

- на базе быстрых реакторов за счет использования  $^{238}\text{U}$  принципиально снимает проблему топливных ресурсов ЯЭ

# Роль ЯЭ в рамках экологической повестки

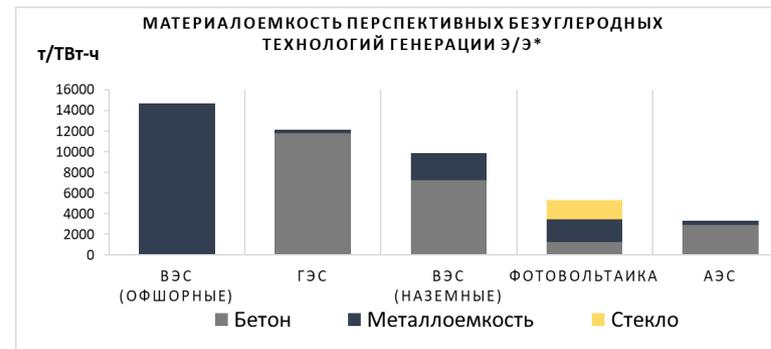
# 7

## МЛН ЧЕЛОВЕК\*

ежегодно погибают от заболеваний, связанных с загрязнением атмосферного воздуха



NEA-OECD (2018), *The Full Costs of Electricity Provision*  
– Агентство по ядерной энергии при ОЭСР



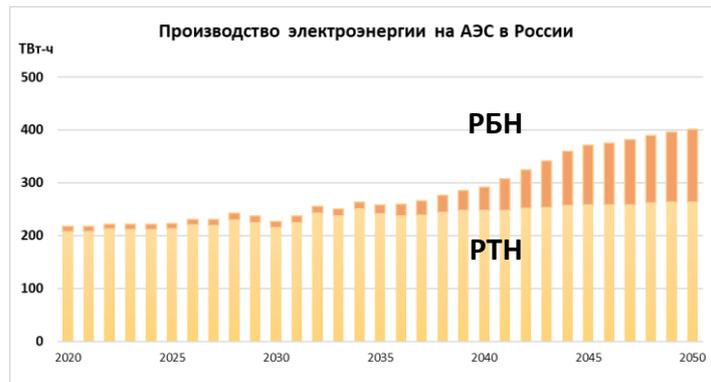
# Кратное

снижение потребления материалов для реализации «зеленого» энергоперехода

\* данные World Health Organization

# Системные эффекты от повышения доли РБН

- Для всей ядерной энергетической системы радикально снижается удельное потребление природного урана на единицу произведенной электроэнергии
- Решение проблемы накопления ОЯТ тепловых реакторов путем максимально эффективного вовлечения Рн в РБН



# Ключевые мультипликативные эффекты от развития ЯЭ



- Одно рабочее место при сооружении АЭС создает более 10 рабочих мест в смежных отраслях
- Ввод одного серийного ПЭК с РБН-1200 и ЗЯТЦ способствует:
  - Созданию порядка 1170 высококвалифицированных рабочих мест для эксплуатационного персонала
  - Экономии природного газа для возможного экспорта и неэнергетического применения до 250 трлн куб м за весь жизненный цикл (ЖЦ) при замещении парка ПГУ аналогичной производительности
  - Предотвращению выбросов парниковых газов до 460 млн т CO<sub>2</sub> за весь ЖЦ при замещении парка ПГУ аналогичной производительности

# ОДЭК с РУ БРЕСТ-ОД-300 и ПЯТЦ

## Основными задачами ОДЭК являются:

- Отработка и демонстрация технологии ЗЯТЦ для дальнейшей реализации в промышленном масштабе
- Отработка проектно-конструкторских и технологических решений РУ БРЕСТ-ОД-300 для последующего масштабирования в рамках реализации двухкомпонентной ЯЭ в соответствии со «Стратегией развития ядерной энергетики России до 2050 года и перспективы на период до 2100 года»
- Получение исходной информации для обоснования конкурентоспособности ПЭК (промышленный энергетический комплекс) с реакторами на быстрых нейтронах (РБН) большой мощности и замкнутым ЯТЦ

## ОДЭК с РУ БРЕСТ-ОД-300 и ПЯТЦ

ЭБ с РУ на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем БРЕСТ-ОД-300 (1x300 МВт(э))



Производства пристанционного ЯТЦ (ПЯТЦ)

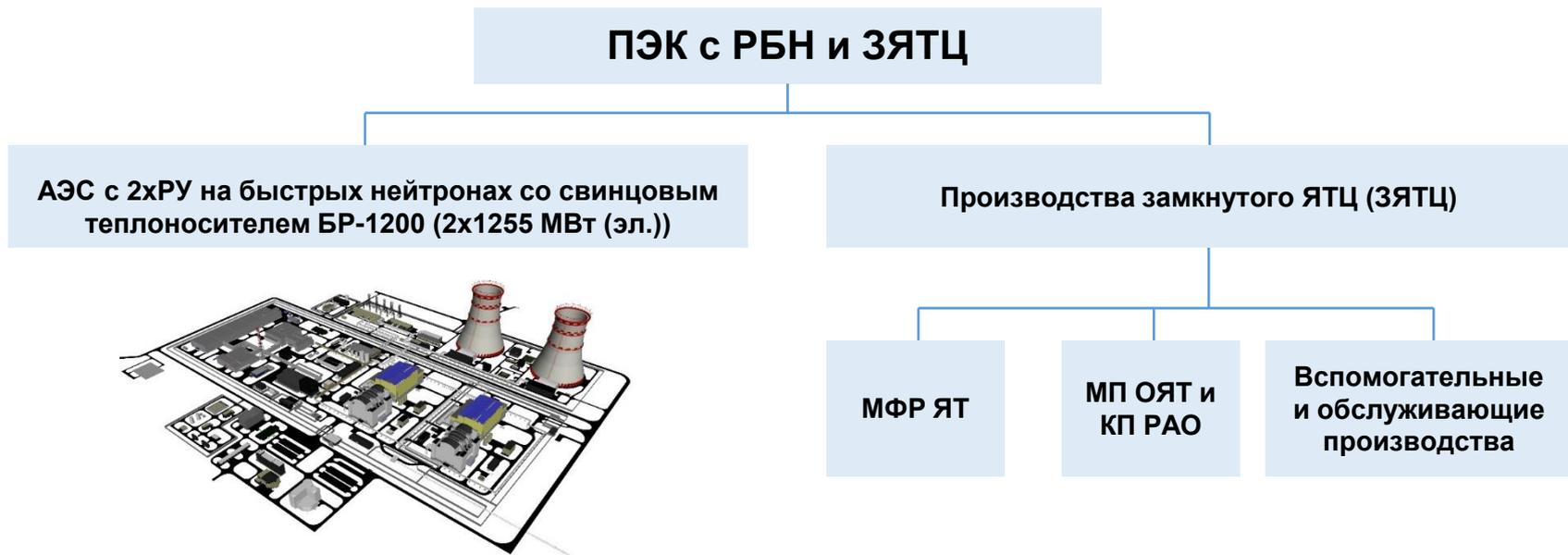
МФР ЯТ

МП ОЯТ

# ПЭК с АЭС с РБН и ЗЯТЦ

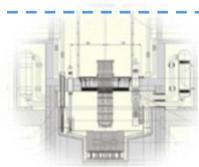
## Основными задачами ПЭК являются:

- Формирование оптимальных проектно-конструкторских и технологических решений, направлений типизации, определение эффективной конфигурации производственных мощностей ЗЯТЦ
- Переход к формированию двухкомпонентной ЯЭ на базе РБН большой мощности и ЗЯТЦ
- Обеспечение конкурентоспособности АЭС с РБН большой мощности в сравнении с другими проектами АЭС и альтернативной генерацией



# Обликовое проектирование и технико-экономическое обоснование

Для инновационных объектов существует значительный риск несоответствия в части проектных решений и стоимостных оценок на стадии ОБИН - в ОП и ТЭО сформированы проектные и конструкторские решения, учитывающие особенности технологии



Объекты строительства с референтными технологиями

ОБИН

ПД

РД

Строительство

Инновационные и уникальные объекты

Обликовый проект

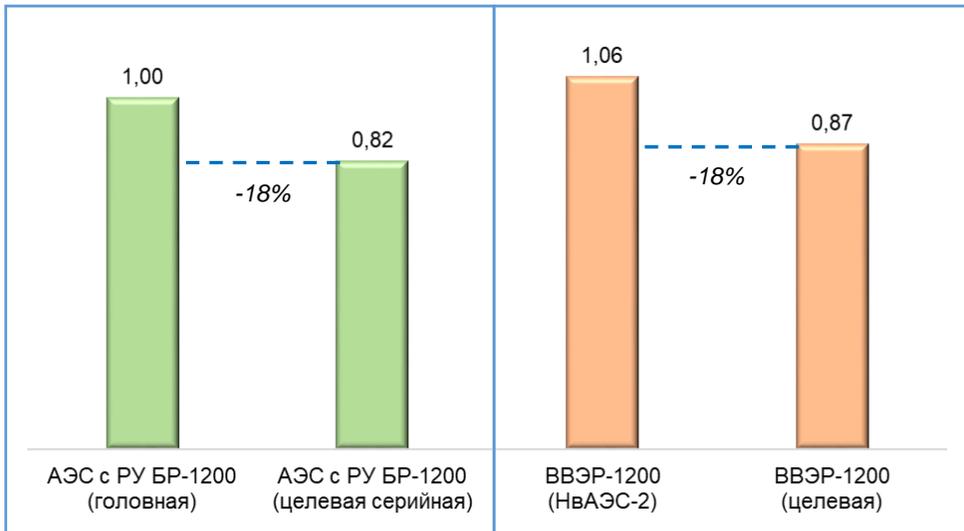
Технико-экономическое обоснование

- ✓ более **детальная** проработка ключевых параметров объекта, их визуализация
- ✓ основа для **оценки экономических показателей**
- ✓ анализ **эффективности** конструкторских и технологических решений до окончательного оформления и приемки техпроектов
- ✓ анализ и оптимизация с применением **информационного моделирования**
- ✓ **вариантная** проработка
- ✓ **гибкость** принятия решений и повышенные возможности управляющих и корректирующих воздействий

# Целевые показатели и ресурсное сравнение АЭС с ВВЭР и АЭС с РУ БР-1200



Удельные КВЛ АЭС, отн. ед.



- Показатели головных АЭС с РУ БР-1200 приняты на основании решений ТЭО и выявленных рисков изменения стоимости
- По решению Госкорпорации «Росатом» для обеспечения конкурентоспособности АЭС при формировании программ развития целевые показатели серийной АЭС с РУ БР-1200 приняты с учетом снижения стоимости на 18%

Расход ресурсов по функционально сопоставимому набору зданий и сооружений энергоблоков АЭС

Параметр	НвАЭС-2	БР-1200 (2022 г)	Δ, БР/Нв
Объем железобетона ЭБ, тыс.м <sup>3</sup>	215,78	150,74	-30%
Металлоемкость ЭБ, тыс.т	67,50	63,39	-6%
<b>включая:</b>			
Арматура (строит.)	29,94	26,23	-12%
Металлоконструкции (строит.)	11,99	14,69	+23%
Оборудование технолог.	19,88	18,15	-9%
Трубопроводы	4,86	3,88	-20%
Воздуховоды	0,66	0,45	-32%
Длина кабелей, тыс.км	3,81	2,21	-42%
Теплоноситель свинец, тыс. т		29,4	

- По текущим проектным решениям обеспечивается ресурсная и стоимостная конкурентоспособность АЭС с РУ БР-1200 по сравнению с АЭС с ВВЭР-1200
- На стадии ОБИН разработки ПЭК с БР-1200 требуется подтверждение конкурентоспособности

# Целевые ТЭП АЭС с РУ БР-1200 по актуальным решениям ТЭО ПЭК



№ п/п	Показатель	Значение
1	Количество ЭБ, шт.	2
2	Мощность одного ЭБ, МВт(э)	1255
3	Показатель КИУМ, %	90%
4	Затраты электроэнергии на с.н., %	6,0%
5	Отпуск электроэнергии одним ЭБ, млрд кВт.ч/год	9,30
6	Штатный коэффициент, чел./МВт(э)	0,3
7	Тип топлива	СНУП
8	Стартовая загрузка а.з. одного ЭБ, т т.м.	48,3 <sup>(1)</sup>
9	Перегрузка одного ЭБ (в стационарном режиме ЗЯТЦ), т т.м./год	10,6 / 8,5 <sup>(2)</sup>
10	Проектный срок эксплуатации АЭС, лет	60

<sup>(1)</sup>с учетом технологического резерва (запаса на физ.комплектацию) 3%

<sup>(2)</sup>средняя глубина выгорания СНУП-топлива 10% / 12% т.а.

# Целевые ТЭП объектов ЗЯТЦ по актуальным решениям ТЭО ПЭК

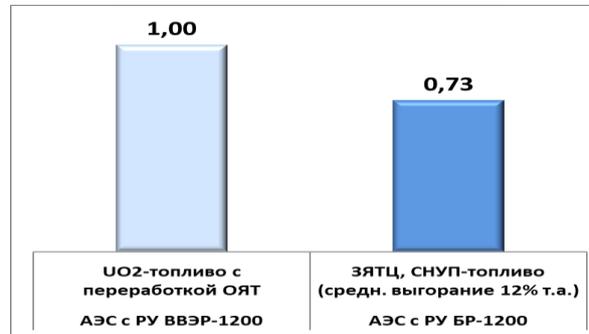
Показатель	Значение
Производительность ЗЯТЦ ПЭК, т т.м./год	~30
Тип топлива РУ БР-1200	СНУП *
Основной производственный персонал, чел.:	397
- МФР ПЭК, чел.	169
- МП ОЯТ и РАО ПЭК, чел.	228
Проектный срок эксплуатации, лет	60

Расчеты ТСС генерации э/э АЭС с РУ БР-1200 проведены при условии обеспечения максимальной загрузки ЗЯТЦ ПЭК в течение всего ЖЦ

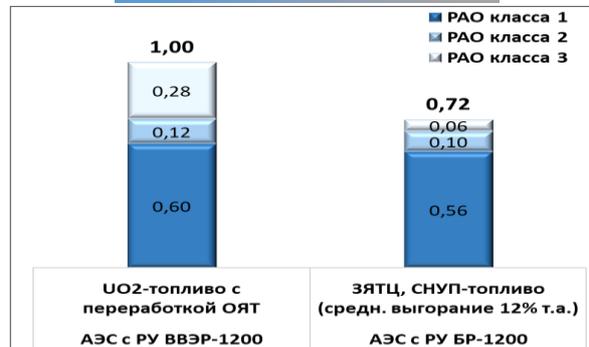
**По текущим проектным решениям ТЭО ПЭК показатель ТСС АЭС с РБН и ЗЯТЦ не превышает ТСС АЭС с РТН, работающих в открытом ЯТЦ с переработкой ОЯТ**

\* с возможностью изготовления и переработки СНУП/МОКС-топлива для ЭБ с РУ БН-1200М

ТСС генерации э/э с учетом затрат всего ЖЦ, отн. ед.



Затраты на захоронение РАО за весь ЖЦ по тарифам НО РАО, отн. ед.



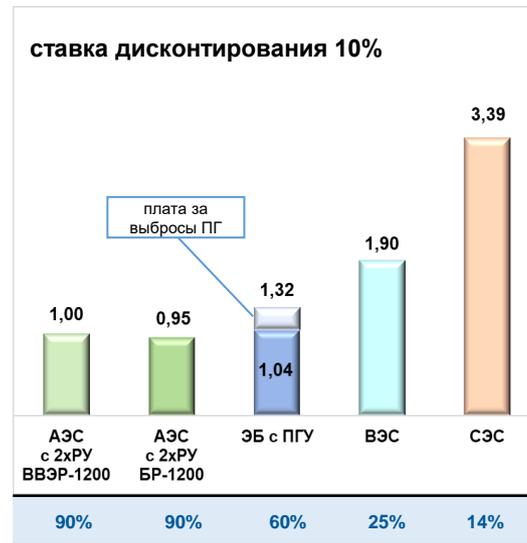
# ТЭП альтернативной генерации, используемые для расчетов конкурентоспособности

№ п/п	Показатель	Значение		
		ПГУ	ВЭС	СЭС
1	Мощность, МВт(э)	400	50	50
2	Показатель КИУМ, %	60%	25%	14%
3	Расход электроэнергии на с.н., %	3,3%	0,3%	0,3%
4	Отпуск электроэнергии, млрд кВт.ч	2,08	0,11	0,06
5	Срок сооружения, лет	2	2	2
6	Тип топлива	прир. газ	-	-
7	Расход топлива, г у.т./кВт.ч	250	-	-
8	Эмиссия CO <sub>2</sub> , кгCO <sub>2</sub> /кВт.ч	0,398	-	-
9	Период эксплуатации, лет	30	25	25

- ТЭП альтернативной генерации приняты по актуальным данным ИНЭИ РАН, в части КВЛ учтены результаты анализа влияния интенсивного роста санкционного давления
- КИУМ ПГУ принят по данным Управления ЖЦ АЭС Госкорпорации «Росатом» (проектный КИУМ ПГУ достигает 85%)
- На горизонте 2040 г. при реализации программы импортозамещения (по оценкам ИНЭИ РАН) прогнозируется снижение КВЛ в ПГУ на ~30%, ВЭС на ~10%, СЭС на ~40%
- На горизонте 2040 г. прогнозируется снижение расхода топлива ПГУ с 250 до 225 г у.т./кВт.ч

# Конкурентоспособность энерготехнологий по LCOE

## LCOE, отн. ед.



**Энергоблоки АЭС при серийном сооружении и заданных целевых ТЭП могут обеспечить конкурентоспособность в сравнении с ПГУ и ВИЭ**

Расчет LCOE проведен по актуальным методическим указаниям ГК «Росатом» (приказ от 14.04.2017 №1/320-П) при реальных ставках дисконтирования  
Рассматриваются текущие условия ОЭС Урала

Расчет LCOE АЭС с 2хРУ ВВЭР-1200 и АЭС с 2хРУ БР-1200 проведен для серийных проектов (НОАК) с учетом целевого снижения КВЛ относительно FOAK на ~18%  
ТЭП ПГУ и ВИЭ приняты по актуальным данным ИНЭИ РАН (КИУМ ПГУ принят по данным Управления ЖЦ АЭС Госкорпорации «Росатом»)

Плата за выбросы ПГ при расчете LCOE ПГУ принята в диапазоне от 0 до 50 \$/т CO<sub>2</sub>

**Спасибо за внимание!**

