

НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



Цифровизация как необходимое условие развития системы ядерной энергетики: *история и перспективы*

Субботин Станислав Анатольевич

**Конференция МО ЯОР «Цифровая атомная энергетики:
преимущества и безопасность»**

**12 октября 2018 года
НВ АЭС**

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.)

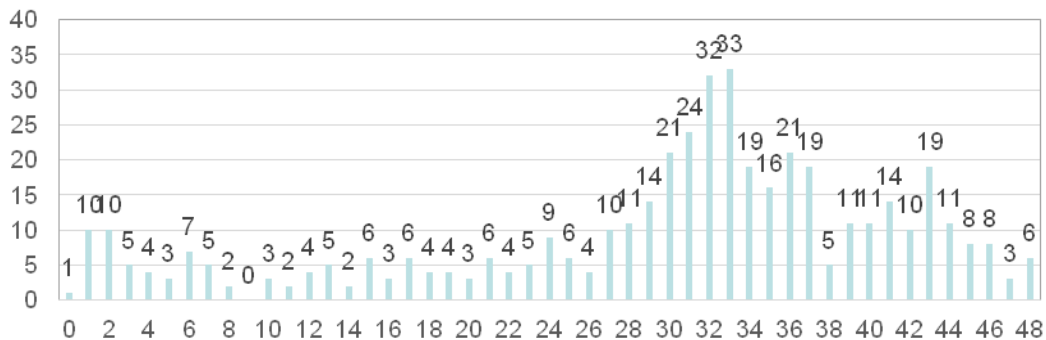
60 блоков строятся в **15** странах.

СОБЫТИЯ:

10 ядерных энергоблоков подключены к сети: **5** – в Китае, по **одному** – в Южной Корее, 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).

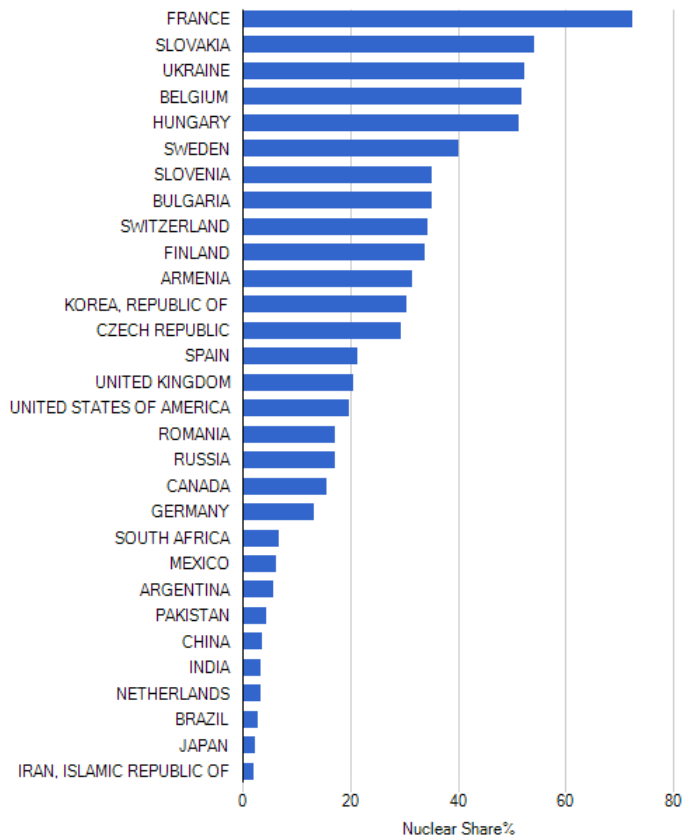
Строится **59** блоков (в 2016 г. – 61).

СОБЫТИЯ:

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

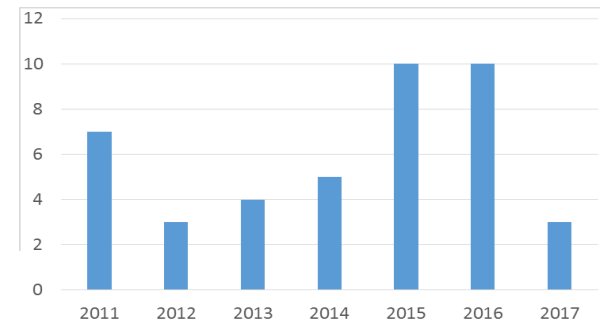
Начато строительство трех
ядерных энергоблоков: в
Южной Корее, Индии и
Бангладеш.

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

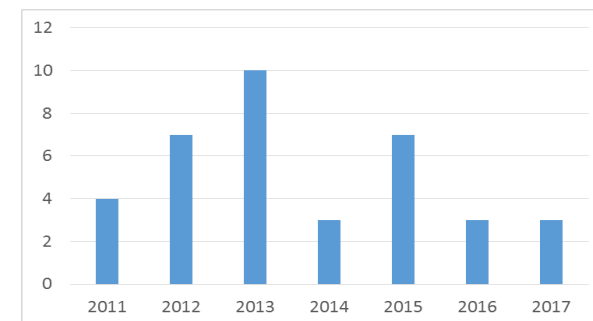


Ядерная доля в электрогенерации

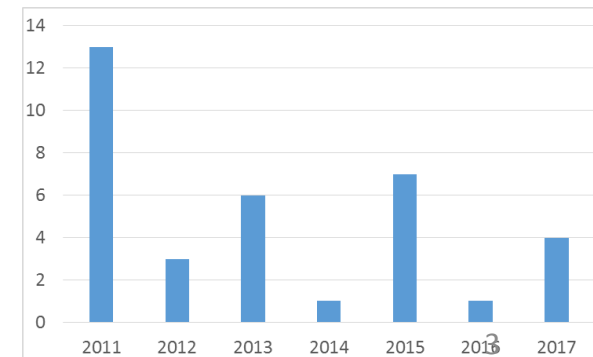
Подключение к сети по годам



Начало строительства по годам



Окончательный останов по годам



Условия развития ЯЭ

- То, что сейчас вкладывается в ЯЭ - это на самом деле кредит, выдаваемый под гарантии того, что ЯЭ обладает практически неисчерпаемым ресурсом и потенциалом стать основой устойчивого развития и решения проблем энергетической безопасности.
- Все это требует развития ЯЭ как масштабной системы, не конфликтующей с природной средой (отвечающей определенным принципам, требованиям, нормам, правилам) и способной вписаться в гигантскую систему институтов и традиций: экономических, правовых, нравственных.

Механизм развития ИЯЭС

- При постановке задачи следует исходить из базового экономического принципа устойчивого развития ИЯЭС (ИНПРО): Энергия и связанные с ней изделия и услуги от инновационных систем ядерной энергии должны быть доступны в плане наличия и приемлемы по цене, или другими словами **ИЯЭС должна быть технически реализуема с помощью экономических методов**, поскольку других способов ее масштабной реализации сейчас нет.
- При этом исходя из того, что фундаментальной предпосылкой классической экономики является то, что богатство и уровень жизни растут в результате преследования участниками рынка долговременной личной выгоды (А.Гринспен), **необходимо так рационально поставить задачу развития ИЯЭС как системы, чтобы ее структура, масштабы и цели могли стать интересны практически всем** тем заинтересованным производителям и потребителям услуг ЯЭ, которые сейчас видят друг в друге конкурентов или противников.

Задача

«Я могу ошибаться, а вы можете быть правы; сделаем усилие, и мы, возможно, приблизимся к истине» К.Поппер

Описание, понимание, интерпретация
постановки задачи (природа, человечество,
энергетика, ядерная энергия):

- история ЯЭ и экономики
- проблемы дальнейшего развития
- приемлемые асимптотические структуры и масштабы ЯЭ

Постановка задачи - 1

- Пока мы не знаем, что делать, но у нас есть надежда или просто предположение, что **цифровизация** (*создание инструментов, помогающих людям актуализировать для себя эту проблему, привлечь интерес к собственному будущему, но не на уровне предположений и мнений, а на самом передовом уровне, который доступен в области теорий выстраивания развития сложных систем*) нам **может помочь решить очень сложную задачу, связанную с развитием ЯЭ как системы**, и мы пока можем предложить только видение проблем, потенциалов, неизбежных (истинных?) моментов в будущем, то есть продемонстрировать **потенциалы, перспективы, проблемы** и возможную постановку задачи с предварительным анализом возможных асимптотических решений.

Постановка задачи - 2

- То есть: многие согласны, что нужно создавать систему ЯЭ, у некоторых есть видение того, что должно быть в будущем, наша **задача заключается в поиске модели перехода** (*динамическая компьютерная модель системы ЯЭ, встроенной в системы: природную, социальную, экономическую, правовую, ...*) **из настоящего** (которое нужно понять) **в устойчивое и надежное будущее** (нужно создать компьютерный образ).

Энергия и ресурсы

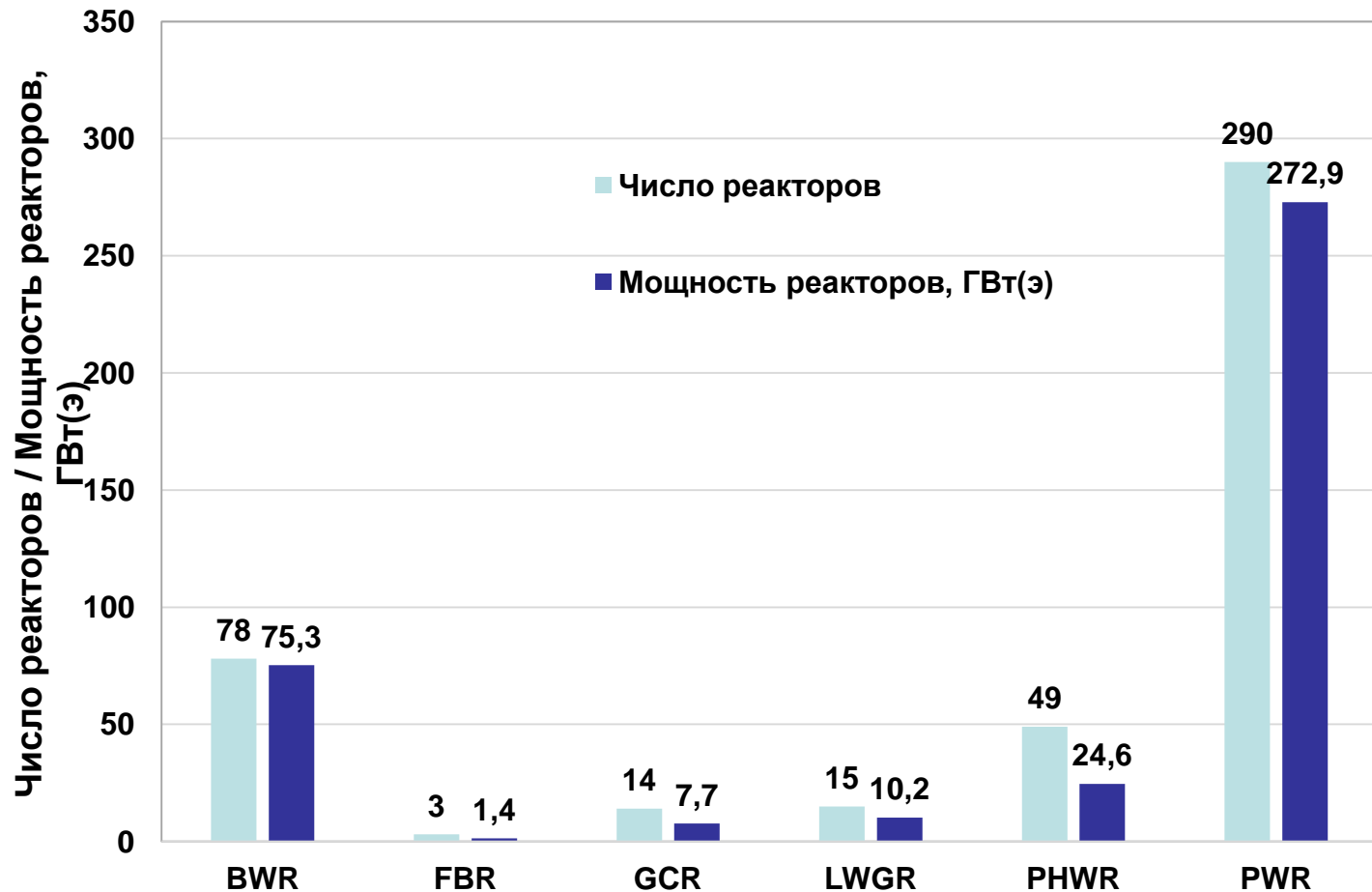
«В мировом масштабе выживет та страна, которая в точности будет знать свои ресурсы, сумеет направить на их использование народные духовные силы» - В.И.Вернадский

Картина Мира по К.Попперу:

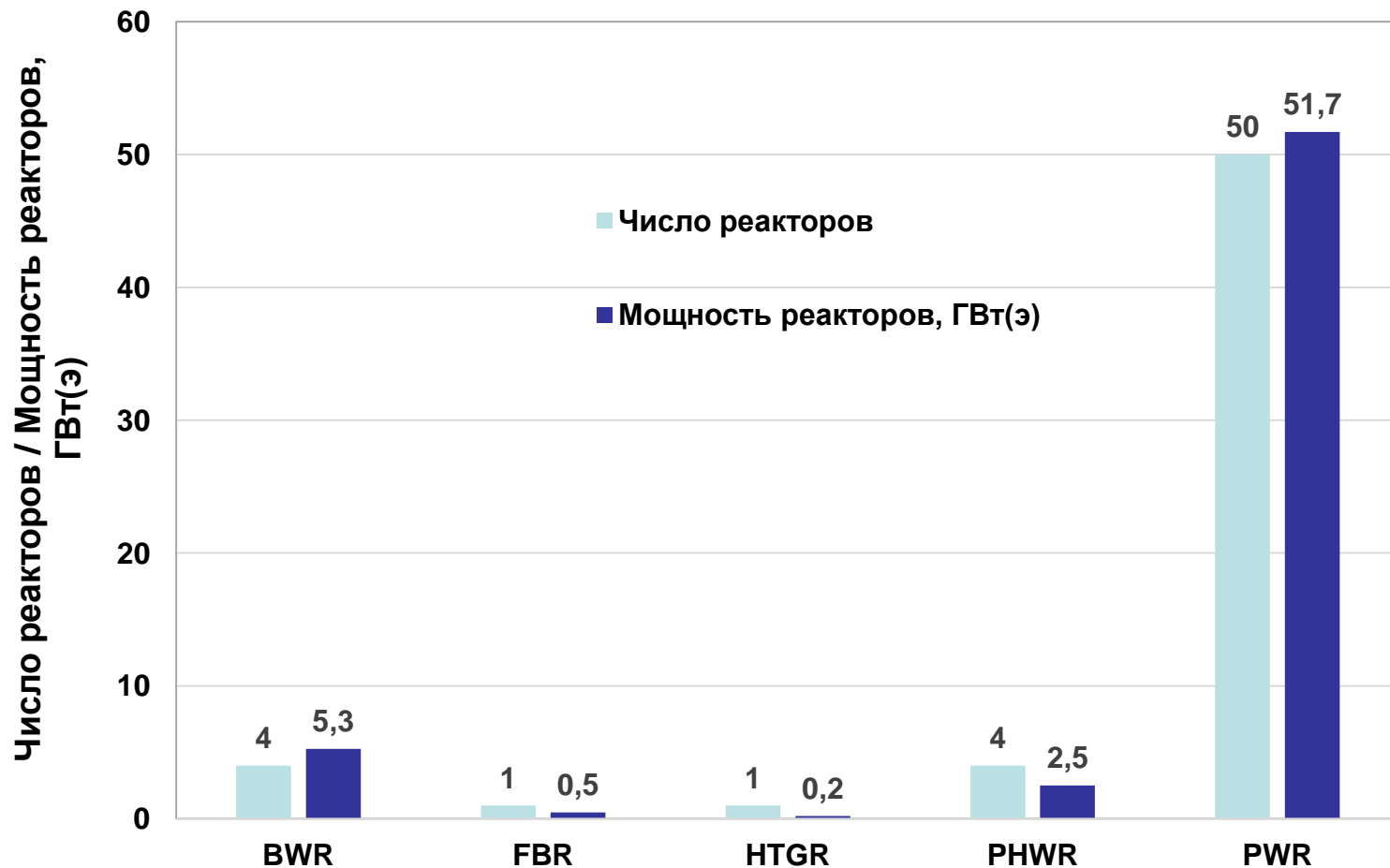
- Мир 1 – **реальность** (цифровизация для повышения эффективности работы техносферы)
- Мир 2 – **ментальность** (цифровизация для помощи построения ментальных образов и облегчения процессов образования, понимания, согласования действий);
- Мир 3 – культура, **наука** (цифровизация для создания динамического образа развивающейся системы ЯЭ для реализации хозяйственной деятельности по созданию системы ЯЭ, отвечающей принципам устойчивого развития)

Причины превалирования легководных реакторов

- Это направление наилучшим образом смогло воспользоваться донорными технологиями (материалы, теории, ресурсы, навыки) и специальными наработками оборонных направлений (разделение изотопов, транспортные ЯЭУ)
- Дальнейшие перспективы развития ЛВР связаны с созданием многокомпонентной системы ЯЭ, требующей соответствующей теоретической базы.



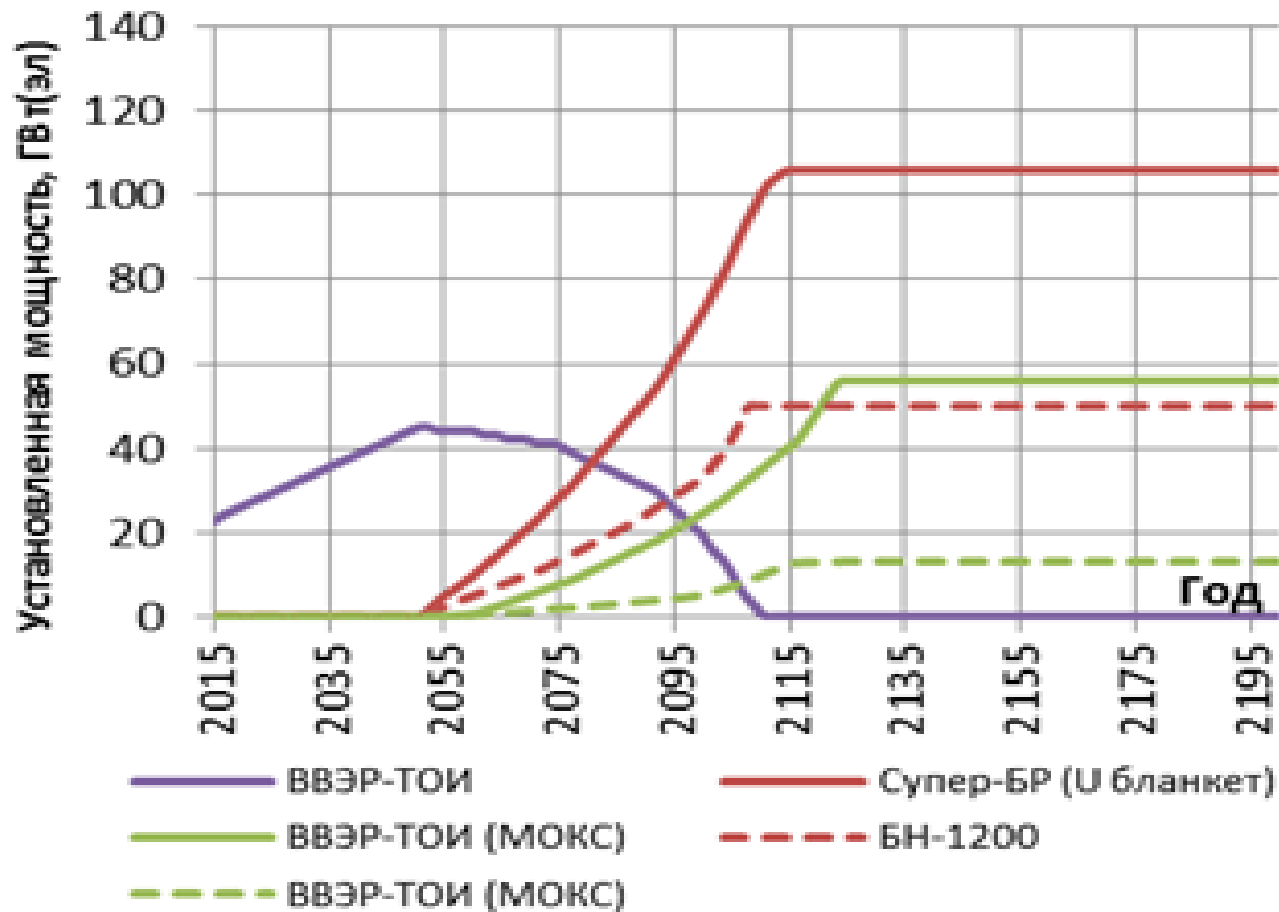
Количество и мощность работающих в мире реакторов различного типа (по данным IAEA/PRIS на 1 марта 2017 г.)



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

Влияние характеристик БР на масштабы развития двухкомпонентной ЯЭ

(программный комплекс *DESAE* – расчет материальных балансов и
экономических показателей)



Особенности переходного периода развития ЯЭ:
Эволюция АЭС от конкуренции и выживания отдельных установок к системе ЯЭ, отвечающей требованиям устойчивого развития

До тех пор пока система АЭ не появилась и не накоплен опыт ее эксплуатации, не стоит ожидать появления устойчивых требований или регламентов, и приходится **при принятии решений опираться на анализ, основанный на исследовании возможных сценариев развития как системы АЭ, так и изменения условий и целей ее развития, помогающий выработать рекомендации в плане:**

- Прогнозирования целей и задач на разные отрезки времени и разные возможные условия;
- Прогнозирования изменений условий, возникновения опасностей и угроз;
- Поиска путей решения выявленных и прогнозируемых проблем и использования для этого различных возможностей и ресурсов;

при этом имея в виду, что **опасности и угрозы реализуются сами, а над возможностями необходимо работать заблаговременно.**

Прогнозирование на основе моделей как необходимое условие выявления проблем и парадоксов в процессе развития системы ЯЭ

- Расширение постановки задачи
- Рассмотрение данной задачи как части более сложной системы
- Углубление моделей и расширение образа объекта
- Увеличение временных рамок рассмотрения
- Поиск необходимых для решения ресурсов: знания, время, специалисты, финансы...
- Выявление противоречивости постановки задачи

Схема

Постановки «экономической» задачи создания ИЯЭС с ЗЯТЦ

- Сколько нужно средств и каких для входа в «бизнес», связанный с ИЯЭС с ЗЯТЦ (финансы, технологии, НИР, правовое обеспечение собственности, ответственности за обращение с ОЯТ и РАО; обеспеченность ресурсами нейтронов, урана, тория; наличие рынков радионуклидов, способов изоляции РАО от среды обитания...).
- Для входа в бизнес важно **понимание** того, что это такое...
- **Понимание** – это мышление, использующее **понятия**...
- **Выработка понятий** требует организации соответствующего процесса познания...
- **Познание** – процесс, сопровождающий деятельность и общение людей и выполняющий функции обеспечения всего этого идеальным(и) образ(ом/ами)...



Место энергетики в мировом хозяйстве

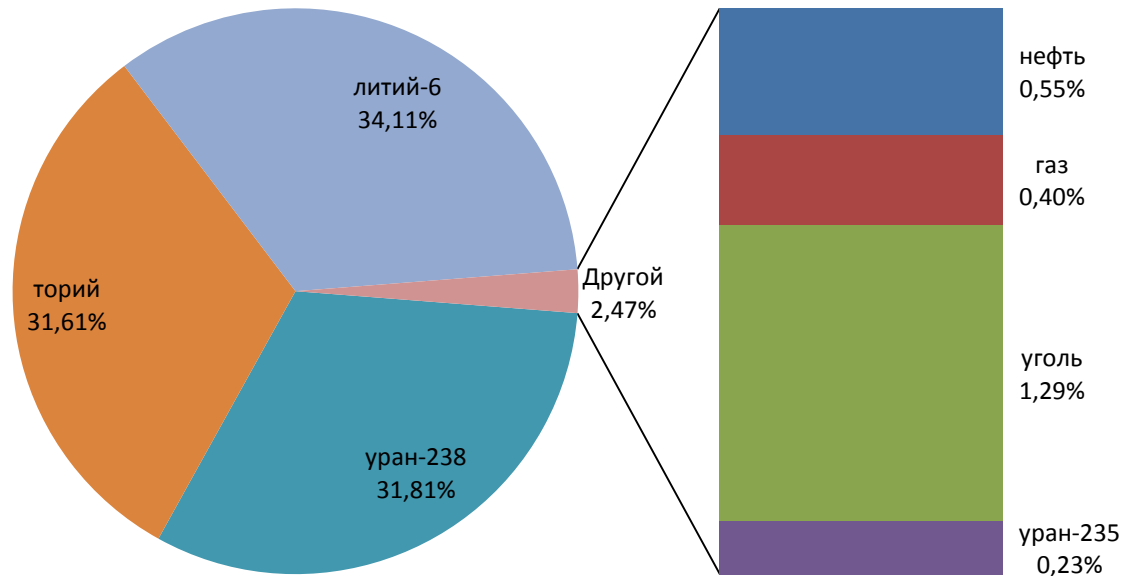


«Энергетика... это не отрасль экономики, а система трансформации всех потенциальных ресурсов в совокупный капитал социума» В.В.Бушуев

Энергетика

- силовая часть системы управления механизмом получения и распределения природных благ

Мировое распределение энергетических ресурсов, %



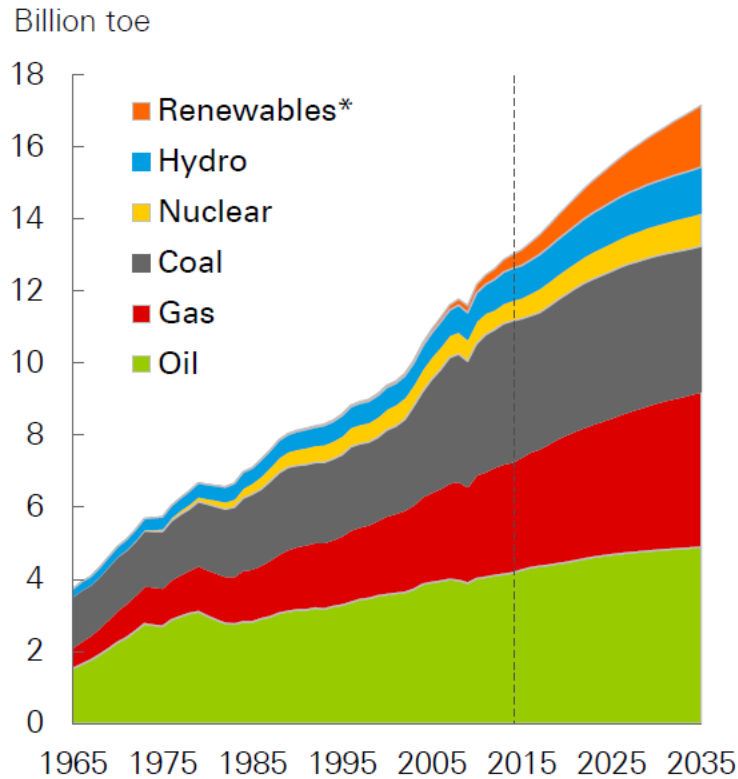
Исходные предположения:

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

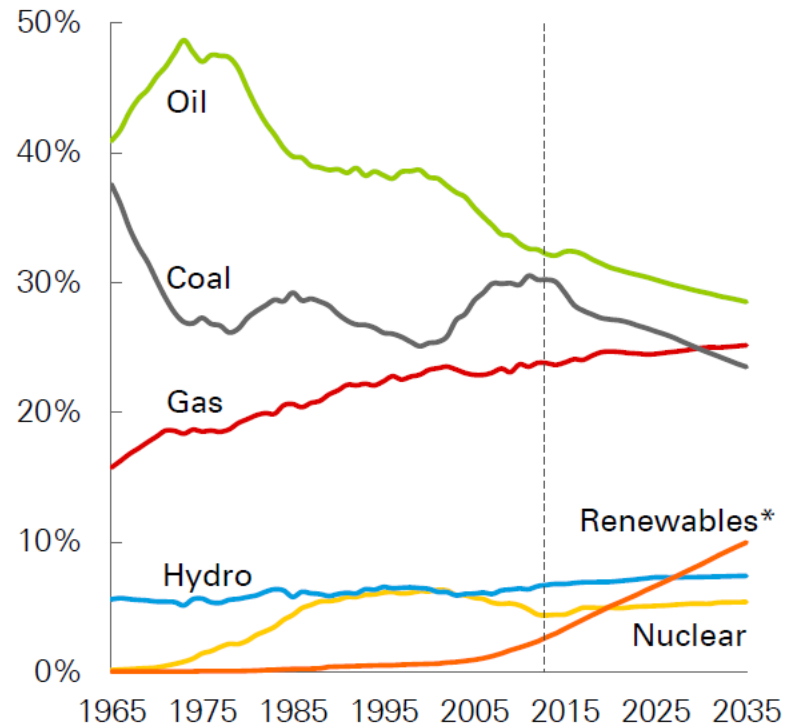
Primary energy consumption by fuel



*Renewables includes wind, solar, geothermal, biomass, and biofuels

2017 Energy Outlook

Shares of primary energy



14

© BP p.l.c. 2017

Схема перехода от конкуренции энерготехнологий к их взаимосогласованному сосуществованию

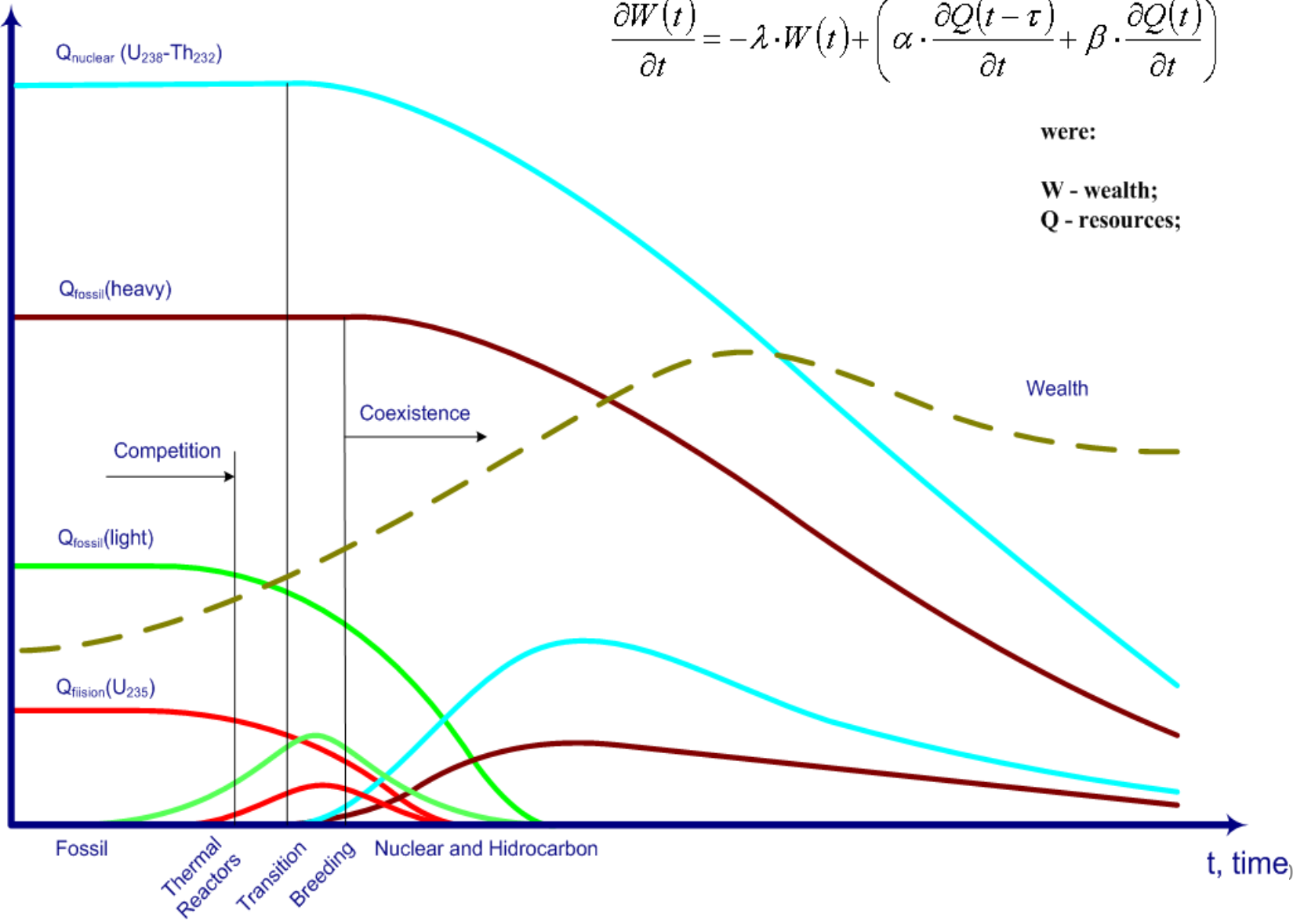
Resources,
Rate of consumption

$$\frac{\partial W(t)}{\partial t} = -\lambda \cdot W(t) + \left(\alpha \cdot \frac{\partial Q(t-\tau)}{\partial t} + \beta \cdot \frac{\partial Q(t)}{\partial t} \right)$$

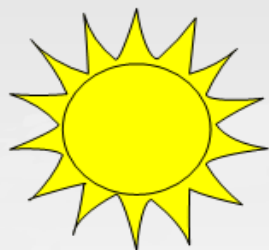
were:

W - wealth;

Q - resources;



Потенциальные возможности ЯЭ, как основы устойчивого развития



10^5 млрд т.н.э./год

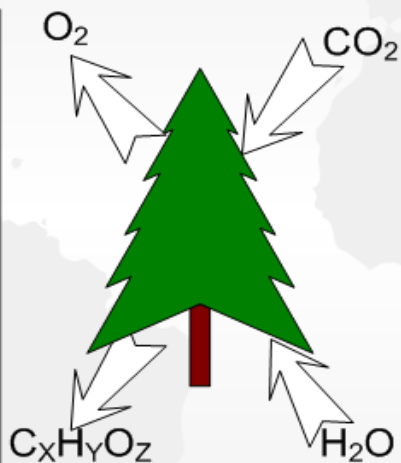
Возобновляемые

2 млрд т.н.э./год



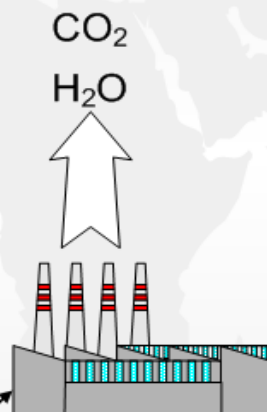
Фотосинтез

100 млрд т.н.э./год



Органическая энергетика

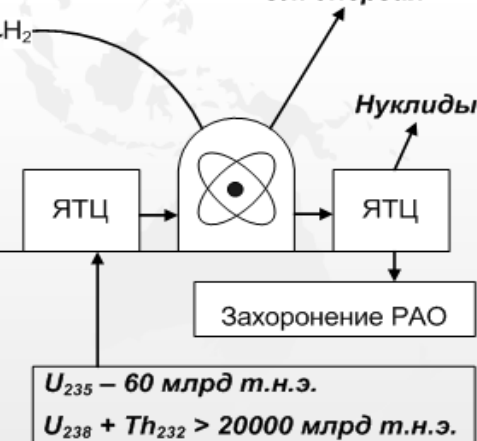
10 млрд т.н.э./год



Ядерная энергетика

10 млрд т.н.э./год

10 млрд т.н.э./год
Эл. энергия



0.01%

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

Потенциальные возможности различных типов реакторов и сочетающих их систем решать различные задачи устойчивого развития системы ЯЭ

	ТР	БР	ЖСР	ТР+БР	ТР+БР+ЖСР
Различные сферы использования (регионы, технологии)	+	-	-	+	+
Эффективность использования ресурса (урана ²³⁵ , урана ²³⁸ , тория)	-	+/-	+	+/-	+
Утилизация минорных актинидов (Pa, Np, Am, Cm, ...)	-	-	+	-	+
Утилизация плутония и минорных актинидов на завершающей стадии развития ЯЭС	-	-	+	-	+

Различные проекции двухкомпонентности инновационной системы ЯЭ

- Реакторы на тепловых и быстрых нейтронах
- ИНПРО и Gen IV
- ЯТЦ как системообразующий фактор и ЯЭУ
- Источники нейтронов (уран 235, плутоний и уран 233 на складе, 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, проектные, эксплуатационные, анализ последствий реализации принятых решений*)

ИНПРО TECDOC 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 и реализуемы с помощью экономических механизмов)

- *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.*

Особенности системного подхода

- Экономическая эффективность при системном подходе рассматривается как характеристика, присущая только всей системе ЯЭ
- Рынок в ЯТЦ - это рынок проблем и интересов, выгод и рисков, не сводимых однозначно к денежному выражению, как по причине индивидуального отношения к рискам разных инвесторов и заинтересованных лиц и структур, так и вследствие того, что жизненный цикл ядерного топлива растягивается на времена большие жизненного цикла актуальных интересов одного поколения, а риски и выгоды принципиально разнесены как по времени, так и по пространству и по группам интересов.

Что такое экономика для ЯЭ

Лайонэл Роббинс:

- «Все мы говорим, определяя экономику, об одном и том же, но до сих пор не решили, о чем именно».
- «Экономика – наука, изучающая человеческое поведение как отношение между целями и ограниченными средствами, имеющими альтернативное применение»

Экономика – это наука, изучающая то, каким образом общество с ограниченными ресурсами решает: что, где, когда и для кого производить.

Необходимо заботиться о том, чтобы в экономических моделях учитывались специфические выгоды и риски, связанные с развитием ЯЭ, поскольку масштабная ЯЭ становится системообразующей и для хозяйственного механизма и, соответственно, для экономики

Некоторые важные особенности ЯЭ в свете грядущей (ядерной) экономики:

- В стоимость исчерпаемого ресурса (урана 235) необходимо включать затраты на разработку компенсирующего ресурса;
- Конкуренция сильно упрощает проблему, основная трудность связана с гармонизацией всевозможных технологий во времени и в соответствующих структурах;
- Необходимо учитывать естественное падение эффективности органических энерготехнологий как за счет перехода ко все менее качественным и более труднодоступным ресурсам, так и за счет необходимости компенсировать экологические последствия;
- Необходимость разработки и учета новых ограничений, требований, запретов и табу
- Появление новых ценностей или смещение акцентов с материальных ценностей (что неизбежно) к духовным (этика ответственности);
- В экономике ЯЭ должна появиться цена нейтрона и, соответственно, цена источников нейтронов.
- Уран 235, в качестве энергоресурса, не решает проблемы ограниченности ресурсов, его необходимо рассматривать как источник нейтронов, и система ЯЭ должна обладать способностью его воспроизводить в форме плутония или /и урана 233.

Необходимые институции

- Уран – 235, как источник нейтронов, а не только энергоресурс
- Различные типы собственности и их особенности и отличия: Уран 235 и плутония и уран 233, уран 238 и торий 232, америций, нептуний, кюрий, ПД
- Уран 235 как кредит на создание ЯЭ (посевной материал)
- Стоимость плутония на складе, транзакционные издержки, связанные с плутонием, ограничение использования плутония в ТР
- Требования к запасам урана 235 и плутония на складах
- Наличие долговременной стратегии, как необходимое условие принятия эффективных решений в плане устойчивого развития
- КВ системы больше 1 (плодородие)
- Двухкомпонентность системы ЯЭ – материальная и интеллектуальная составляющие
- «Заповеди» (базовые принципы) для системы – основа установления отношений
- Баланс нейтронов в системе
- Нуклидная экономика
- Преодоление правового и образовательного парадоксов

Отличие потенциалов нейтронного баланса при использовании делящихся нуклидов (в ЯЭУ) и сырьевых нуклидов (в ИЯЭС)

- Потенциал нейтронного баланса в реакторе при делении делящихся нуклидов (уран-235 и 233, плутоний 239, 241) определяется величиной **$(\nu-1-\alpha)$** - **дифференциальная характеристика**. В реактор загружается ядерное топливо с $K_{\text{беск}}$ больше 1. Избыток нейтронов в реакторе позволяет расходовать их для облегчения решения проблем удобства эксплуатации, безопасности и экономической эффективности.
- Потенциал нейтронного баланса в системе АЭ при использовании всего урана-238 или тория-232 определяется величиной **$(\nu-1-\alpha-1)$** - **интегральная характеристика по времени**, принципиально большем того временного интервала, на котором прогнозируются с приемлемой точностью экономические и политические риски. В систему ЯЭ загружается топливо с $K_{\text{беск}}$ много меньше 1. При решении проблемы воспроизводства ядерного горючего задача реализации нужного нейтронного баланса в системе сильно усложняется - становятся не эффективными все те меры (поглощение в специальных поглотителях, блокирование взаимодействия нейтронов с ураном-238 и торием-232), которые были приемлемы для получения энергии из беспорогово делящихся нуклидов. Значительно повышается роль «внешних» источников нейтронов (электроядерные, термоядерные)

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.

Приоритет рисков в отдаленной перспективе

- Сейчас это общественное явление присутствует в виде довольно неопределенных требований устойчивого развития, соображений и мнений по безопасности и экологической приемлемости, нераспространению ядерных материалов и специальных чувствительных знаний и технологий, которые в области ЯЭ принципиально сдерживают ее развитие, поскольку они буквально воспринимаются как божественные заповеди, записанные на скрижалях, а не как неудачный опыт устаревших и давно уже на самом деле неэффективных технологий.
- В силу эффективности ядерных технологий это пока допустимо, но при этом эффективность ядерных технологий индексируется, оценивается и понимается в рамках моделей, понятий, индикаторов, разработанных без всякого учета тех принципиально новых возможностей, что привносят с собой ядерные технологии.

Задачи оценки рисков в отдаленной перспективе

- Необходимо разрабатывать модели оценки выигрышей и рисков для подготовки обоснованных решений в будущем, поскольку без них не появляется научного видения будущего, необходимого для подготовки принятия решений по отложенным на будущее проблемам как касательно ресурсной обеспеченности ЯЭ, так и по обращению с ОЯТ и РАО.
- Эти модели должны выдавать информацию, доступную для понимания и обсуждения широкими кругами специалистов и общественности для своего рода взвешивания выгод и рисков как бы демократическим путем (отстраненно, в силу того, что ни выгоды ни риски самих «экспертов» или «выборщиков» лично в материальном плане не коснутся).

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 они искренне верят в эффективность и приемлемость того, что они сейчас предлагают внедрять для решения будущих проблем.

Проблемы безопасности с учетом трендов в грядущей ядерной экономике

- Понижение единичной мощности (в 10 раз меньшая единичная мощность в сто раз меньшая опасность, расширение рынков использования и конкурентоспособности)
- Увеличение запасов (Удаление) условий эксплуатации от эксплуатационных пределов
- Снижение глубины выгорания топлива (для улучшения нейтронного баланса, рецикла конструкционных материалов)

Перспективы технического, экономического и социального развития ядерной энергетики и АС

- *«В этом мире существует лишь две трагедии: первая – когда не добиваешься того, чего хочешь, вторая – когда добиваешься»*
Оскар Уайльд
- ЯЭ – единственно доступный нам дешевый и практически не исчерпаемый источник энергии, использование которого возможно без масштабного вторжения в природные процессы, понимание которых к нам придет значительно позже того времени, которое предоставлено нам на принятие решений и реализацию мер уже сейчас.
- ЯЭ это единственная технология, которая может помочь расплатиться нам за кредиты в виде качественных и дешевых исчерпаемых ресурсов, которые мы буквально за столетие сожгли имея возможность не спрашивать разрешения на это у будущих поколений, которые на них имеют не меньшие права, чем мы, ныне живущие.

Базовые физические принципы устойчивого развития ЯЭ, удовлетворение которым требует замыкания ЯТЦ
(программный комплекс *ISTAR* – расчет нуклидных количеств и нейтронного потенциала системы ЯЭ)

- 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);

Этические аспекты развития ЯЭ

- «Кто двигается вперед в знании, но отстает в нравственности, тот более идет назад, чем вперед»
Аристотель
- Этика – философское учение, призванное **помочь стать человеку настолько моральным, чтобы человек становился ответственным и сам находил правильные решения с учетом своих долговременных целей.**
- «Важно понять, что природа энергии современной физике неизвестна» Р.Фейнман, 1964 г.
- Императив ответственности гласит: **поступай так, чтобы обеспечить благоприятное будущее тому интегральному целому, к которому ты принадлежишь**

Проблема цифровизации 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.
- Нам 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 при цифровизации технологий

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.»**

**Благодарю Вас
за внимание!**

