

М.А. Киселёв

Курс «Атомные реакторы и ядерная энергетика»

Лекция 3, 22 сентября 2016

Ядерная энергетика. Настоящее и будущее.

ДУ, кафедра ядерной физики

РНЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



Нейтроны в атомной энергетике

С.А.Субботин

XXI Совещание

**по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях
конденсированного состояния**

16 – 19 ноября 2010 г.,

Москва, Российский научный центр «Курчатовский институт»

Введение

- В основе ЯЭ лежит возможность создания нейтронного поля и управления им и контроль взаимодействия нейтронов с различными нуклидами и материалами.
- «Царство существ, населяющих атом, - это необычайный и в то же время реальный мир. Многие здесь еще остаются неизученными и, возможно, никогда не будут познаны до конца, хотя темп исследований нарастает с каждым днем.» - Дональд Дж.Юз «История нейтрона» Атомиздат, 1964

Первый в России ядерный реактор Ф -1



Первый в СССР и на континенте Евразии ядерный реактор Ф-1 был пущен 25 декабря 1946 г. в лаборатории №2 АН СССР (ныне Российский научный центр «Курчатовский институт») И.В. Курчатовым с сотрудниками.

Исследовательские работы, проводившиеся на реакторе Ф-1, явились определяющим фактором в создании у нас в стране за чрезвычайно короткий срок атомной промышленности, развитию реакторной физики и техники, ядерной энергетики.

Мощность реактора составляет 24 кВт.



АЭС с ВВЭР



Калининская АЭС, реакторный зал



Кольская АЭС



Балаковская АЭС



Тяньваньская АЭС, Китай

АЭС с РБМК



Смоленская АЭС



Игналинская АЭС (1500 МВт)



Ленинградская АЭС



Курская АЭС

Тяньваньская АЭС (КНР)

РНЦ «Курчатовский институт» обеспечил Научное руководство при разработке проектов реакторной установки и энергоблоков 1 и 2.



ВОДО-ВОДЯНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ

АЭС «Куданкулам» (Индия)

РНЦ «Курчатовский институт» обеспечивает Научное руководство проектированием реакторной установки и двух энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 строящейся с 2002г. АЭС.



Атомные ледоколы

Появление линейных ледоколов с мощностью турбин 75 000 л.с. позволило произвести расширение сроков навигации вплоть до круглогодичной в западном секторе Арктики. Севморпуть превратился в постоянно действующую магистраль.



Арктика (1975) Водоизмещение 20940 т



Сибирь (1977) Водоизмещение 20940 т



Россия (1985) Водоизмещение 22600 т



Советский Союз (1990) Водоизмещение 22600 т



Ямал (1992) Водоизмещение 22600 т



50 лет Победы Водоизмещение 25165 т



Ледокол "Россия"



Крейсер "Петр Великий"



Атомная подводная лодка 671 проекта



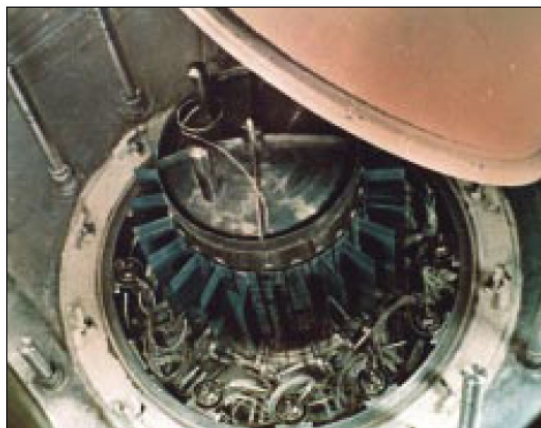
Три "К": Королев, Курчатов, Келдыш



Отгрузка ЯЭУ в США на демонстрационные испытания



Макет ЯРД

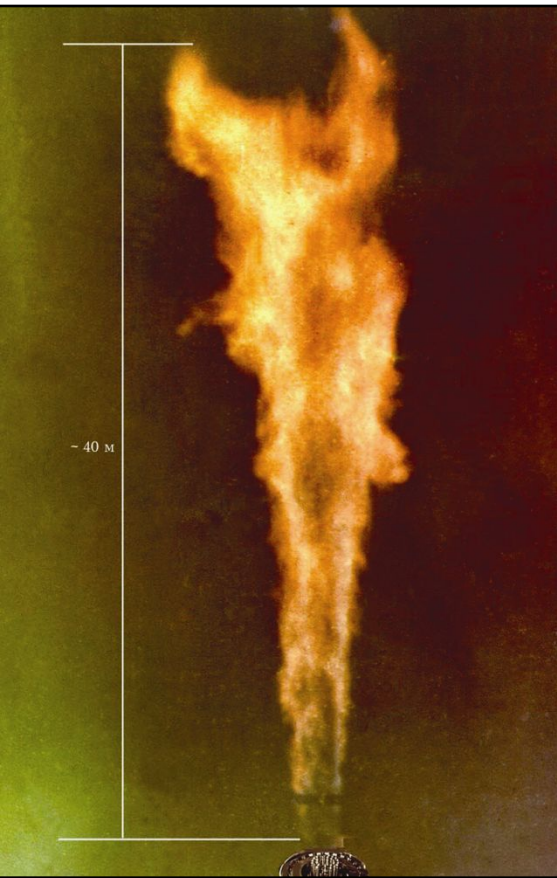


Первый в мире реактор-преобразователь "Ромашка"



Реактор "Енисей"

Ядерные ракетные двигатели



Пуск реактора ИВГ

Под научным руководством
РНЦ «Курчатовский
институт»
на Семипалатинском
полигоне была создана
экспериментальная база
по отработке элементов
ядерных ракетных
двигателей:
импульсный графитовый
реактор (ИГР), реакторы
ИВГ, ИРГИТ.
Проведен комплекс
испытаний
тепловыделяющих сборок.

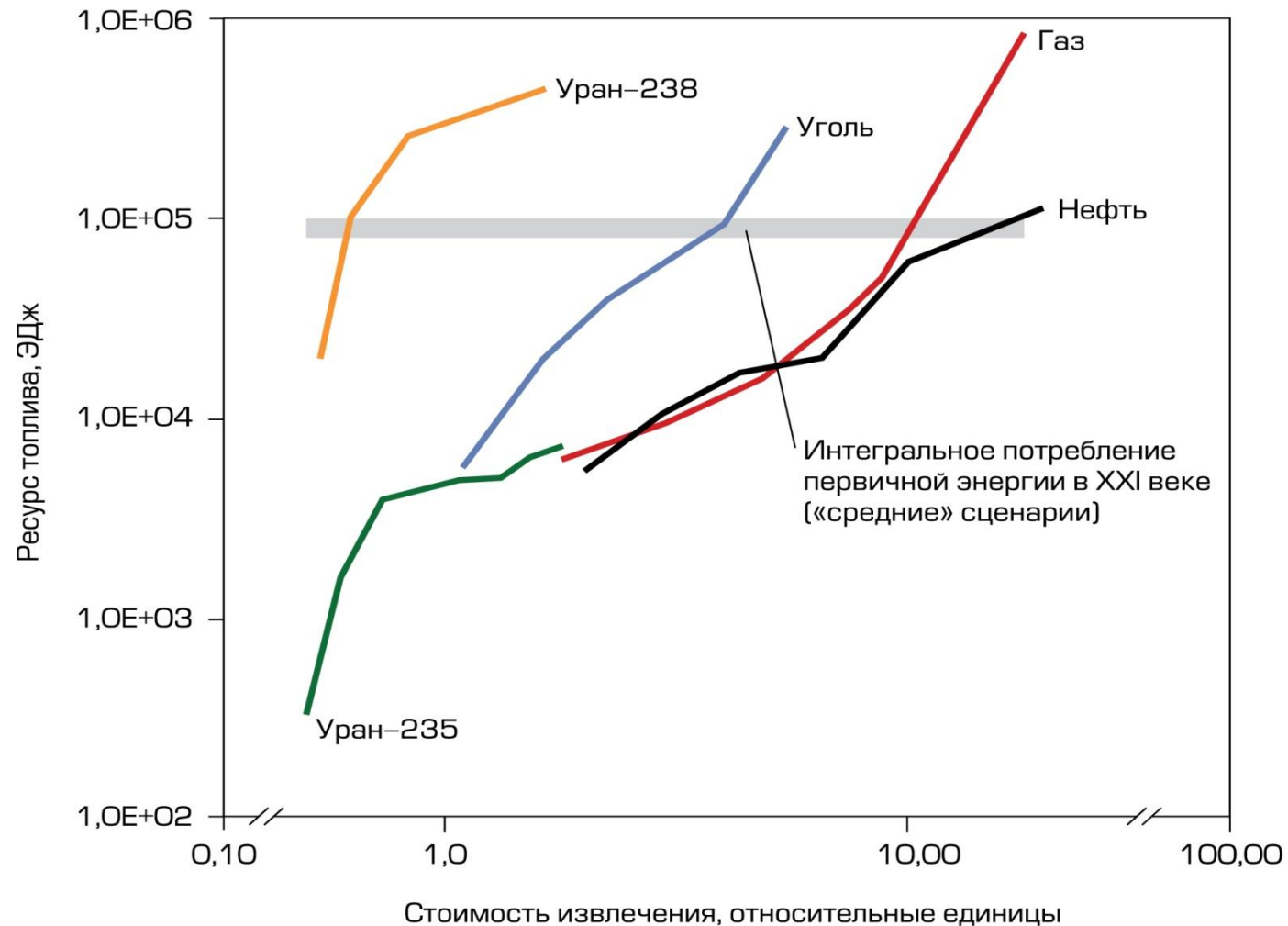


Макет ЯРД

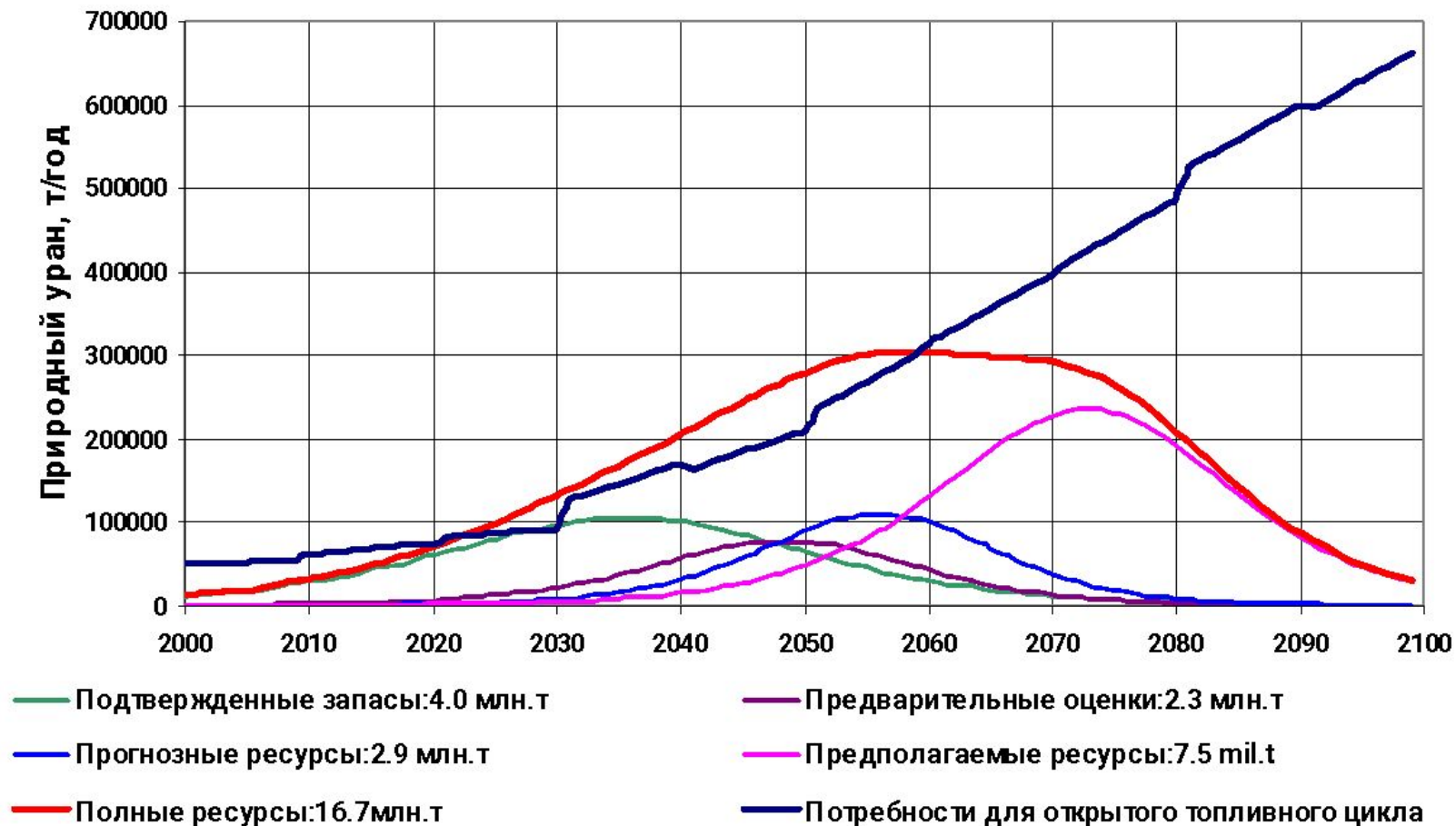
Основные научно-технические глобальные проблемы развития ЯЭ

- Повышение эффективности использования урана-235 в качестве источника нейтронов;
- Вовлечение урана-238 и тория- 232 в энергопроизводство;
- Обращение с радиоактивными отходами и облученным ядерным топливом.

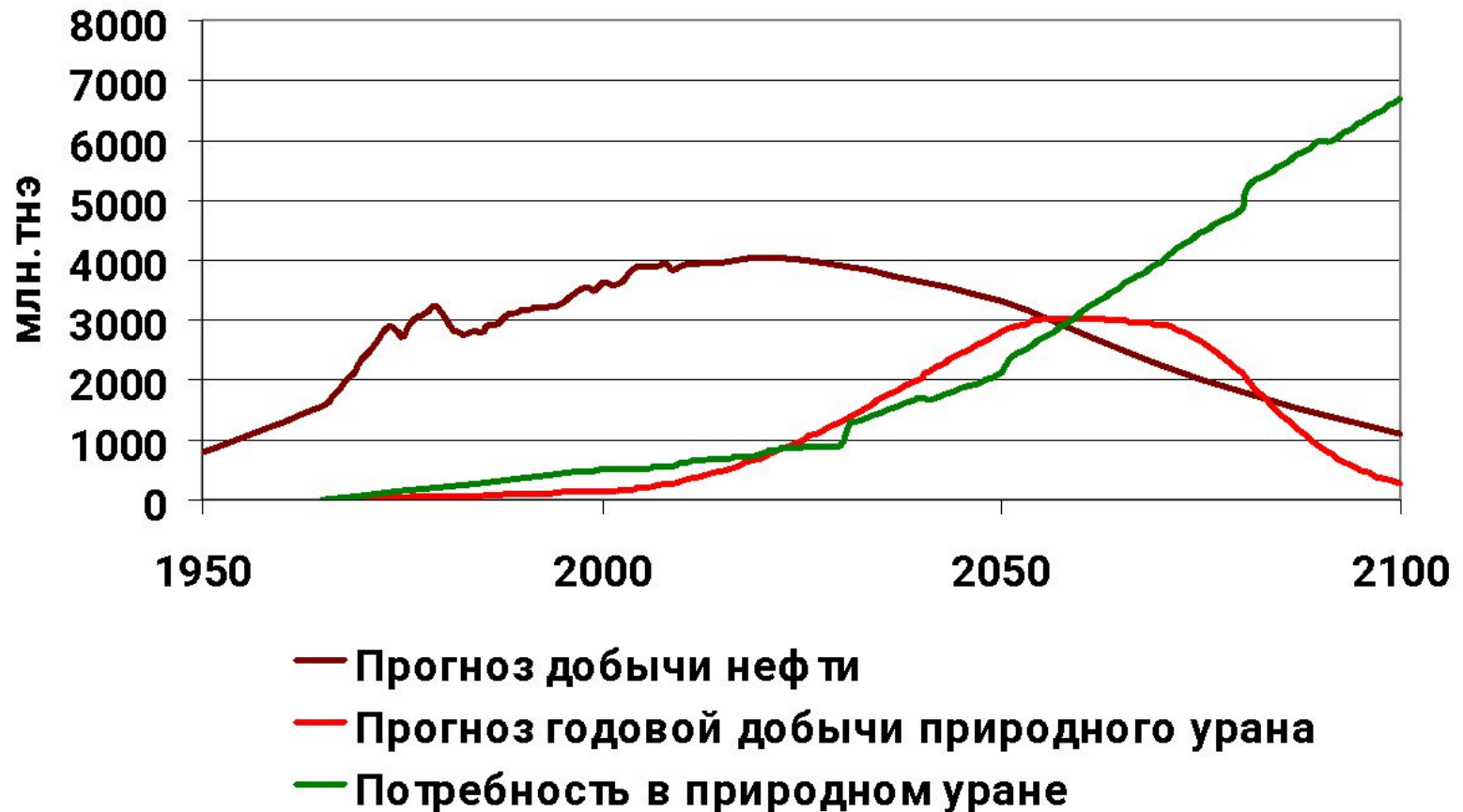
Зависимость доступности ресурсов ископаемого топлива от стоимости их извлечения



Оценка потенциала годовой добычи природного урана



Годовая добыча



Интегральный баланс нейтронов

10 Млн. т природного урана (15 000 Млрд. т.н.э.)

- 72 000 т урана ^{235}U (110 Млрд. т.н.э.)
 - 766 т нейтронов деления
 - 180 т «свободных нейтронов»
- 9 927 450 т урана ^{238}U
 - 120 000 т нейтронов деления
 - 12 500 т «свободных нейтронов»

Реактор 1000 МВт эл.:

900 кг в год продуктов деления;

1,3 кг в год «свободных нейтронов»;

Скорость генерации нейтронов - $2,8 \cdot 10^{20}$ н/сек; (44,8 А)

Равновесное количество нейтронов в реакторе $4,6 \cdot 10^{-12}$ кг

Эволюция оценок на развитие АЭ в мире

2000год-в атомной энергетике нет необходимости, она сохранится в перспективе в небольшом числе стран.

2050г – 400-500 ГВт

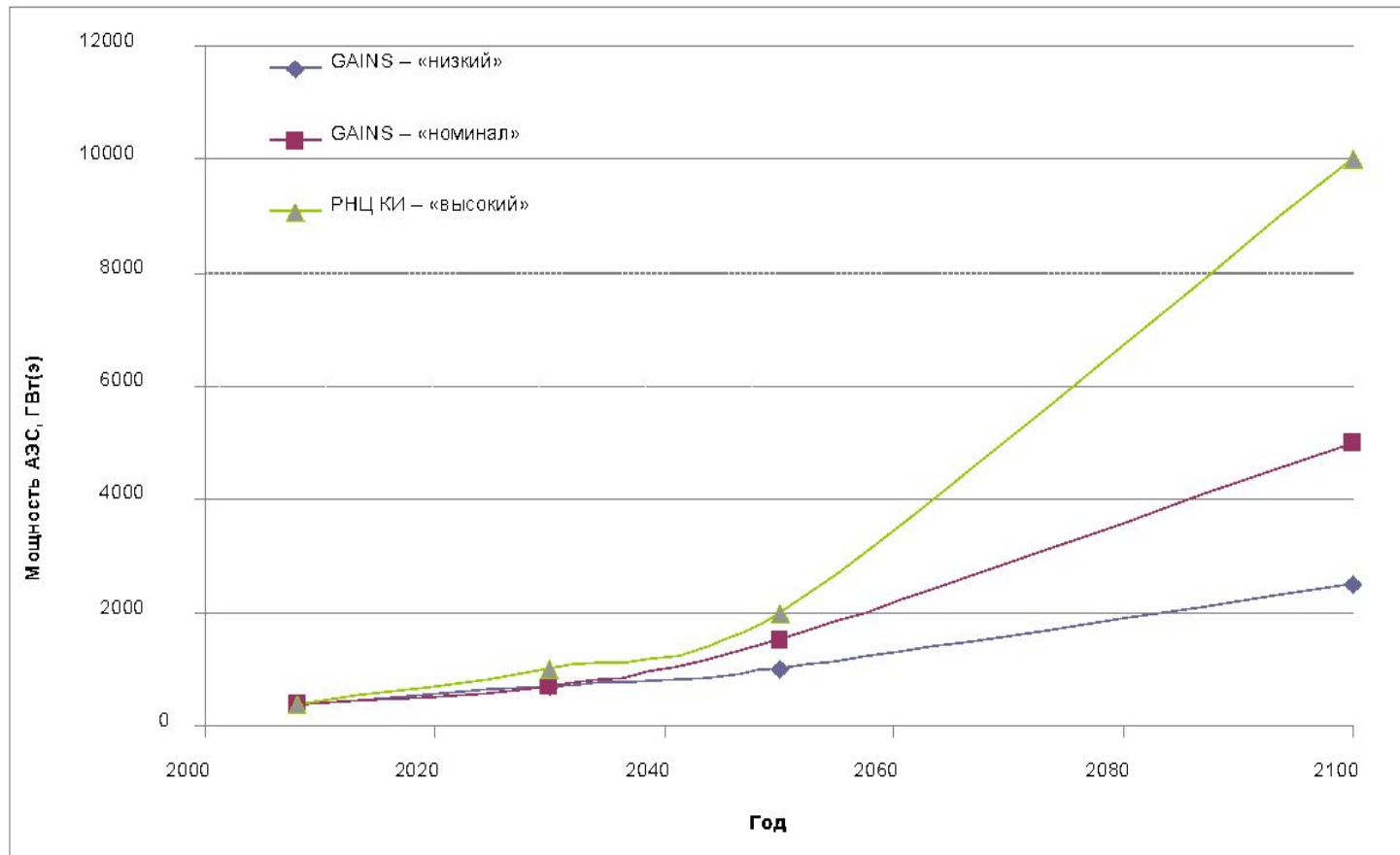
2005год- атомная энергетика будет развиваться небольшими темпами.

2050г – 700-1000 ГВт

2009год- многие страны будут стремиться укрепить свою энергобезопасность за счет развития атомной энергетики.

2050г – >1500 ГВт

Ядерная энергетика в мире



Низкий - доля ЯЭ в энергопроизводстве к концу века порядка 6%

Средний –доля ЯЭ в энергопроизводстве к концу века 12%

Высокий -доля ЯЭ в энергопроизводстве к концу века 25%

Потенциал наработки ядерного топлива в БР и ТИН

Мощность, МВт	Деление - 1000	ТИН - 1000
МЭВ/акт	200	16
Акт/сек	$3.13 \cdot 10^{19}$	$3.91 \cdot 10^{20}$
Акт/год	$9.88 \cdot 10^{26}$	$1.23 \cdot 10^{28}$
Нейтрон/акт	$2.9 - 1 - 0.20 - 1 - 0.3 = 0.35$	$1 - 0.5 = 0.5$
Плутоний (уран-233), кг/ГВт т. год	140	1450
Плутоний (уран-233), кг/ГВт эл.год (КИУМ=0.8)	280	2900



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

Термоядерные источники нейтронов (ТИН)

В условиях дефицита делящихся нуклидов, особенно на этапе быстрого роста мощностей ядерной энергетики, термоядерные реакторы могут быть использованы как наиболее эффективные источники нейтронов для наработки делящихся нуклидов из сырьевых нуклидов (уран-238 и торий-232), вовлечение которых в энергопроизводство является необходимым условием устойчивого развития ядерной энергетики.

Ресурсы нуклидной экономики

Состав выгоревшего топлива

(стандартный PWR, выгорание 33ГВт сут/т, 10 лет выдержки)

1 тонна ОЯТ:

955 кг - U

8,5 кг - Pu

МА:

0,5 кг - Np

0,6 кг - Am

0,02 кг - Cm

Долгоживущие ПД:

0,2 кг – ^{129}I

0,8 кг – ^{99}Tc

0,7 кг – ^{93}Zr

0,3 кг – ^{135}Cs

Короткоживущие ПД:

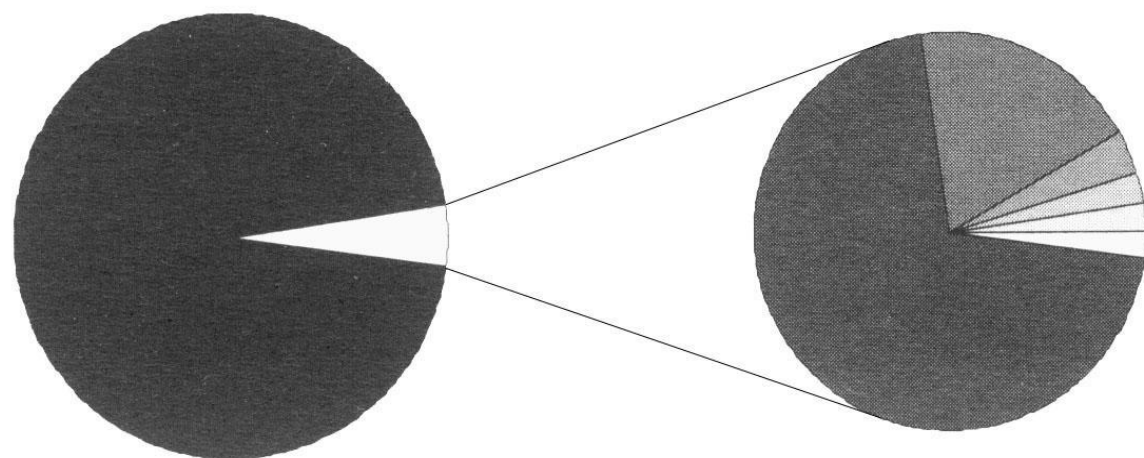
1 кг – ^{137}Cs

0,7 кг – ^{90}Sr

Стабильные ПД

10,1 кг – лантаниды

21,8 кг - другие



■ Uranium	(95.5 %)
■ Stable fission products	(3.2 %)
■ Plutonium	(0.8 %)
■ Short-lived Cs and Sr	(0.2 %)
■ Minor Actinides	(0.1 %)
□ Long-lived I and Tc	(0.1 %)
□ Other long-lived fission products	(0.1 %)

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 количествами и потоками нуклидов и нейтронным потенциалом системы ЯЭ – требует наибольших вложений ресурсов, времени и интеллекта, без решения этой проблемы ЯЭ не может стать основой устойчивого развития

Базовые физические принципы устойчивого развития ЯЭ

- Риск пропорционален мощности ЯЭ, а не интегральной энергосыработке (замыкание ЯТЦ по всем опасным радионуклидам);
- Нейтронная эффективность ЯЭ должна возрасть (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);

**Необходимое условие устойчивого развития -
рост потенциальных возможностей адекватного
реагирования на постоянно происходящие в
обществе и природе изменения.**

«Всегда нужно знать в десять раз больше, чем необходимо
сегодня непосредственно для работы.... Очень важно держать
в памяти прошлые ошибки, список ошибок не менее важен,
чем летопись достижений... Право на ошибку есть у каждого –
важно не повторять их» Ю.Б.Харитон

«Мы должны знать о природе, о ее сущности намного больше,
чем можем в данный момент использовать» М.В.Келдыш