



Роль и место АЭС на энергетической карте мира

Власенко Н.И.

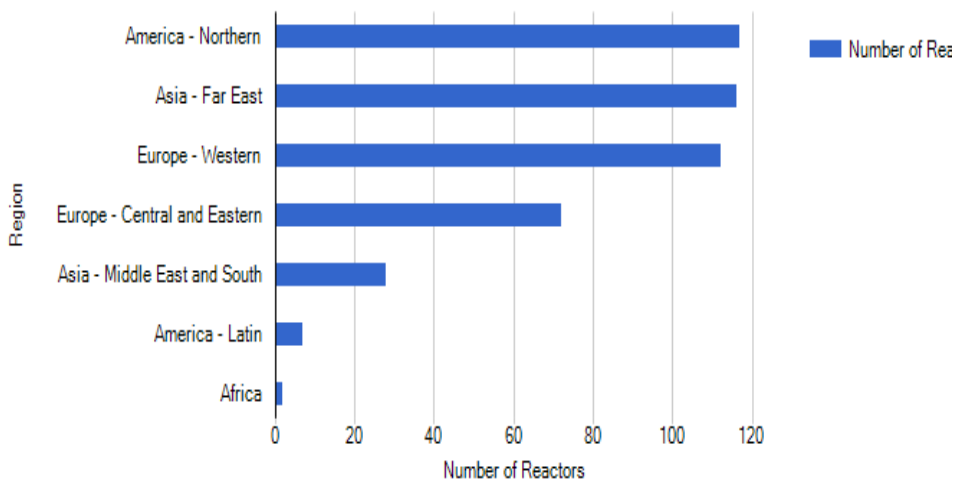
ОП «Научно-технический центр»

ГП «НАЭК «Энергоатом»

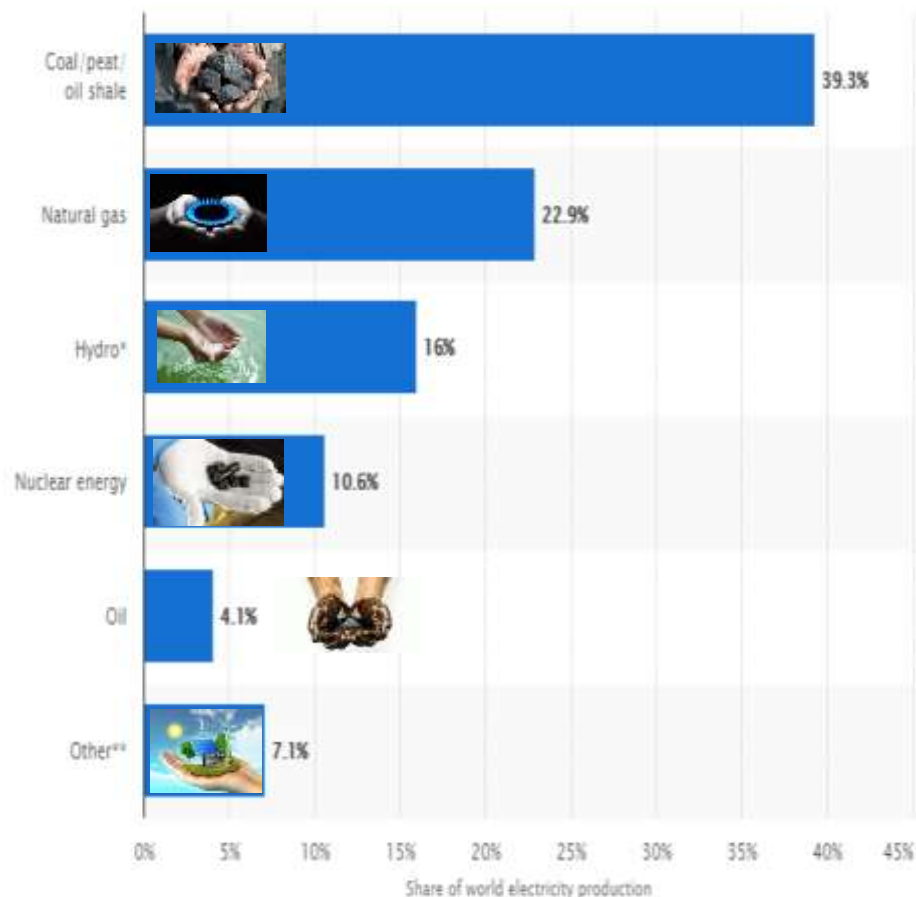
Ядерная энергетика в мире

Параметр	
Действующие реакторы, количество	454
Полная установленная мощность действующих реакторов, ГВт	399.307
Строящиеся реакторы, количество	55
Мощность строящихся реакторов, ГВт	55.859

Total Number of Reactors: 454



Производство электроэнергии по источникам (2015г)



Тренды развития АЭС (1)

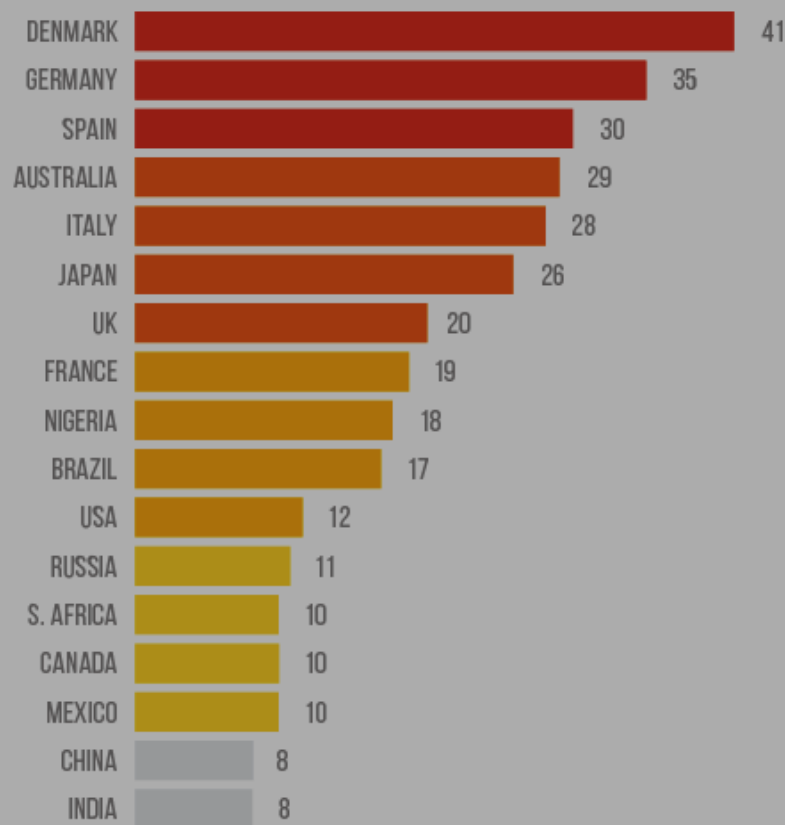
Страна	2000	2010	2017	Направление развития
США	97,860 ГВт, Генерация- 19,8%	101,167 ГВт Генерация– 19,6%	99,635 ГВт Генерация - 20%	Эксплуатация действующих блоков, продление эксплуатации, ограниченное строительство новых блоков. <i>Факторы: Высокая стоимость строительства, наличие дешевого газа.</i>
Япония	45.08 34,2%	48.96 ~30%	41.48 1,9%	Япония подтвердила ориентир ядерной энергетики - 20-22% к 2030г. <i>Факторы: зависимость от импорта энергоресурсов, участие в «климатических» соглашениях.</i>
Германия	23.6 ГВт 25%	21.5 ГВт; 25%	9.52 ГВт (7 блоков), 12%	Вывод АЭС из эксплуатации с 2022г. <i>Факторы: увеличение эффективности энергопотребления, предполагаемое снижение энергопотребления и переход на возобновляемую генерацию</i>
Франция	63.4 ГВт. 50%	63.1 ГВт 50%	63.1 ГВт 50%	Предусматривается дальнейшее использование АЭС и сохранение мощностей. <i>Факторы: участие в «климатических» соглашениях.</i>
Швеция	9.42 ГВт 39 % [4]	9.15 ГВт 38%	8 ГВт, 40%	Эксплуатация действующих блоков, будущая ядерная стратегия четко не определена. <i>Факторы: высокий налог на CO₂, высокий налог на ядерную генерацию.</i>
Велико- британия	12 ГВт, 21.6%	11 ГВт 15.3%	8.9 ГВт (15 реакторов,) 19.8%	16 ГВт до 2030. Замена AGR на PWR. <i>Факторы: диверсификация энергопроизводства, участие в «климатических» соглашениях.</i>
Польша				Ввод 1 блока в 2029 г. Всего 6 ГВт в период 2030-2040. <i>Факторы: снижение выбросов, диверсификация</i>

Тренды развития АЭС (2)

Страна	2000	2010	2017	Направление развития
Испания	7.799 ГВт 27.63 %	7.777 ГВт 20.61%	7.573 ГВт (2016) 21.38% (2016)	Правительственное подтверждение о неопределенности ядерной энергетики в будущем (также подтверждение о недопустимости высоких субсидиях для ВИЭ).
Словакия	1.816 ГВт	1.82 ГВт 50.41%	1.94 ГВт 53.8%	Дальнейшее использование ядерной генерации. Строительство новых блоков. <i>Факторы: обеспечение надежных, стабильных энергоисточников, защита окружающей среды.</i>
Венгрия	1.85 ГВт 40%	2 ГВт 42,2%	2 ГВт 49,2%	Подписан контракт на строительство 2-х блоков. Предполагается увеличение ядерной генерации до 60%. <i>Факторы: диверсификация, обеспечение надежности энергопоставок.</i>
Индия	2.86 ГВт 3%	4.56 ГВт 2.1%	6,219 ГВт 2,6% (2016)	22.5 ГВт к 2030г. Строительство новых блоков - 7 реакторов (5.4 ГВт). Исследуется ториевый цикл. <i>Факторы: рост энергопотребления.</i>
Аргентина	1.01 ГВт 6.94%	1.01 ГВт 5.69%	1.76 ГВт (2016) 5.57%	Развитие ядерной программы. <i>Факторы: снижение выбросов парниковых газов, диверсификация</i>
Китай	2.17 ГВт 18%	10.82 ГВт 33 %	35.81 ГВт 29 % (2016)	Увеличение мощностей ядерной генерации. Развитие собственных технологий. Замыкание ЯТЦ. <i>Факторы: загрязнение воздуха угольными ТЭС, рост энергопотребления, вывод на рынок своих технологий.</i>
Чехия	1.76 ГВт 18%	3.90 ГВт 33%	4.29 ГВт (2016) 29%	Увеличение доли АЭС до 50%, увеличение теплоснабжения от АЭС, строительство новых реакторов. <i>Факторы: диверсификация.</i>

Стоимость электроэнергии

Средняя стоимость электроэнергии
US с/кВт×ч(2011)



<https://www.ovoenergy.com/guides/energy-guides/average-electricity-prices-kwh.html>

Страна	Ядерная генерация в общей структуре, %
Дания	0
Германия	13 (2016)
Испания	~21
Италия	0
Япония	1,9
Велико-британия	~20
Франция	~72
Нигерия	0
Бразилия	2,6 (2014)
США	20
РФ	~19
ЮАР	5,1%
Канада	15
Мексика	4 (2016)
Китай	3%

Сравнение стоимости электроэнергии (ядерная и неядерная)

Традиционная
генерация



Альтернативная
генерация



Факторы восприятия атомной энергетики

1. Снижение выбросов CO₂
2. Энергетическая безопасность
3. Снижение техногенных факторов на человека и окружающую среду

Не «электроэнергетическое» (альтернативное) применение:

- Централизованное отопление
- Опреснение воды (актуально для стран Ближнего Востока и Африки)
- Производство метанола (биотопливо)
- Нефтепереработка (глубокая переработка нефти)
- Газификация угля (снижение выбросов CO₂)
- Metallургическое производство

Не «электрическое» применение

Высокотемпературные реакторы

Реакторы с газовым охлаждением

Реакторы с теплоносителем из расплава солей

Реакторы со сверхкритическими параметрами

Быстрые реакторы с натриевым теплоносителем

Реакторы с жидкометаллическим теплоносителем

3 водяным теплоносителем



Централизованное отопление

Опреснение воды

Производство бумаги

Производство метанола

Десульфация нефтепродуктов

Нефтепереработка

Производство H_2 из метана

Термохимическое производство H_2

Газификация угля

Металлургическое производство



Микрореакторы

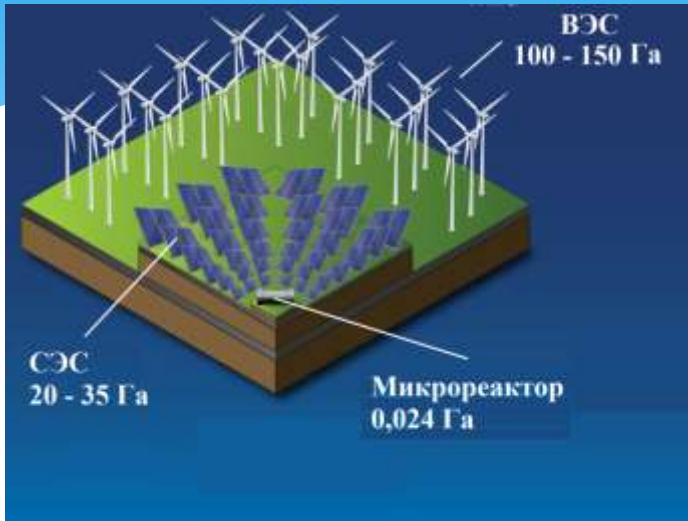
- Мощность < 10 МВт(э)
- Время работы ~10 лет без перегрузки
- Полная заводская сборка и оснащение
- Быстрый ввод в эксплуатацию от

нескольких недель до нескольких месяцев

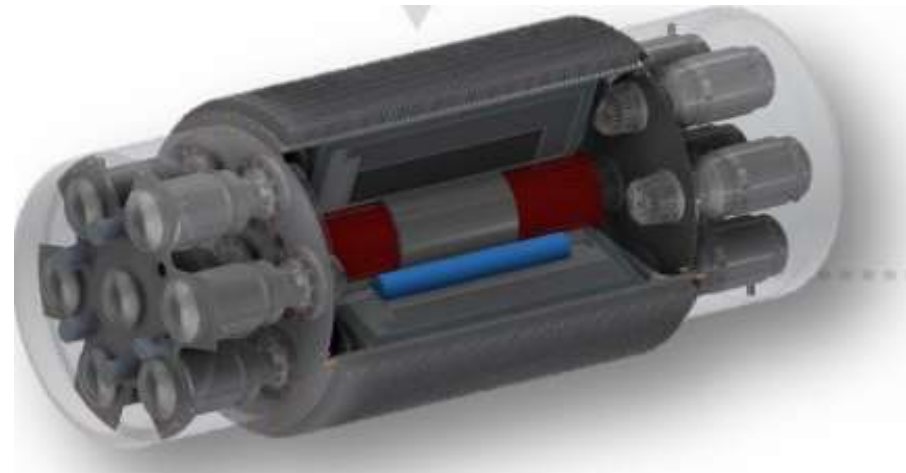
- Высокая степень автоматизации
- Быстрое снятие с эксплуатации с восстановлением площадки

Разработчик	Проект	Мощность, МВт	Тип
General Atomics, США		4-10	Высокотемпературный (HTR)
NuScale Power, США	NuScale Power Module	1-10	Водоводяной (LWR)
Oklo, США		2	Быстрый (FNR)
Westinghouse, США	eVinci	200 кВт – 15 МВт	
X-energy, США	X-energy	10 МВт	Газоохлаждаемый (GCR)
Urenco, UK	U-battery	4	Высокотемпературный (HTR)
UltraSafe Nuclear, США	USNC MMR-5&10	5	высокотемпературный (HTR)
LeadCold, Швеция	Sealer	3-10	Быстрый со свинцовым теплоносителем (Lead FNR)

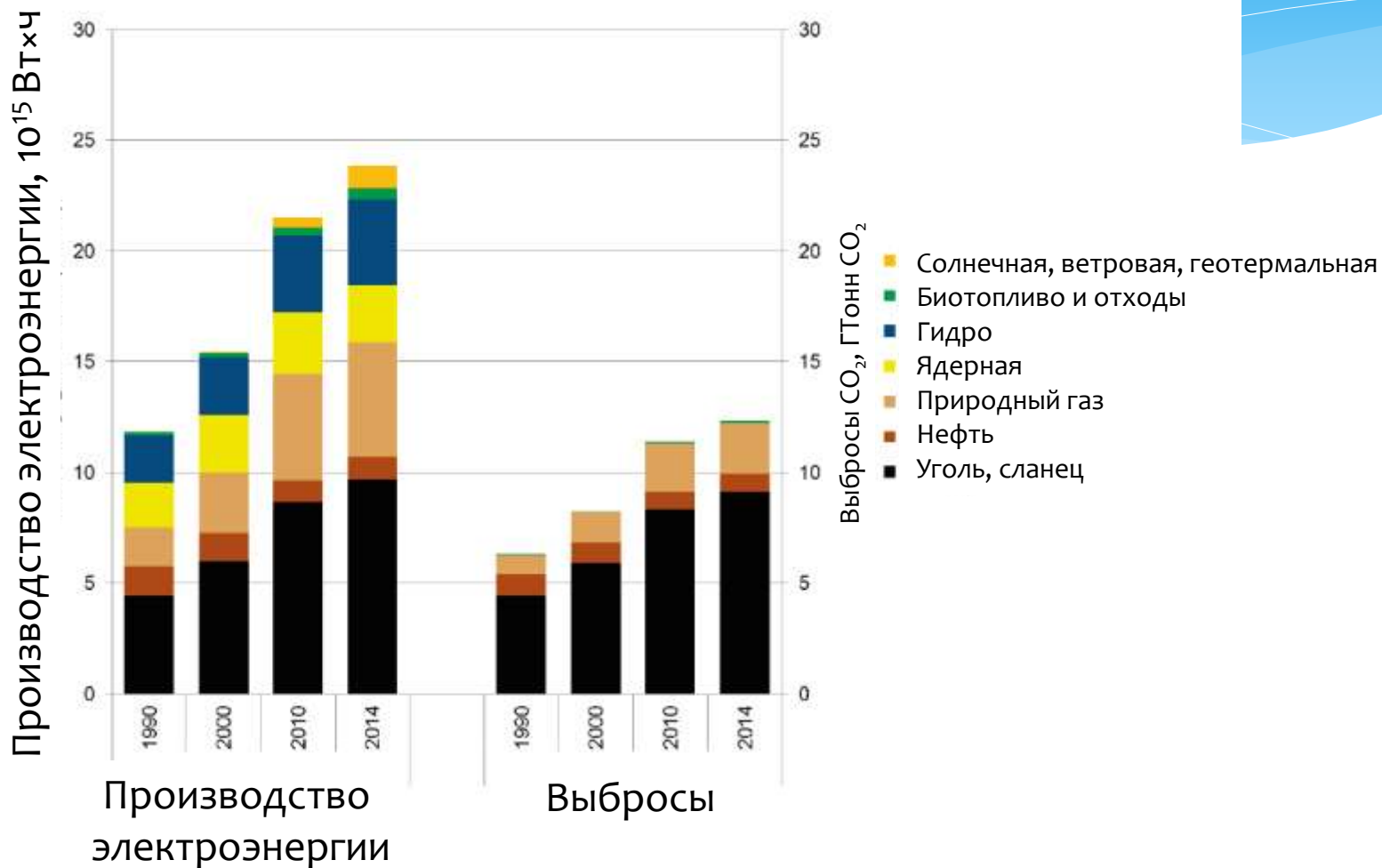
Микрореактор eVinchi (Westinghouse)



- Транспортируемая энергетическая установка
- Заводская сборка, загрузка топливом
- Мощность – от 200 кВт(э) до 25 МВт(э)
- Комбинированное производство тепла и электроэнергии
- Производство тепла - до 600°C
- Топливная кампания – 5 – 10 лет
- Установка на площадке в течение 30 дней
- Автоматическое управление мощностью
- Минимум подвижных элементов



Производство электроэнергии и выбросы CO₂



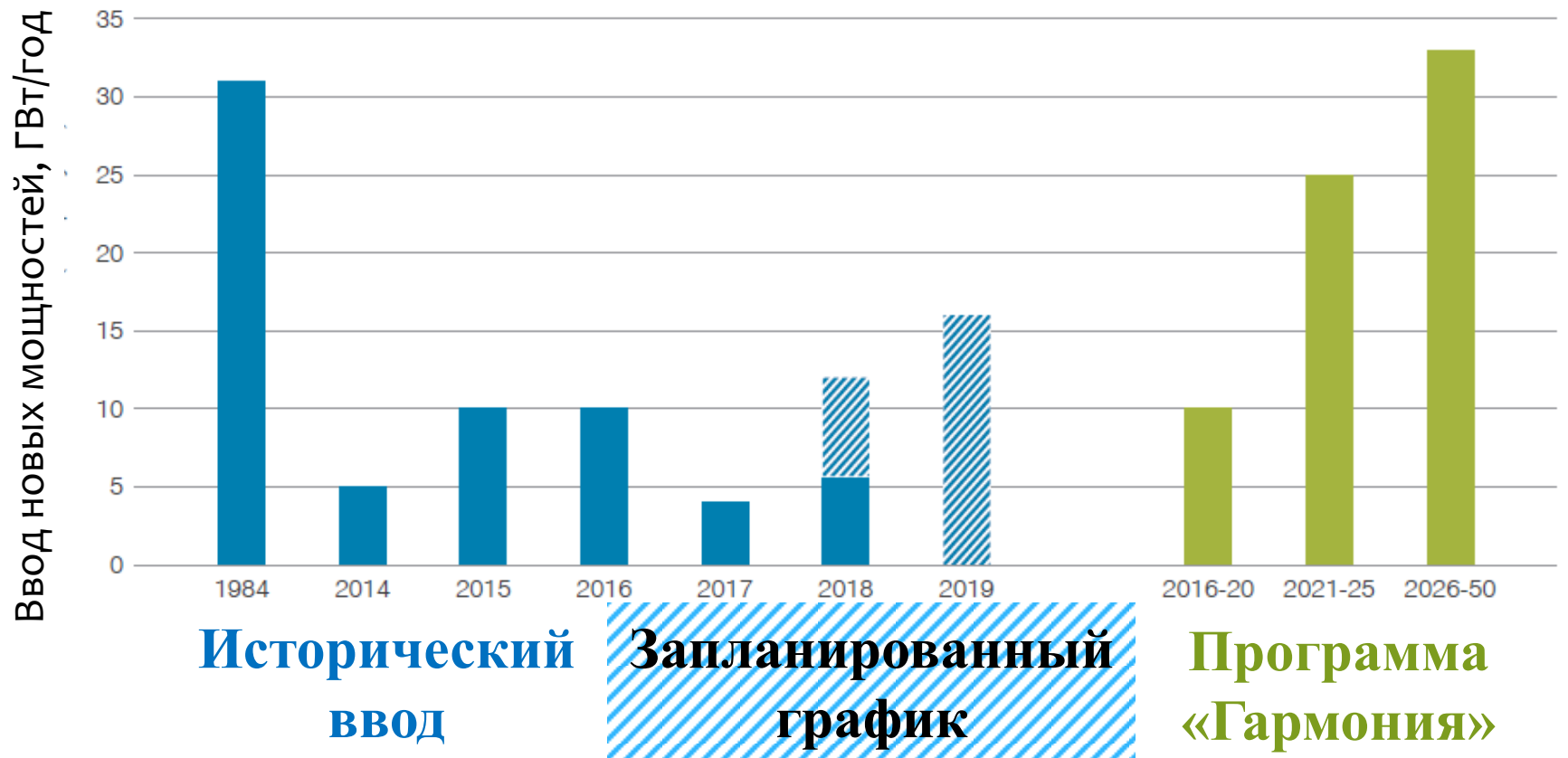
АЭС и CO₂ (1)

- * Программа развития «Гармония» («Harmony») - видение будущего развития ядерной электроэнергетики. [1,2]
- * В программе представлено развитие ядерной энергетики в мире при выполнении условий Парижских соглашений (сдерживание роста глобальной температуры на 2°C до 2050г., при возможности на 1.5°C до 2100 года.).
- * Цель программы «Гармония» («Harmony») – к 2050 году 25% мирового производства электроэнергии обеспечивается АЭС.
- * Для выполнения программы «Гармония» («Harmony») к 2050г необходимо 1000 ГВт новых реакторов. Первый шаг – ввод 10 ГВт новых мощностей в период 2016-2020.



АЭС и CO₂ (2)

Ввод новых мощностей АЭС в мире



Энергетическая безопасность

Основные факторы, которые идентифицируют АЭС как составляющую энергетической безопасности:

- АЭС производят электроэнергию на территории государства, которое электроэнергию потребляет. При этом, трудовые и финансовые ресурсы относительно эксплуатации АЭС также находятся на территории данного государства;

- Мировая практика обеспечения АЭС ядерным топливом базируется на получении ТВС или соответствующих услуг со стороны прогнозируемых поставщиков. Для снижения рисков используется практика расширения количества поставщиков (диверсификация) соответствующей продукции или услуг;

- На текущий момент АЭС относится к генерации большой мощности (большинство энергоблоков с мощностью 500 МВт) при стабильных относительно низких операционных затратах и малых уровнях выбросов CO₂, что снижает риски относительно вариантов дальнейшего функционирования ядерной генерации в условиях усиления защиты окружающей среды от влияния парниковых газов.

- Надежность и безопасность отдельных этапов ЯТЦ



Топливная таблетка
~4,5 г (обогащение
4%) эквивалентна



500 кг нефти



500 м³ газа



550 кг угля

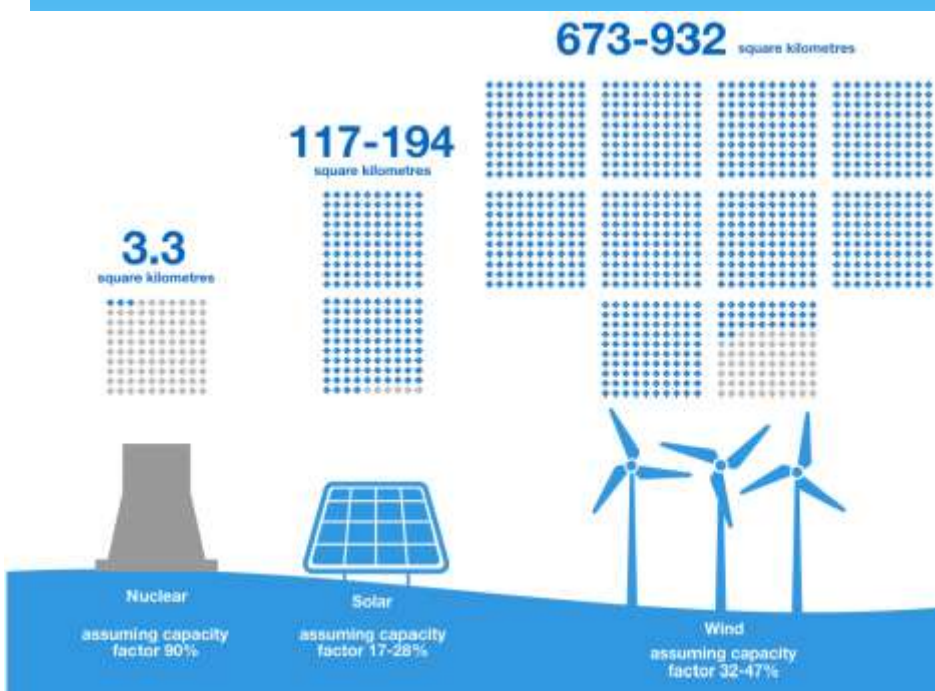
Элемент ЯТЦ \ Вариант ЯТЦ	Природный уран	Обогащение урана	Фабрикация ТВС	Долго-срочное хранение ОЯТ (UOX/MOX)	Переработка ОЯТ	Фабрикация Re U	Фабрикация MOX (Pu)	Геологическое захоронение ВАО/ОЯТ
Открытый ЯТЦ	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓
Частично-замкнутый ЯТЦ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
Замкнутый ЯТЦ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

От выбора развиваемого вида ЯТЦ зависит количество этапов. С увеличением элементов ЯТЦ увеличиваются риски энергетической безопасности.

Энергетическая безопасность

Критерий	Комментарий
Критерий 1. Надежность ядерной энергосистемы (функционирование АЭС в долгосрочной перспективе с экономической привлекательностью)	Для стран с национальными запасами природного урана Критерий 1 не является критическим.
Критерий 2. Диверсификация (возможность получения топлива и элементов ЯТЦ)	Диверсификация относительно обеспечения гарантий поставок ядерного топлива определяется <ul style="list-style-type: none">• созданием запасов ядерного топлива в виде урана или готовой продукции (ТВС);• обеспечение наличия двух и больше поставщиков технологий ЯТЦ;• наличие гарантированных маршрутов трансграничных перевозок
Критерий 3. Гарантии нераспространения	Критерий 3 (гарантии нераспространения) практически не отличается для разных ЯТЦ по степени рисков относительно несанкционированного доступа к U/Pu или к продуктам переработки ТВС
Критерий 4. Влияние на окружающую среду	Влияние на энергетическую безопасность существенно не зависит от сценария ЯТЦ для страны-пользователя ядерных технологий, но может рассматриваться минимальным в случае отсутствия переработки ОЯТ.
Критерий 5. Вариативность принятия решений	Вариативность – корректность принятия решений (исключительно по финансовым расходам). Это частично поясняет консервативность подходов к имплементации инноваций в ЯТЦ и ожидание результатов международной практики. В данном контексте наличие меньшего количества элементов в цепочке ЯТЦ может считаться более вариативным к будущим вызовам.

Снижение негативного влияния технологического развития на человека и окружающую среду



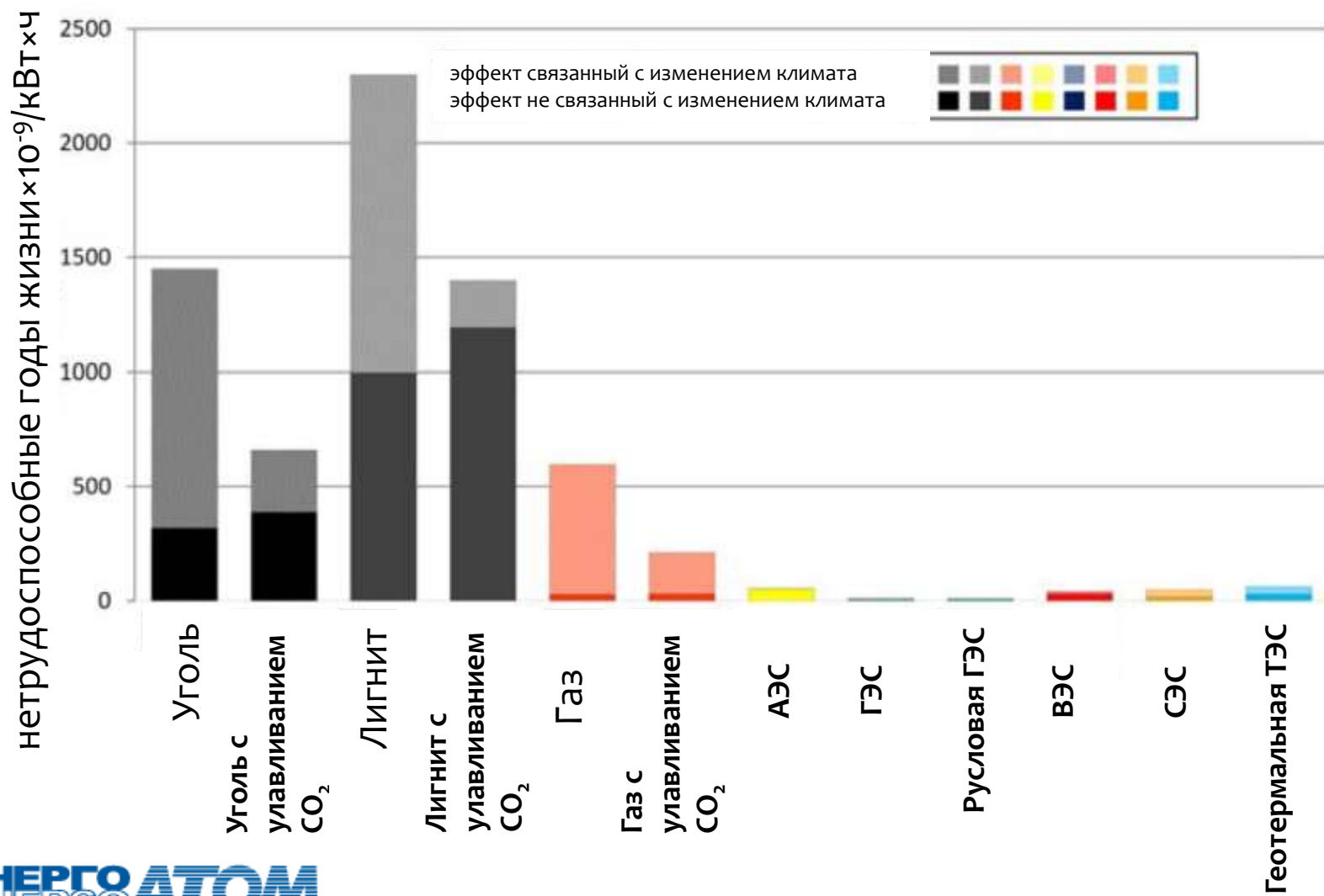
Необходимая площадь (км²) для обеспечения 1ГВт мощности на

- АЭС (КИУМ=90%) - 3.3 км²
- солнечная ЭС (КИУМ=17-26%) - 117-194 км²
- ветровая ЭС (КИУМ=32-47%) - 673-932 км²

Средняя эффективна доза населения

Вид деятельности	мЗв/год
Ядерная энергетика	
Добыча урана	0,025
Фабрикация топлива	0,0002
Эксплуатация реактора	0,0001
Переработка	0,002
Транспортировка РАО	0,0001
Медицина и промышленные источники	
Медицина	0,6
Угольная ТЭС	0,0015
Газовая ТЭС	0,00075
Добыча нефти и газа	0,03

Оценка влияния технологий на здоровье человека



Заключение

АЭС = «зеленая генерация» в условиях Парижского климатического соглашения 2015 года вопрос не урегулирован

- * Дальнейшее применение АЭС – расширение секторов неэлектрического применения на основе инновационных РУ, а также региональное размещение малых модульных реакторов.
- * **АЭС = энергетическая безопасность** в условиях снижения стоимости углеводородного топлива и расширения экспансии ископаемых ресурсов





Спасибо за внимание

