

**Научно-техническая конференция под эгидой Ядерного общества с  
международным участием  
(к 65-летию атомной энергетики и пуска первой в мире АЭС в год 30-летия  
WANO и Ядерного общества)  
при поддержке Госкорпорации «Росатом» и в сотрудничестве с МАГАТЭ  
«История, традиции, опыт, знания и кадры Атомной Энергетики  
как ресурсы развития в 21 веке»**

## **«Проблемы полномасштабного развития ЯЭ»**

Субботин С.А.  
НИЦ «Курчатовский институт»

Научно- практический Семинар (Круглый стол):  
«Итоги развития ЯЭ в нашей стране и в мире. Критический анализ :  
история, состояние, проблемы и перспективы ядерной науки и  
техники. Возможные пути решения проблем и роль  
полномасштабного развития ЯЭ и её ЯТЦ».  
Обнинск, 27 июня 2019г., Техническая Академия Росатома (ЦИПК)

## Энергия и ресурсы

- «В мировом масштабе выживет та страна, которая в точности будет знать свои ресурсы, сумеет направить на их использование народные духовные силы» - В.И.Вернадский

## Место ЯЭ в общей картине хозяйственной деятельности



### Энергетика:

С одной стороны – отрасль хозяйственной (экономической) деятельности.

С другой стороны - силовая часть системы управления механизмом получения и распределения природных благ;

«система трансформации всех потенциальных ресурсов в совокупный капитал социума» *В.В.Бушуев*

*При современном научном подходе, сосредоточенном на получении выгод, когда за прогнозы и риски практически никто не отвечает, можно представить экономически эффективный и безопасный и экологически приемлемый способ получения энергии, но не возможно представить безопасного и экологически приемлемого способа использования энергии.*

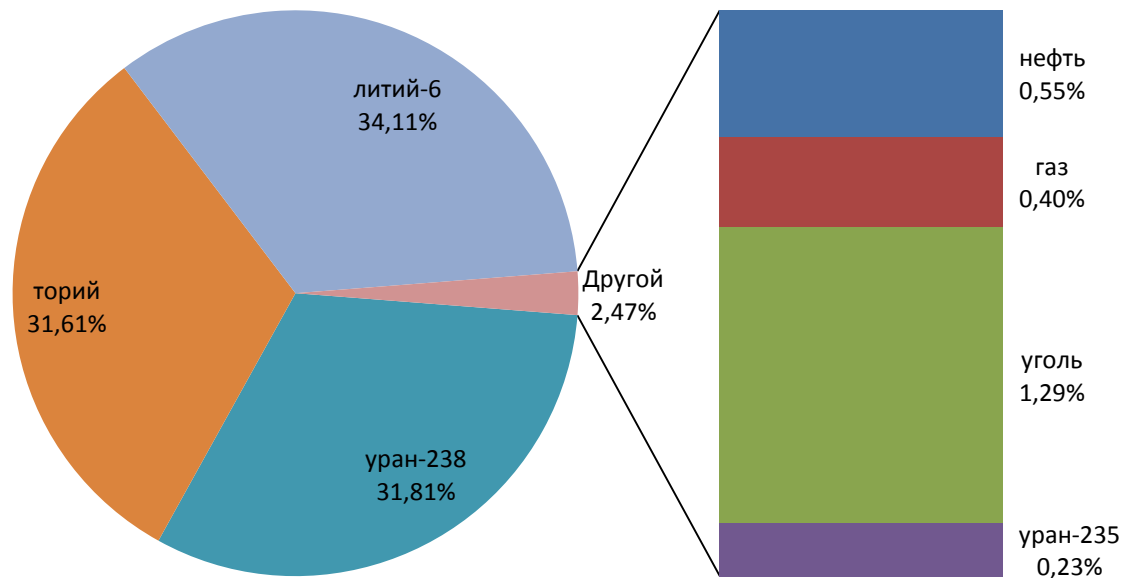
# Масштабная ЯЭ, как основа устойчивого развития

- Энергетический ресурс больше, чем у нефти и газа;
- Многопродуктовость;
- Многокомпонентность;
- Следствия масштабного развития:  
*удешевление технологий, удорожание добычи и захоронений;*
- Различные фазы развития.

# Особенности использования потенциалов ЯЭ

- Возможности использования потенциальных возможностей ЯЭ для решения проблем устойчивого развития и энергетической безопасности в значительной степени **зависят от успехов и неудач других энерготехнологий**.
- Специалисты из области ЯЭ в рамках своих традиционных компетенций не могут воздействовать на это, опираясь только на технические меры и решения.
- В ядерной отрасли должны появиться компетенции, необходимые для позиционирования потенциальных возможностей этой технологии в общественном сознании, экономических и правовых пространствах на различных уровнях.
- Ядерные технологии в большей степени приносят с собой новые возможности в плане организации хозяйственной деятельности, чем просто расширение энергетической базы.

## Мировое распределение энергетических ресурсов, %



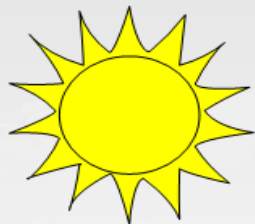
Исходные предположения:

согласно оценкам «Красной книги» [2] предполагается, что мировые ресурсы тория составляют 7 млн. т; тритий производится только из лития-6, мировые ресурсы лития приняты по данным U.S. Geological Survey [4].

Мировые энергетические ресурсы, млрд. т.н.э.

нефть	газ	уголь	уран-235	уран-238	торий	литий-6	итого
236	169	552	98	13577	13489	14555	42676

# Потенциальные возможности ЯЭ, как основы устойчивого развития



**$10^5$  млрд т.н.э./год**

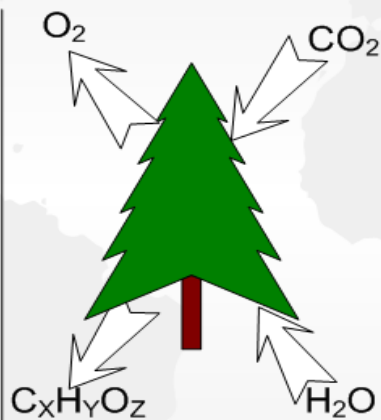
**Возобновляемые**

2 млрд т.н.э./год



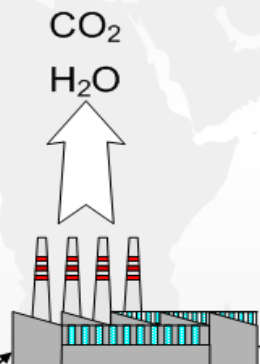
**Фотосинтез**

100 млрд т.н.э./год



**Органическая энергетика**

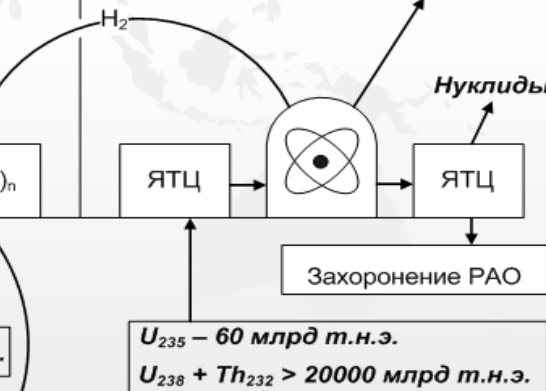
10 млрд т.н.э./год



**Ядерная энергетика**

10 млрд т.н.э./год

10 млрд т.н.э./год  
Эл. энергия



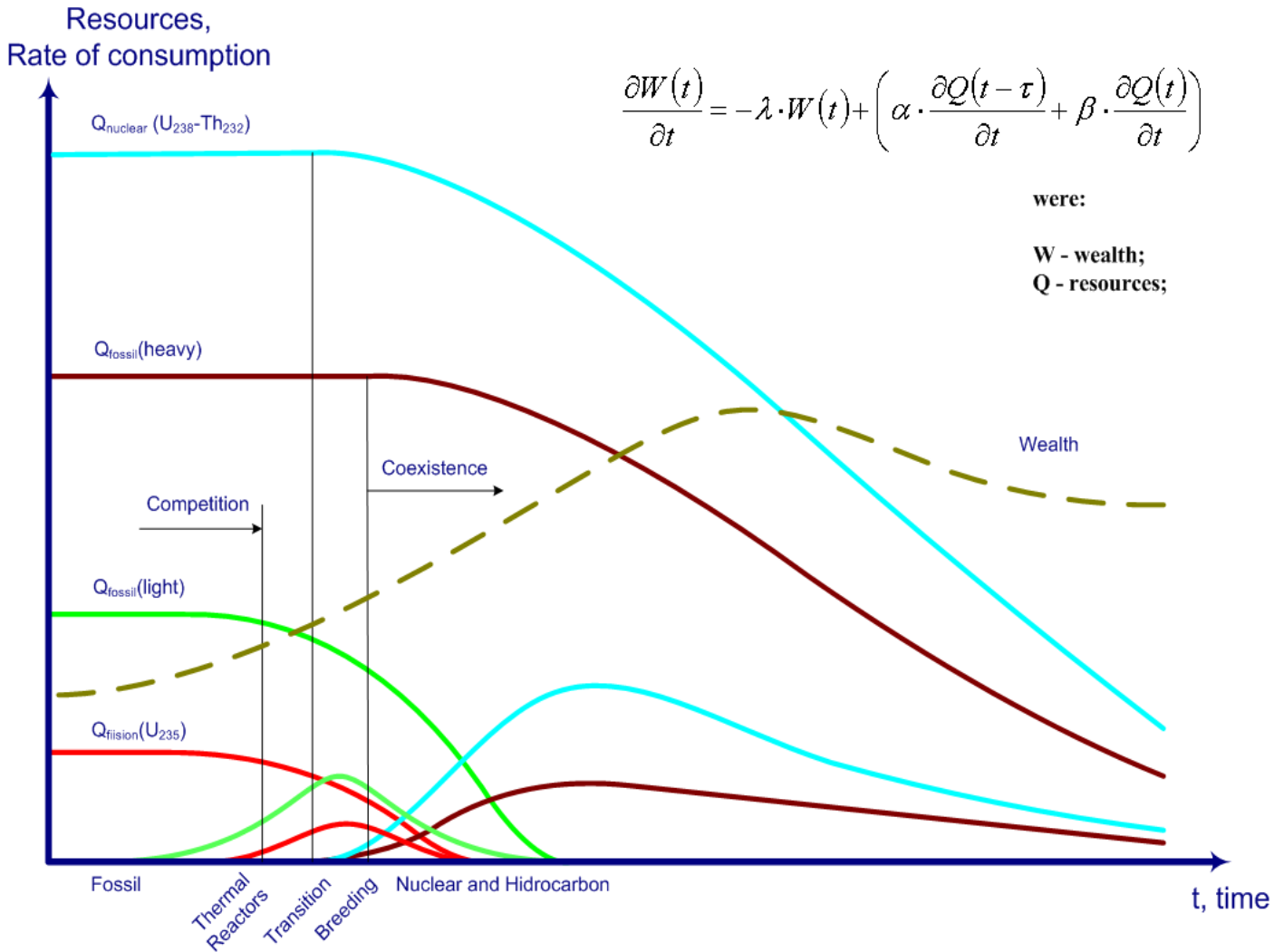
0.01%

Легкие углеводороды: 500 млрд т.н.э.

Тяжелые углеводороды > 5000 млрд т.н.э.

Извлекаем: > 10 – 14 распадов на атом  
Захораниваем: < 0.2 распада на извлеченный атом

# Схема перехода от конкуренции энерготехнологий к их взаимосогласованному сосуществованию





# Мировая ядерная энергетика в 2016 году

## СОСТОЯНИЕ:

**449** действующих блоков АЭС (в 2015 г. – 441 блок) суммарной установленной мощностью 392 ГВт(э) (растет с 2011 г.)

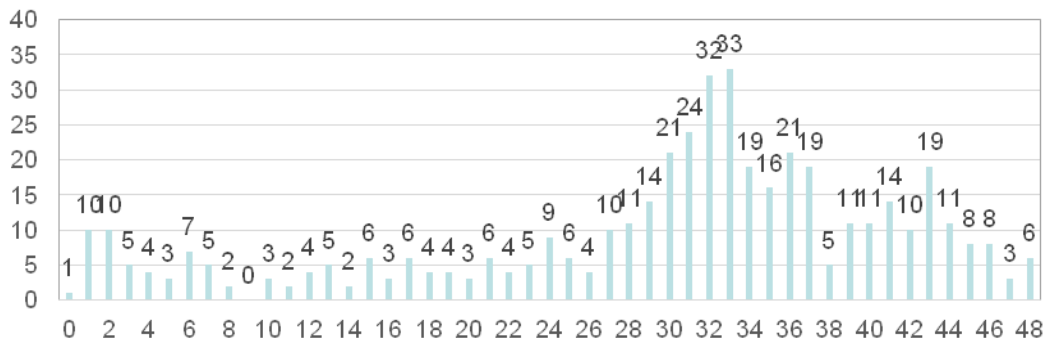
**60** блоков строятся в **15** странах.

## СОБЫТИЯ:

**10** ядерных энергоблоков подключены к сети: **5** – в Китае, по **одному** – в Южной Кореи, Индии, Пакистане, США и России.

Начато строительство **3** ядерных энергоблоков: **2** – в Китае, **один** – в ОАЭ.

Окончательно остановлены **3** ядерных энергоблока: по **одному** – в России, США и Японии (в 2015 году – 7 в Германии, Великобритании и Японии).



# Мировая ядерная энергетика в 2017 году

## СОСТОЯНИЕ:

**448** действующих блоков АЭС (в 2016 г. – 450 блоков)  
суммарной установленной мощностью **391,7 ГВт(э)** (в 2016 г. – 392,0).

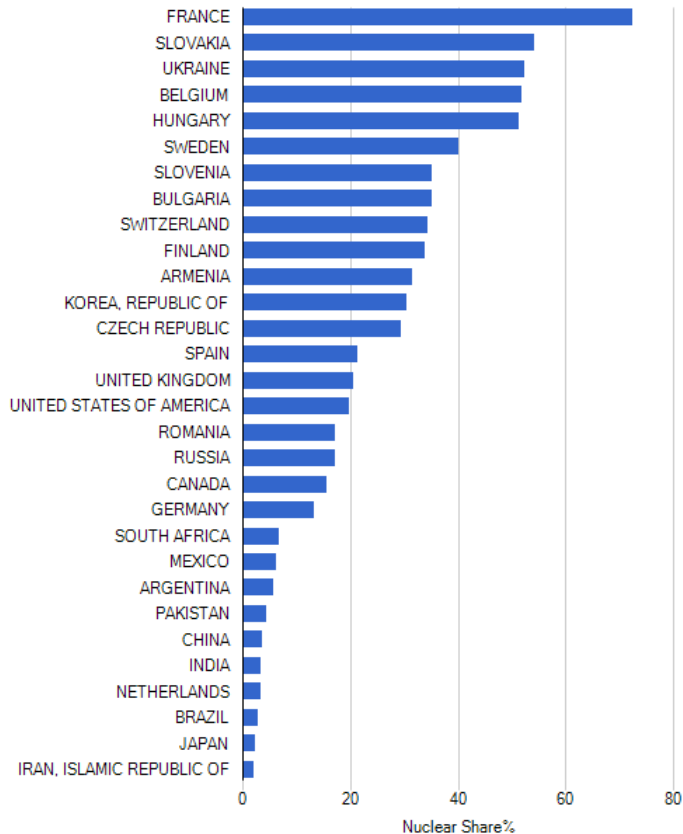
Строится **59** блоков (в 2016 г. – 61).

## СОБЫТИЯ:

**3** ядерных энергоблока  
подключены к сети:  
**2** – в Китае, **1** – в Пакистане.

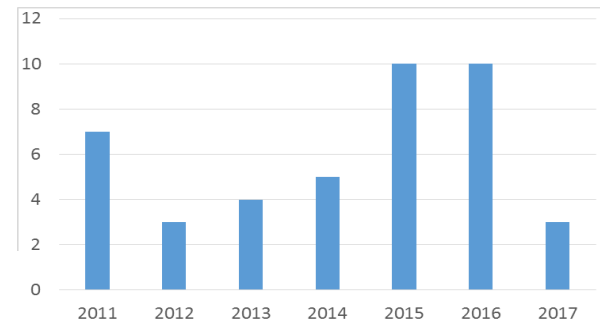
Начато строительство трех  
ядерных энергоблоков: в  
Южной Корее, Индии и  
Бангладеш.

Окончательно остановлены  
**4** ядерных энергоблока: в  
Южной Корее, Швеции,  
Испании и Японии (в 2016 г.  
– 2)

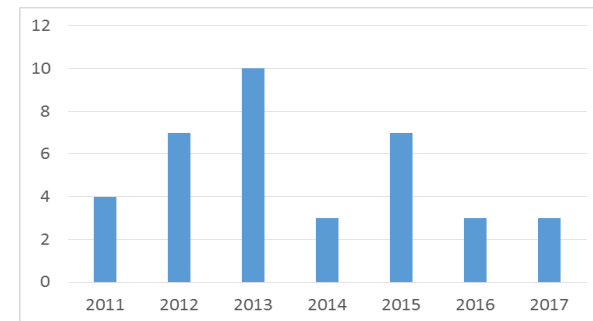


Ядерная доля в электрогенерации

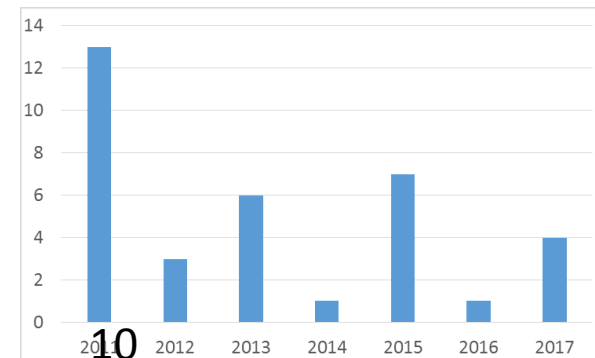
Подключение к сети по годам



Начало строительства по годам



Окончательный останов по годам



10

# Мировая ядерная энергетика в 2018 г.

## СОСТОЯНИЕ:

**453** действующих блока АЭС суммарной установленной мощностью **399,4 ГВт(э)** (в 2017 г. – 393,8).

Строится **55** блоков

## СОБЫТИЯ:

**Подключены к сети:**

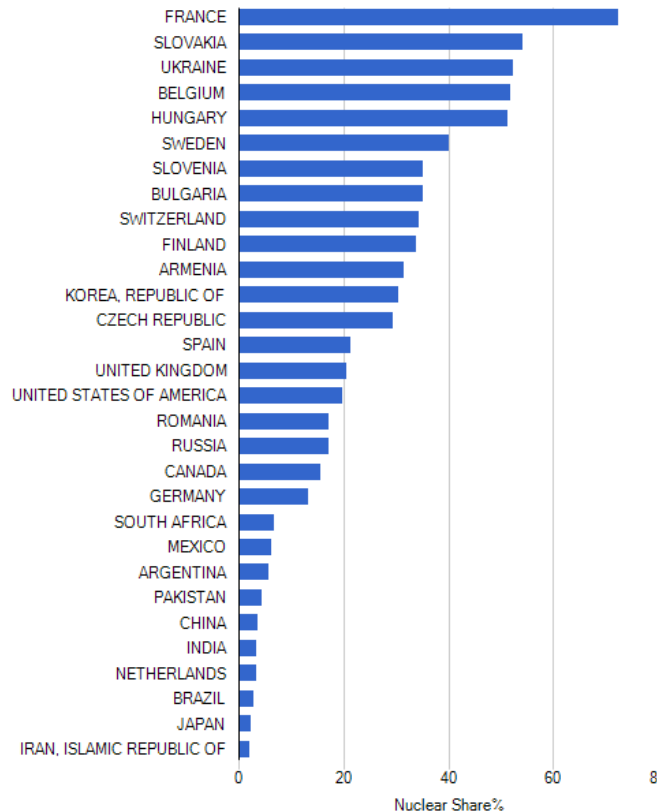
7 – Китай      2 – Россия

**Начато строительство:**

1 – Турция      1 – Россия  
1 – Бангладеш   1 – Ю. Корея  
1 – Великобритания

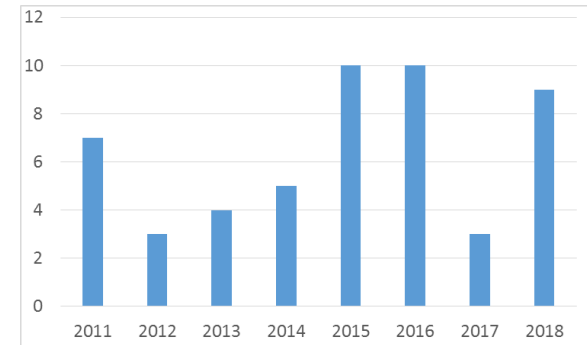
## Распределение действующих реакторов по типам, %:

Легководные	82,1
Тяжеловодные	10,8
Водографитовые	3,3
Газографитовые	3,1
Жидкометаллические	0,7

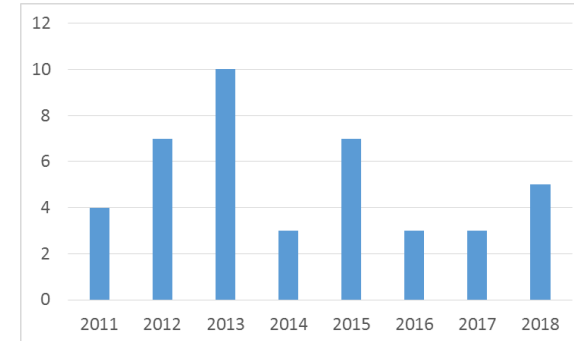


Ядерная доля в электрогенерации

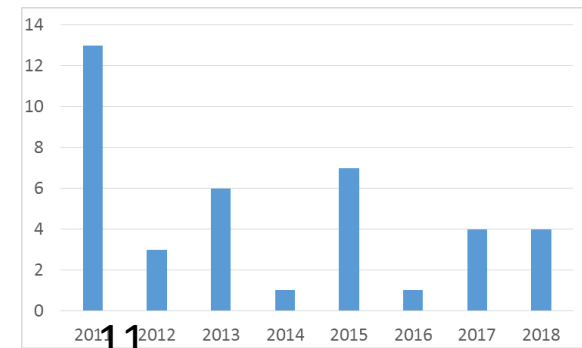
## Подключение к сети по годам



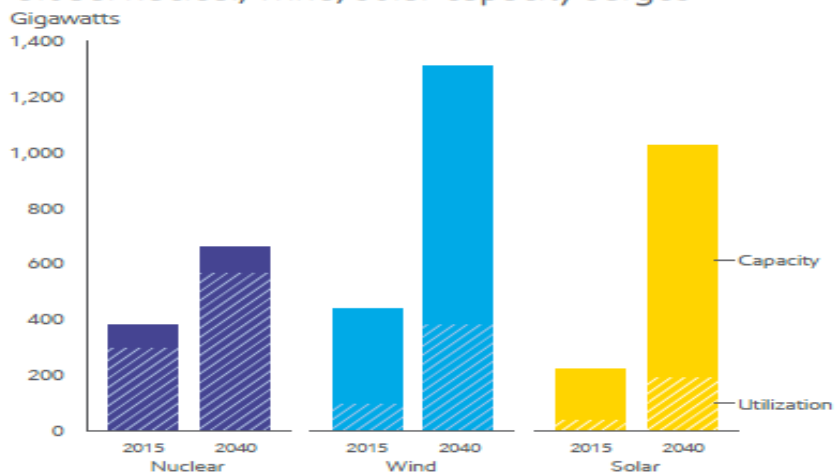
## Начало строительства по годам



## Окончательный останов по годам



## Global nuclear, wind, solar capacity surges



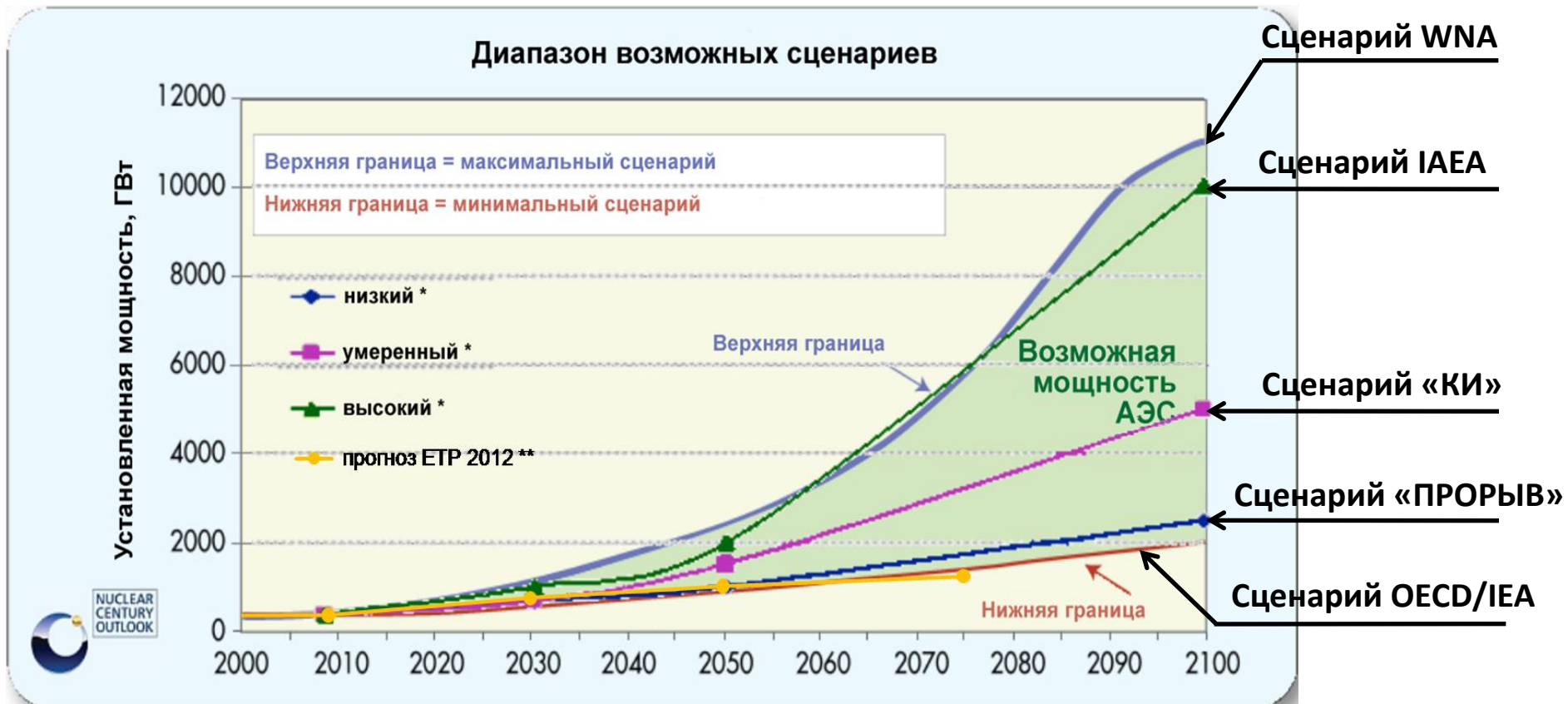
- Global nuclear, wind and solar see significant capacity additions
- Nuclear capacity grows by 75 percent 2015–2040, led by China
- Although utilization improves over time, intermittency limits worldwide wind and solar capacity utilization to nearly 30 percent and 20 percent, respectively
- Wind and solar together provide similar electricity as nuclear in 2040

# 2017 Outlook for Energy: A View to 2040

The *Outlook for Energy* is ExxonMobil's global view of energy demand and supply through 2040. We use the data and findings in the book to help guide our long-term investments. It also highlights the dual challenge of ensuring the world has access to affordable and reliable energy supplies while reducing emissions to address the risk of climate change. We share the *Outlook* with the public to help promote a better understanding of the issues shaping the world's energy needs.

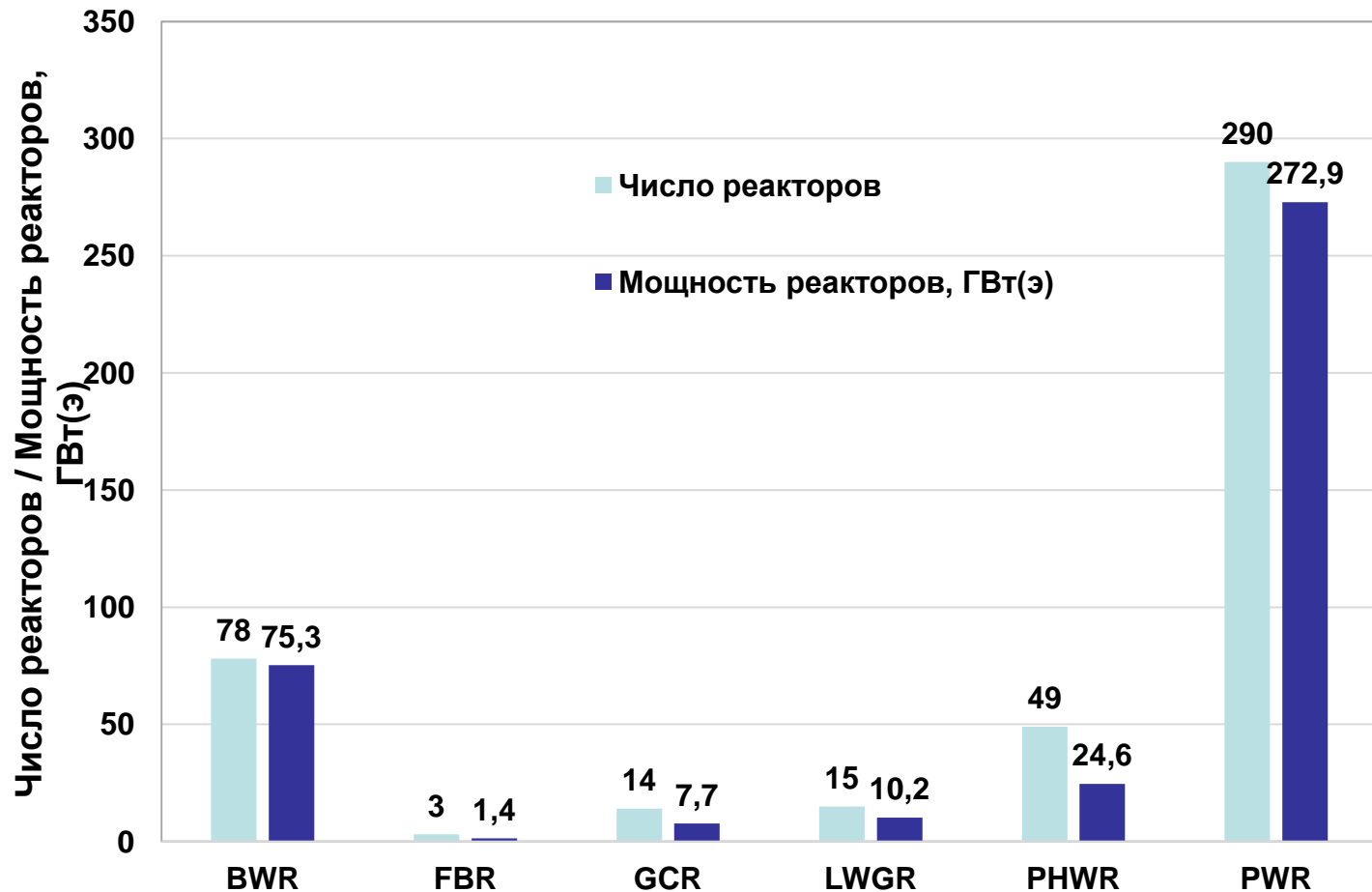
Why is this important? Because energy is fundamental to modern life. It is critical to human progress and to improving living standards for billions of people across the globe.

# Сценарии развития ЯЭ в мире (WNA - 2008; IAEA - 2010; IAE - 2012)

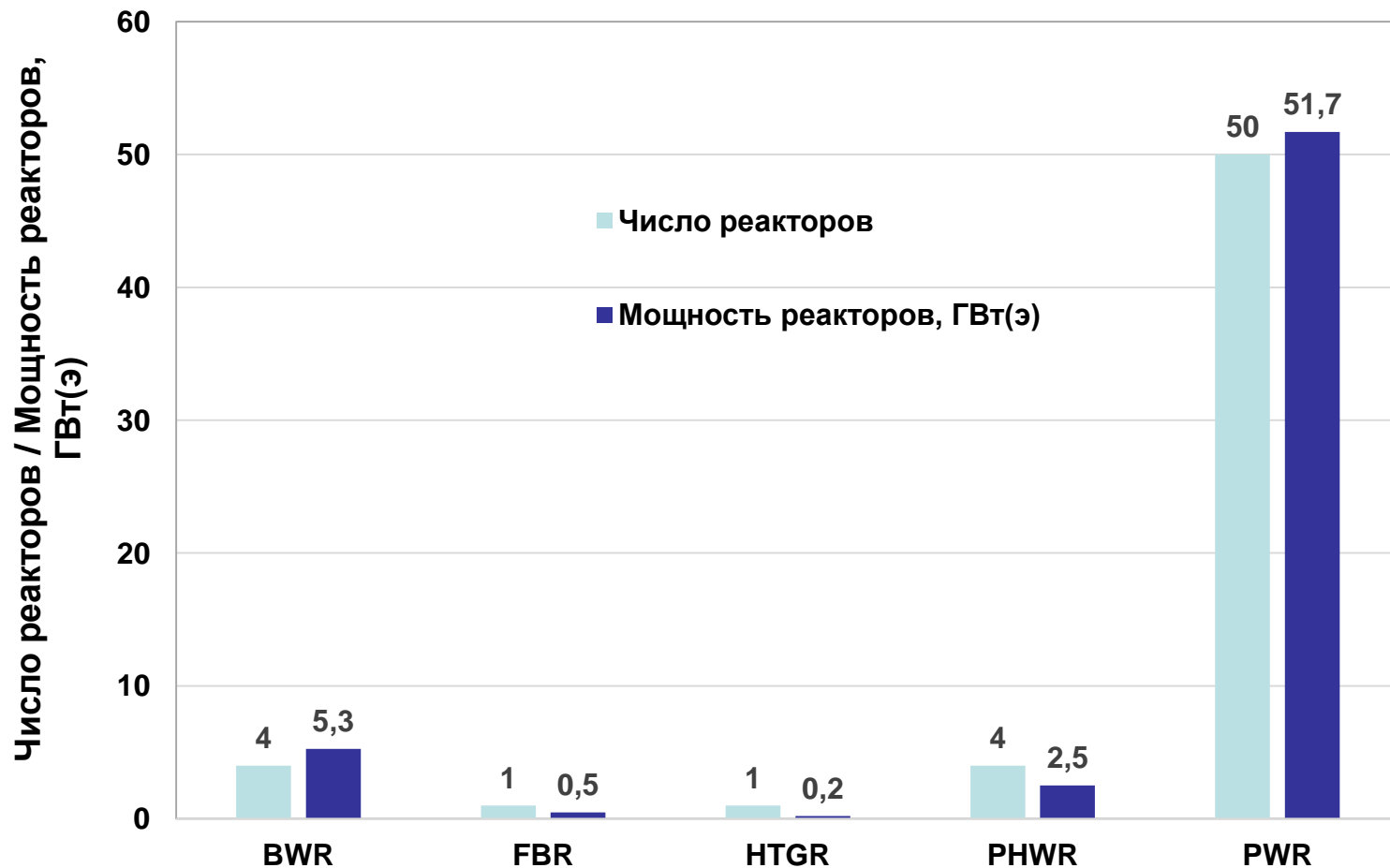


\* Nuclear Energy Development in the 21st Century: Global Scenarios and Regional Trends. – Vienna: IAEA, 2010. – (IAEA Nuclear Energy Series № NP-T-1.8)

\*\* Energy Technology Perspectives 2012. Pathways to Clean Energy System. – France: OECD/IEA, 2012



Количество и мощность работающих в мире реакторов различного типа (по данным IAEA/PRIS на 1 марта 2017 г.)



Количество и мощность строящихся в мире реакторов различного типа (по данным IAEA/PRIS на 1 марта 2017 г.)

# Открытый ядерный топливный цикл

в АЭ есть два вида ресурсов:

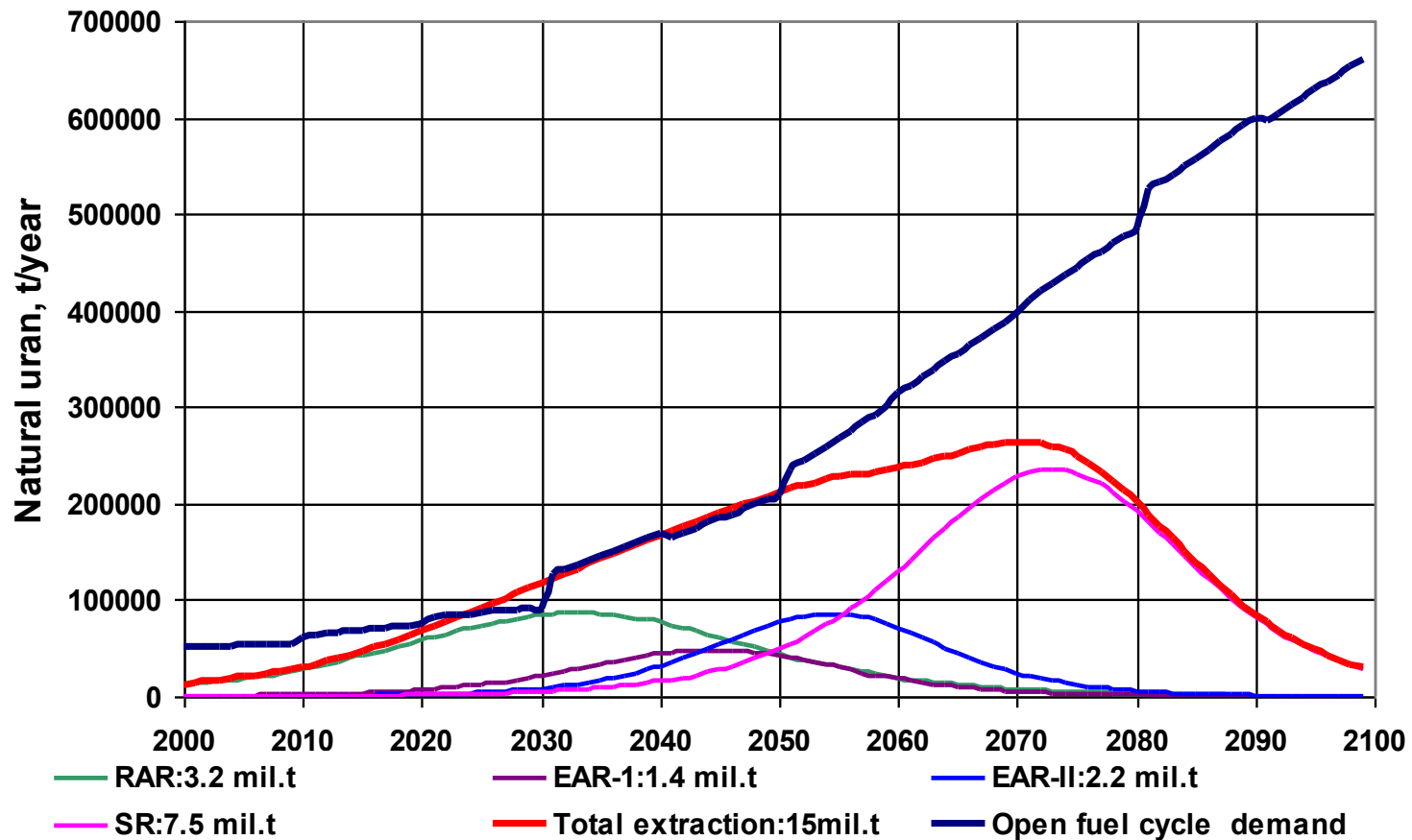
- уран 235 как источник нейтронов (нейтронного потенциала) и энергии (создание управляемого и самоподдерживающегося нейтронного поля с одновременным получением энергии)
- уран 238 и торий 232 как источники энергии (которые в нейтронном поле могут превращаться в плутоний и уран 233 и обеспечивать при определенных условиях режим поддержания нейтронного потенциала системы АЭ).

Открытый ЯТЦ полагает использование урана 235, в этом случае АЭ не может претендовать на роль энерготехнологии, способной решать проблемы энергобезопасности и устойчивого развития, поскольку **АЭ встречается с теми же институциональными, экономическими и «геологическими» проблемами, что и другие технологии, основанные на использовании исчерпаемых органических ресурсов.**



Потребности в природном уране (открытый топливный цикл)  
2030 г. - 600ГВт и 2050 г - 1500 ГВт

**Uranium demand and annual extraction potential .**



# Замкнутый ядерный топливный цикл

- Для того чтобы АЭ могла решить поставленные перед ней (в рамках международного проекта ИНПРО) задачи по участию в обеспечении устойчивого развития она должна перейти на использование урана 238 и тория 232.
- Эффективное использование урана 238 и тория 232 требует выведения продуктов деления из нейтронного поля. Это как бы внутренне присуще жидкотопливным реакторам, но в твердотельных реакторах это связано с организацией внешнего топливного цикла. Чем меньше продуктов деления будет в нейтронном поле, тем эффективнее можно использовать ядерное топливо.
- Замыкание ЯТЦ по МА незначительно повышает нейтронный потенциал системы АЭ, но существенно может помочь в решении проблем захоронения РАО, особенно если еще долго не будет принято политическое (юридическое) решение касательно того, что (по каким нуклидам необходимо замыкание ЯТЦ), в каком количестве (глубина выгорания, уровень потерь), как и где можно захоранивать (помещать в конечное состояние, не требующее дальнейшего контроля).

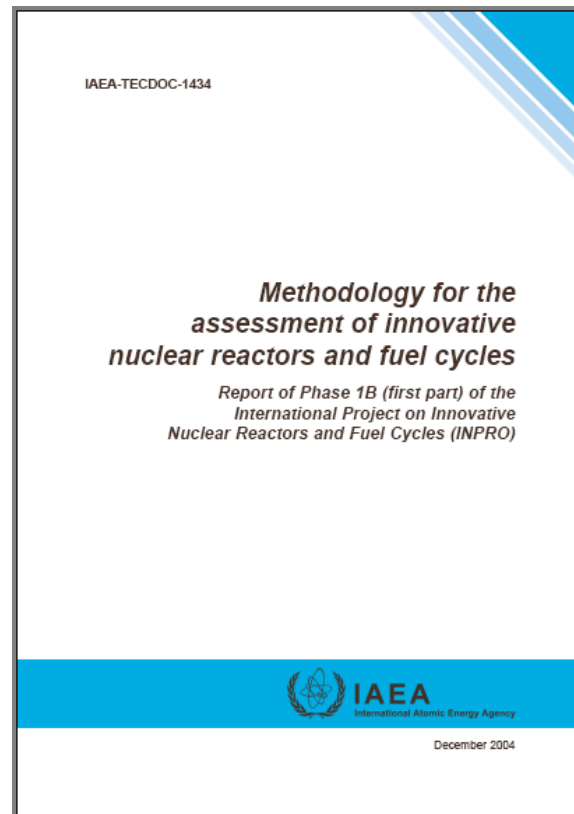
# Международный ИНовационный ПРОект (ИНПРО) МАГАТЭ по разработкам АЭС и ЯТЦ для будущей ЯЭ

Методология INPRO является инструментом, который может использоваться:

- Для анализа ИЯЭС на предмет ее способности выполнить требования устойчивого развития;
- Для сравнения различных ИЯЭС, чтобы найти предпочтительные или оптимальные ИЯЭС, удовлетворяющие требованиям данного государства;
- Для определения НИР, ОКР, демонстрационных установок, требуемых для совершенствования имеющихся установок и создания недостающих новых компонентов ИЯЭС.

*Оценка должна включать все компоненты системы ИЯЭС для того, чтобы получить целостное видение и быть уверенным в том, что система отвечает требованиям устойчивости.*

## Методология ИНПРО IAEA-TECDOC-1434



## Задачи, которые решает проект:

- **организация форума, на котором эксперты и политики из развитых и развивающихся стран могут обсуждать технические, экономические, экологические, связанные с нераспространением и социальные аспекты ядерно-энергетического планирования, а также разработки и развертывания инновационных ядерно-энергетических систем (ИЯС) в 21 веке;**
- **разработка методологии для оценки ИЯС и установление ее в форме набора рекомендаций МАГАТЭ для подобных оценок;**
- **анализ роли и структуры ИЯС на глобальном, региональном и национальном уровнях для устойчивого удовлетворения энергетических потребностей;**
- **упрощение координации международного сотрудничества в области развития и развертывания ИЯС;**
- **обеспечение особого внимания потребностям развивающихся стран, заинтересованных в ИЯС.**

# Ядерная энергетическая система (ЯЭС) (Nuclear Energy System)

**охватывает полный спектр ядерных установок и связанных с ними институциональных мер.**

В состав ядерных установок входят:

- установки для добычи и обогащения урана и/или тория, изготовления ядерного топлива,
- производства электроэнергии либо иной продукции,
- регенерации ядерного топлива,
- захоронения РАО

В жизненном цикле таких установок рассматриваются приобретение площадки, проектирование, строительство, изготовление и монтаж оборудования, ввод в эксплуатацию, эксплуатация, вывод из эксплуатации и освобождение либо закрытие промышленной площадки.

Институциональные меры состоят из соглашений, договоров, национальных и международных правовых рамок и конвенций (таких как ДНЯО, Международная конвенция по ядерной безопасности, Соглашение МАГАТЭ по гарантиям).

# Инновационная ядерная энергетическая система (ИЯЭС)

**это система, которая позволяет ядерной энергетике обеспечить значительный вклад в глобальное энергоснабжение 21го века.**

**ИЯЭС может включать как эволюционные, так и инновационные конструкции ядерных установок.**

- **Эволюционная конструкция**– такая усовершенствованная конструкция, которая достигает улучшений по сравнению с существующими конструкциями за счет небольших либо умеренных модификаций с сильным уклоном на сохранение апробированной конструкции с целью сведения технического риска к минимуму.
- **Инновационная конструкция** является усовершенствованной конструкцией, которая включает радикальные концептуальные изменения в конструкторских решениях либо компоновке систем по сравнению с существующей практикой.

## **Базовые группы «требований» «Международного проекта по инновационным реакторам и ядерным топливным циклам - ИНПРО»:**

- Устойчивость (ресурсообеспеченность, окружающая среда).
- Экономика.
- Отходы.
- Безопасность.
- Окружающая среда.
- Нераспространение.
- Инфраструктура.

## ИНПРО ТЕСДОС 1434: Экономические аспекты

**Economic Basic Principle BP1:** *Energy and related products and services from innovative nuclear energy systems shall be affordable and available.*

**Базовый принцип:** Энергия и связанные с ней изделия и услуги от ИЯЭС должны быть доступны в плане наличия (технически реализуемы) и приемлемы по цене (экономически доступны)

- Требования пользователя:
  - *Все затраты по жизненному циклу, входящие в данную систему, должны быть учтены, и стоимость произведенной ядерной энергии должна быть конкурентоспособной относительно стоимости энергии альтернативных источников;*
  - *Общий объем инвестиций, требующийся для проектирования, строительства и ввода в эксплуатацию инновационной ядерной энергетической системы включая процентную ставку за период строительства, должен быть таким, чтобы необходимые фонды инвестирования могли быть созданы;*
  - *Риск инвестиций в ИЯЭС должен быть приемлемым для инвесторов с учетом риска инвестирования в другие энергетические проекты;*
  - *Инновационные энергетические системы должны предоставлять возможность эффективного производства энергии на разных рыночных пространствах.*

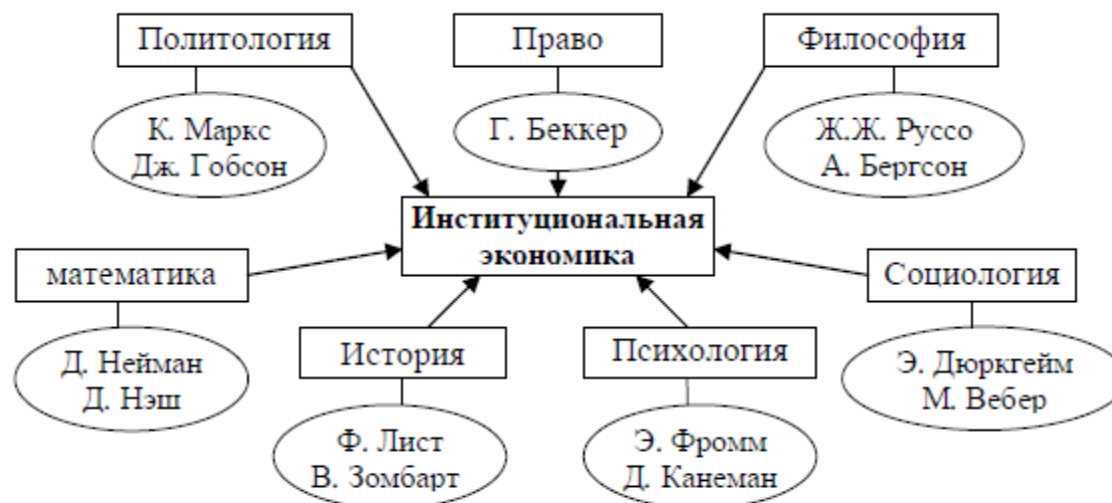


## Проблемы реализации различных переделов ЯТЦ

	Этапы	Рыночные механизмы	Решения на уровне государства	Международные соглашения
<b>Добыча</b>	запасы	+		
	ресурсы		+	
	хвосты			+
<b>Конверсия</b>		+		
<b>Обогащение</b>	продукт	+		
	отвал			+
<b>Изготовление</b>	ОЯТЦ	+		
	ЗЯТЦ		+	
<b>Облучение</b>	ОЯТЦ	+		
	ЗЯТЦ		+	
<b>Охлаждение</b>		+		
<b>Перевозка</b>				+
<b>Переработка</b>		+		
<b>Промежуточное хранение</b>	ПД	+		
	МА			+
	Плутоний			+
	Уран 235		+	
	Уран 233		+	
<b>Изоляция от окружающей среды</b>	Не окончательная	+		
	Окончательная			+

*Занимаясь экономической деятельностью, мы не знаем ни потребностей других людей, ни источников получаемых нами благ. Практически все мы помогаем людям, с которыми не только не знакомы, но о существовании которых и не подозреваем. И сами мы живем, постоянно пользуясь услугами людей, о которых нам ничего не известно. Все это становится возможным благодаря тому, что, подчиняясь определенным правилам поведения, мы вписываемся в гигантскую систему институтов и традиций: экономических, правовых и нравственных<sup>1</sup>.*

*Фридрих Август фон Хайек*



*Рис.1.5. Междисциплинарный характер институциональной экономики.*

## Потенциальные возможности решения проблем ЯЭ

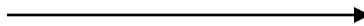
	ТР	БР	ЖСР	ТР+Б Р	ТР+БР+Ж СР
Различные сферы использования (регионы, технологии)	+	-	-	+	+
Эффективность использования ресурса (урана <sup>235</sup> , урана <sup>238</sup> , тория)	-	+/-	+	+/-	+
Утилизация минорных актинидов (Pa, Np, Am, Cm,...)	-	-	+	-	+
Утилизация плутония и минорных актинидов на завершающей стадии развития системы ЯЭ	-	-	+	-	+

Требования пользователя  
Базовые принципы  
Нормы, правила

## Система ЯЭ:

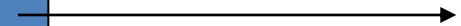
- Предприятия ядерного топливного цикла
- Реакторы на тепловых нейтронах
- Быстрые реакторы
- Реакторы выжигатели
- Термоядерные источники нейтронов

Источники  
Энергии:  
**U-238**  
**Th-232**



Источники  
Нейтронов:  
**U-235**  
**D**  
**Li**

Продукты  
деления,  
Полезные  
Радионуклиды,  
Энергия



Неядерные ресурсы

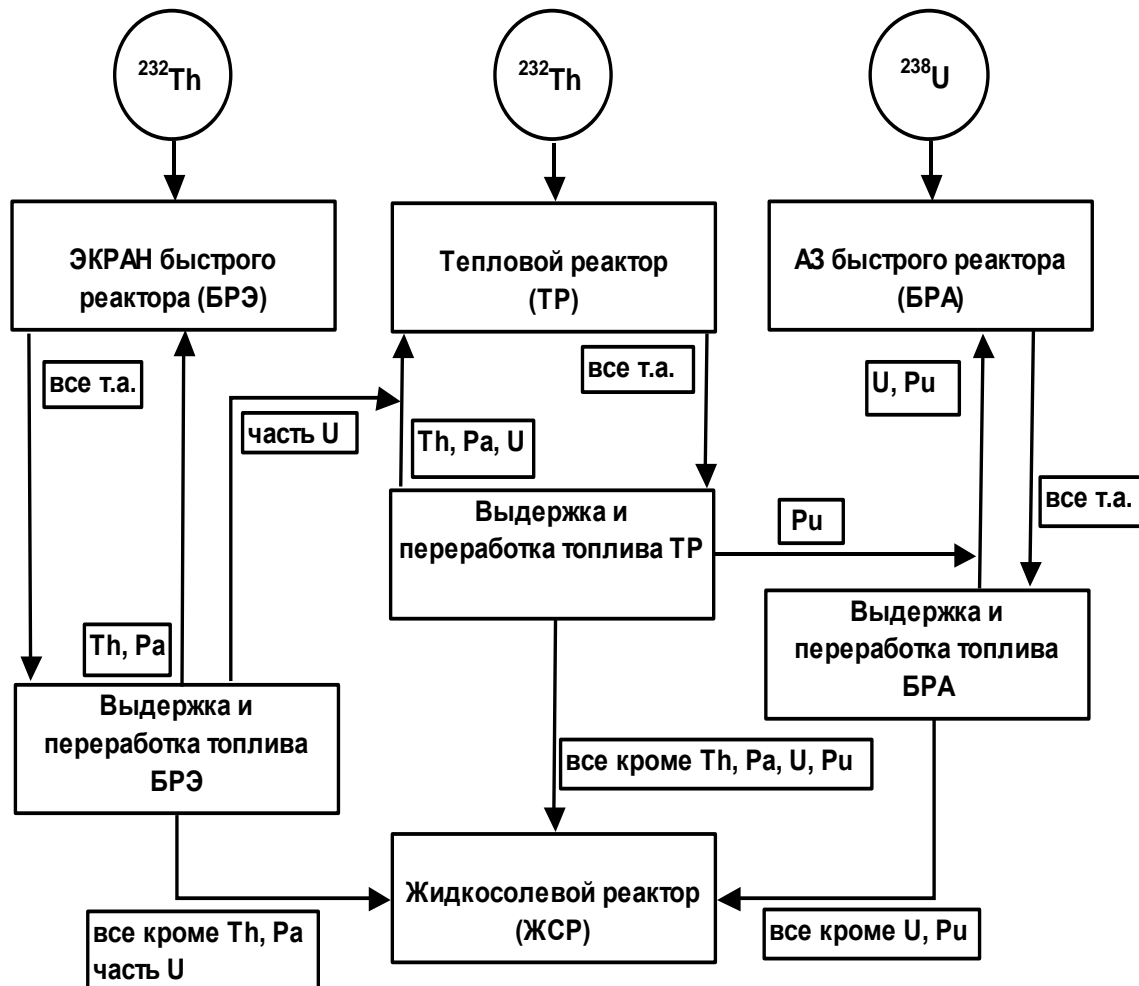


Возможности совершенствования существующих объектов ЯЭ и наполнения структуры ЯЭ недостающими компонентами.

Специфические задачи для различных типов реакторов

- Реакторы на тепловых нейтронах – расширение области использования ЯЭ, минимизация количества плутония в ЯТЦ
- Реакторы на быстрых нейтронах – обеспечение нейтронного баланса в системе ЯЭ
- Жидкотопливные реакторы - минимизация количества минорных актинидов в системе ЯЭ
- Термоядерные источники нейтронов – повышение темпов вовлечения тория-232 и урана-238 в ядерный топливный цикл, повышение нейтронного потенциала системы ЯЭ

# Структура ИЯС для варианта уран-плутоний-ториевого ЯТЦ



Доля мощности реакторов в системе

88% ТР

9% БР

3% ЖСР

Количество топлива на 1ГВт(э)

Всего в ИЯЭС

136.2 т т.н.

Во внешнем ЯТЦ

87.8 т т.н.

# Различные проекции понимания двухкомпонентности инновационной системы ЯЭ

- Реакторы на тепловых и быстрых нейтронах
- ИНПРО (ЯЭ как система) и Gen IV (отдельные реакторные направления)
- ЯТЦ (как системообразующий фактор) и множество ЯЭУ
- Источники нейтронов (уран 235, плутоний и уран 233 на складе; и «внешние»: ТИН, ускорительные системы)
- Деление тяжелых и синтез легких ядер
- **Материальная инфраструктура ИЯЭС и ее идеальный образ и интеллектуальное наполнение и сопровождение на основе различных типов моделей (сценарное моделирование для детализации постановки задачи и принятия решений, создания проекта, эксплуатации, анализа последствий реализации принятых решений)**

# Системные проблемы современной ЯЭ

(ущербность современной ядерной энергетики)

Современная ЯЭ не может претендовать на то, что она уже является основой устойчивого развития по следующим причинам:

- Неэффективное топливоиспользование (эффективный ресурс меньше, чем у нефти и газа);
- Деградация нейтронного потенциала (расходование урана-235, отсутствие воспроизводства ядерного горючего);
- Накопление отходов пропорционально энерговыработке (наступает тот момент, когда всего тарифа не хватит для обслуживания ОЯТ и РАО);
- Ограниченность масштабов и регионов использования;
- Нарастание угрозы неконтролируемого использования ядерных материалов.



## Технические проблемы Ядерной Энергетики

- Контроль и управление нейтронным полем – практически решена;
- Контроль и управление генерацией энергии – практически решена;
- Контроль и управление отводом энергии – требует инновационных подходов;
- Преобразование энергии – требует инновационных подходов;
- Контроль и управление нуклидными составами и нуклидными потоками – требует наибольших вложений ресурсов, времени и интеллекта, без решения этой проблемы ЯЭ не может стать основой устойчивого развития

# Экономическая специфика АЭ

*«Мы сами посредством так или иначе организованной денежной системы решаем, каким образом непредсказуемые экономические прибыли или потери будут распределены в обществе.»*

*Феликс Мартин «MONEY Неофициальная биография денег»*

- В ЯЭ затруднен расчет эффективности, поскольку на момент получения прибыли сделаны не все затраты, связанные с внешним топливным циклом (хранение ОЯТ, транспортировка, переработка ОЯТ, захоронение отходов, вывод из эксплуатации).
- Времена задержки производства необходимых затрат не приемлемы для современного либерального экономического механизма – слишком велик риск финансовых потерь за это время, непривычно велики как кредитные, так и юридические риски.

# Приоритет выигрышей в ближней перспективе

В области использования ядерных технологий жизненный цикл функционирования объектов, технологий таков, что необходимо оценивать как выигрыши, так и риски на весьма длительных временных интервалах, заметно превышающих времена ответственного принятия решений.

На основе имеющихся моделей и баз данных, которые позволяют оценивать как выгоды, так и риски сейчас принимаются решения, которые в принципиально большей степени ориентированы на возможные выигрыши.

Этот приоритет обусловлен и тем, что:

- выигрыши приносят пользу в первую очередь тем, кто принимает решения (пусть в дальнейшем и оказавшимся ошибочными), а последствия пренебрежения рисками ложатся на плечи принципиально большего круга лиц, государства, общества в целом или всего человечества;
- риски более отдалены во времени по сравнению с временами ожидаемых выигрышей, а это ведет к большей неопределенности как в моделях, так и в переменных, которые используются для оценки рисков, по сравнению моделями и переменными для оценки выгод;
- специалисты обладают своеобразным ясным видением того, в чем они специалисты, но они не обладают достаточной полнотой знаний в области всевозможных рисков, поскольку оценки рисков требуют более широкого набора теорий, гипотез, принципов, баз данных, чем это доступно отдельному специалисту или даже фирме и корпорации.

## Приоритет рисков в отдаленной перспективе

- Но, если нам сейчас необходимо принять решения о том отдаленном будущем, в котором наших реальных интересов в плане получения материальных ценностей в силу очевидных причин быть не может, то ситуация и акценты могут серьезно поменяться, поскольку последствия принимаемых решений могут быть катастрофическими, а выигрыши не значительными и обобщественными, и предпочтения по всей видимости сместятся с выгод на риски.

# Опасности отсутствия внимания к моделированию последствий принимаемых решений

*«Тактика без стратегии – лишь суета перед поражением»  
Сунь-Цзы (великий китайский мыслитель)*

Поскольку используемые модели для стратегического планирования не достаточно проработаны, то все то, что предлагается сейчас специалистами, ориентированными на получении эффективных решений в области их профессионального видения и понимая, весьма опасно в плане стратегии развития ЯЭ даже в случае, если специалисты искренне верят в эффективность и приемлемость того, что они сейчас предлагают внедрять для решения будущих проблем.

## Базовые физические принципы устойчивого развития ЯЭ, удовлетворение которым требует замыкания ЯТЦ

- Риск пропорционален мощности ЯЭ, а не интегральной энерговыработке (замыкание ЯТЦ по всем опасным радионуклидам);
- **Нейтронная эффективность ЯЭ должна возрастать (бридинг и внешние источники нейтронов);**
- Минимизация времени жизни (количества) опасных радионуклидов в системе (разные типы реакторов в системе ЯЭ);
- Эффективное использование радионуклидов, включая использование всего добываемого топлива (замыкание ЯТЦ по актинидам);

## Проблемы развития сложных систем

- Мы всего лишь в начале эпохи использования ядерной энергии. Если исходить из того, что мы можем эффективно потребить и уран 238 и торий 232, то эта эпоха может продлиться не менее нескольких тысяч лет.
- Можно предположить, сколько еще предстоит пройти в плане создания теории развития ЯЭ. Экономика используется для управления социумом уже тысячи лет и экономическая наука развивается уже несколько сот лет, не смотря на это, постоянно все с большей частотой происходят экономические кризисы.
- Не стоит уповать на эволюционные процессы, на метод проб и ошибок, и надеяться на то, что главное хорошая практика на основе детальной проработки текущих тактических шагов. Известна максима великого китайского военного мыслителя Сунь-Цзы о том, что тактика без стратегии – лишь суета перед поражением.
- Использование компьютеров позволило использовать принципиально более сложные финансовые процессы в экономике, это дало импульс экономическому развитию, но и выявило различные противоречия и проблемы, за счет организации структур большей сложности, которые уже не постигаются умом человеческим и требуют принятия мер по обеспечению безопасности экономических и финансовых процессов на новом уровне развития мировой хозяйственной системы.

## Пример системных сложностей

На вопрос королевы Великобритании Елизаветы II, в 2008 году заданный аристократам экономической мысли, получающим огромные зарплаты и вооруженным изощренными теориями и компьютерными моделями, о том почему никто из них не смог предсказать системный финансовый кризис 2008 года, через год они ответили, назвав главную причину происшедшей финансовой катастрофы (Чернобыльская авария не была признана глобальной катастрофой): никто из крупных игроков не сумел взглянуть на ситуацию достаточно широко. *«Money» Феликс Мартин*

Ответ Британской академии:

- «Подводя итоги можно сказать, что при всем множестве причин, объясняющих неспособность предсказать наступление кризиса, главная из них сводится к тому, что **самые блестящие умы как в нашей стране, так и за рубежом не смогли правильно оценить риски, грозившие системе в целом**».
- **«Каждый из участников процесса занимался своим делом, не выходя за рамки допустимого, но никто не дал себе труда посмотреть на всю картину целиком; индивидуальные риски не производили впечатление чрезмерных, но угроза всей системе как таковой оказалась огромной.»**



## Некоторые граничные условия постановки задачи

- ядерная энергетика единственный существующий масштабный энергетический резерв
- репродуцирование современной структуры АЭ не решает энергетических проблем. Необходимо организовать полномасштабный топливный цикл, чтобы задействовать энергетический ресурс урана  $^{238}\text{U}$  и тория  $^{232}\text{Th}$
- нельзя выделить какое-либо одно из направлений развития ядерных технологий, которое решило бы все задачи, стоящие перед ЯЭ.
- мы не знаем совокупности всех условий и требований, которые возникнут в будущем и будут определять выбор структуры ЯЭ и отбор ЯЭУ, и выбор этот предстоит делать не нам.
- существующие, разрабатываемые и предлагаемые реакторные направления не обладают ни в отдельности, ни в их совокупности необходимым и достаточным для осуществления убедительного выбора набором характеристик, физических и математических моделей, экспериментальной и технологической базами. .

## Проблемы перехода к масштабному развитию ЯЭ

- Ядерная отрасль уже настолько масштабна, что в ней могут преуспеть люди с разными интересами и с разным образованием и разных специальностей. Но это не значит, что от этого преуспеет и отрасль.
- Для ее преуспевания нужна теория развития отрасли, ее можно и нужно развивать с разных направлений, это задача не одного гения или великого ученого или конструктора или даже организации научного руководителя...

## Проблемы перехода к масштабному развитию ЯЭ

- Принципиальным моментом является использование урана 235 и как источника нейтронов, и как источника энергии. Без него все остальные хлопоты бессмысленны, не будет урана 235, причем дешевого, доступного, не будет нужды и в эффективных специалистах, кроме тех, кто будет заниматься выводом предприятий ЯЭ из эксплуатации.

## Проблемы перехода к масштабному развитию ЯЭ

- Можно рассматривать ЯЭ как необходимую часть энергетики вообще, но с энергетикой вообще еще нужно разобраться - что это такое - энергия, чем мы пользуемся на самом деле, когда пользуемся энергией и почему мы забрели с помощью научного подхода в пространство нересурсообеспеченного богатства, выбраться из которого без ЯЭ мы не можем (естественно это гипотеза, но пока лучшей нет).

## Проблемы перехода к масштабному развитию ЯЭ

- Чем бы специалист не занимался в области ядерной энергетики, его параллельной задачей должно стать стремление к образованности в области энергетики вообще. Это может помочь использовать опыт и те факты, которыми данный специалист владеет, при построении общей теории энергетики, без которой устойчивое развитие невозможно.

## Некоторые выводы

- Энергетика – силовая часть системы управления природными процессами. Устойчивое развитие это не столько усиление средств управления, сколько более глубокое понимание того, чем и с какими целями управляем.
- ЯЭ – это новые качества, которые мы еще должны осознать и выработать соответствующие новые понятия и новые образы, доступные не только для осмысления специалистами по ЯЭ, но и теми, кто может содействовать ее «вживлению» в устойчивый хозяйственный процесс с учетом экологических ограничений.
- В принципе, ЯЭ и ядерные технологии при соответствующей организации их использования могут позволить нам не только повышать эффективность «фотосинтеза», но и более адекватно на уровне новых теорий принимать своевременные экономические и политические решения.

**Благодарю Вас  
за внимание!**

