

В. Б. Иванов, д.т.н., проф., Директор
ОАО «ВНИИИМ имени А.А. Бочвара»

**Замыкание Ядерного
Топливного Цикла реакторов на
быстрых нейтронах обеспечивает
качественно новый уровень
безопасности атомной энергетики.**



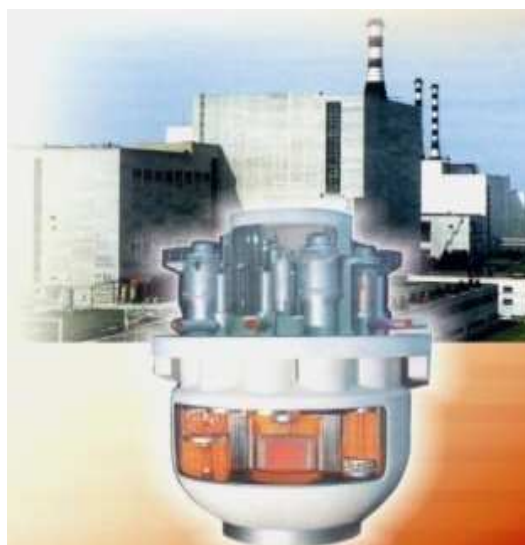
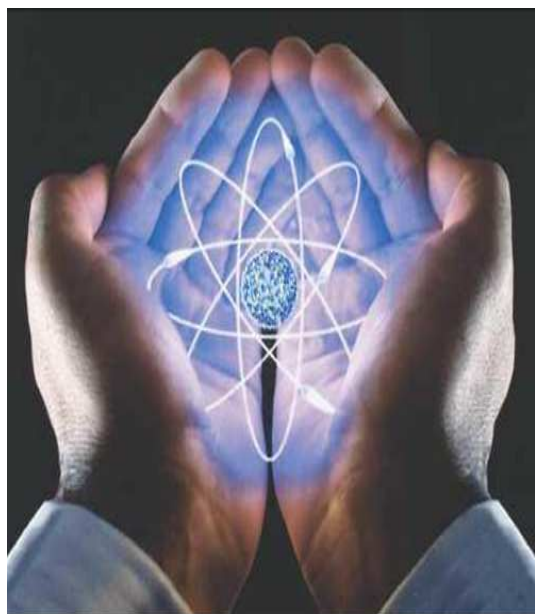
Стратегия развития ядерной энергетики в России

Развитие ядерной энергетики в России на ближайшие десятилетия определяется принятой Правительством Российской Федерации в 2000 году - Стратегией-2000.

Стратегия-2000 предполагает сооружение в ближайшие годы современных энергоблоков третьего поколения с реакторами на тепловых нейтронах для замещения устаревших, повышение уровня безопасности действующих блоков, и дальнейшее увеличение КИУМ.

Стратегия реализуется в полном объеме. Возводятся блоки второй очереди на ЛАЭС и НВАЭС, начинается строительство АЭС в Калининградской области, запущены в эксплуатацию новые блоки Ростовской и Калининской АЭС.

КИУМ в 2011 году составил 81,3% против 69,1% в 2000 г.



Основные нерешенные задачи атомной энергетики

Однако, все это не устраняет основных недостатков атомной энергетики, которые заставляют общественность и правительства некоторых стран отказываться от дальнейшего ее использования.

Эти недостатки общеизвестны:

1

Существующая вероятность тяжелых аварий, требующих эвакуации населения и выводящих из использования значительные территории

2

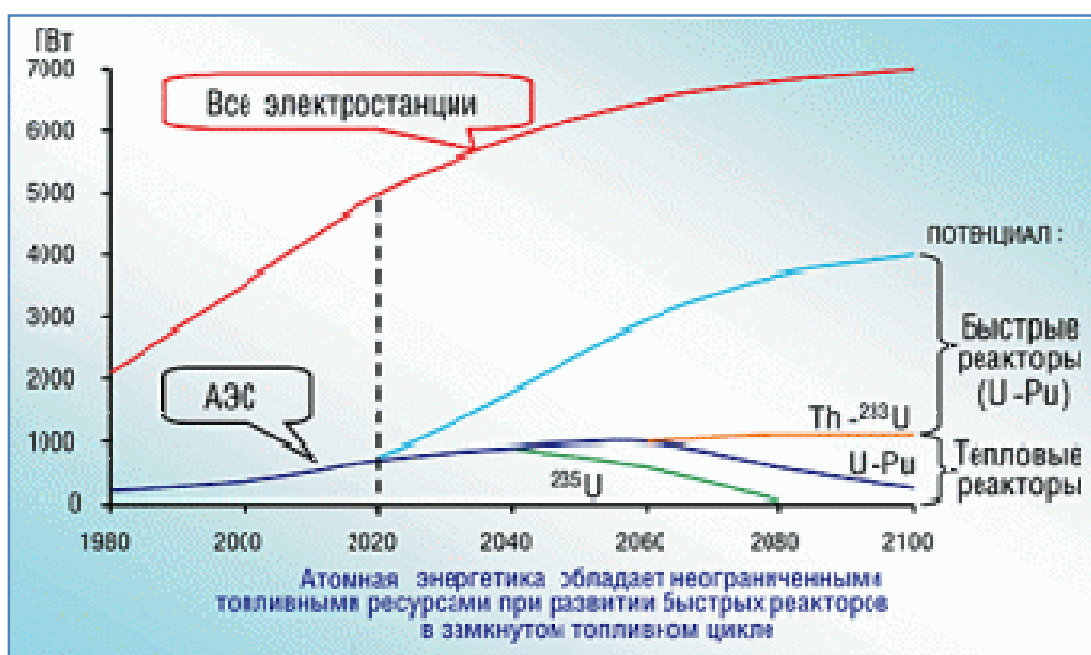
Наличие в радиоактивных отходах долгоживущих радиоактивных изотопов, требующих защиты от них в течение тысяч лет.

3

Существует вероятность распространения ядерных материалов из топливного цикла.

4

Высокая стоимость строительства, обусловленная в первую очередь, необходимостью иметь много защитных барьеров, что приводит к неконкурентоспособности этого вида генерации.



Федеральная Целевая Программа «Ядерные Энерготехнологии Нового Поколения»

Для решения основных недостатков атомной энергетики в 2010 году была принята Правительством РФ Федеральная Целевая Программа «Ядерные Энерготехнологии Нового Поколения».

- Цели программы: Разработка ядерных энерготехнологий нового поколения на базе реакторов на быстрых нейтронах с замкнутым ядерным топливным циклом для атомных электростанций, обеспечивающих потребности страны в энергоресурсах и повышение эффективности использования природного урана и отработавшего ядерного топлива.
- Задачи Программы: Разработка реакторов на быстрых нейтронах с замкнутым ядерным топливным циклом; исследование новых способов использования энергии атомного ядра.

Одним из ключевых моментов Стратегии-2000 и ФЦП является принцип естественной безопасности. Этот термин близок по значению английскому термину “inherent safety”, но получил в официальных документах более широкое значение.

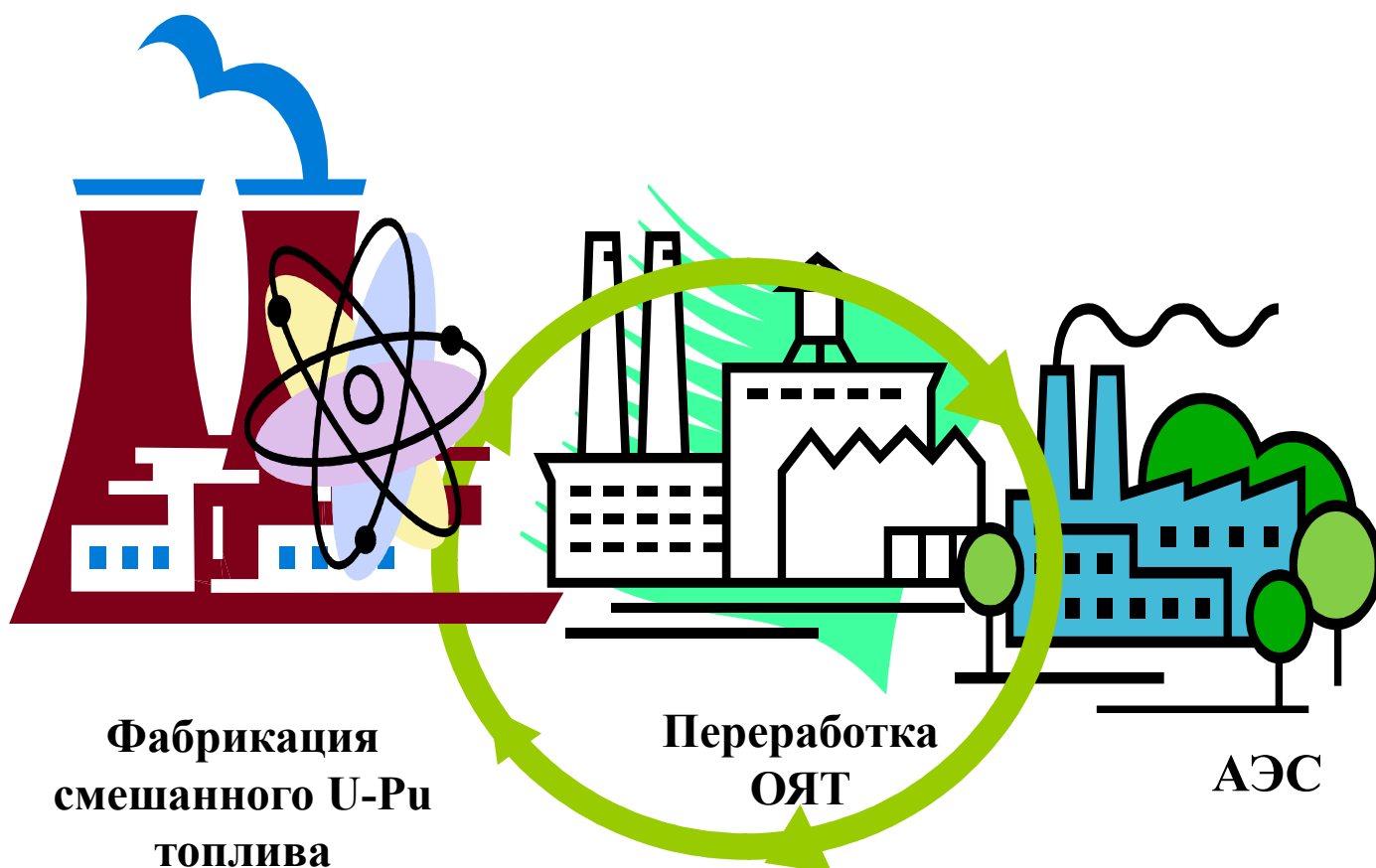
Реализация этого принципа означает устранение практически всех недостатков, перечисленных на слайде 3.

Проект «ПРОРЫВ»

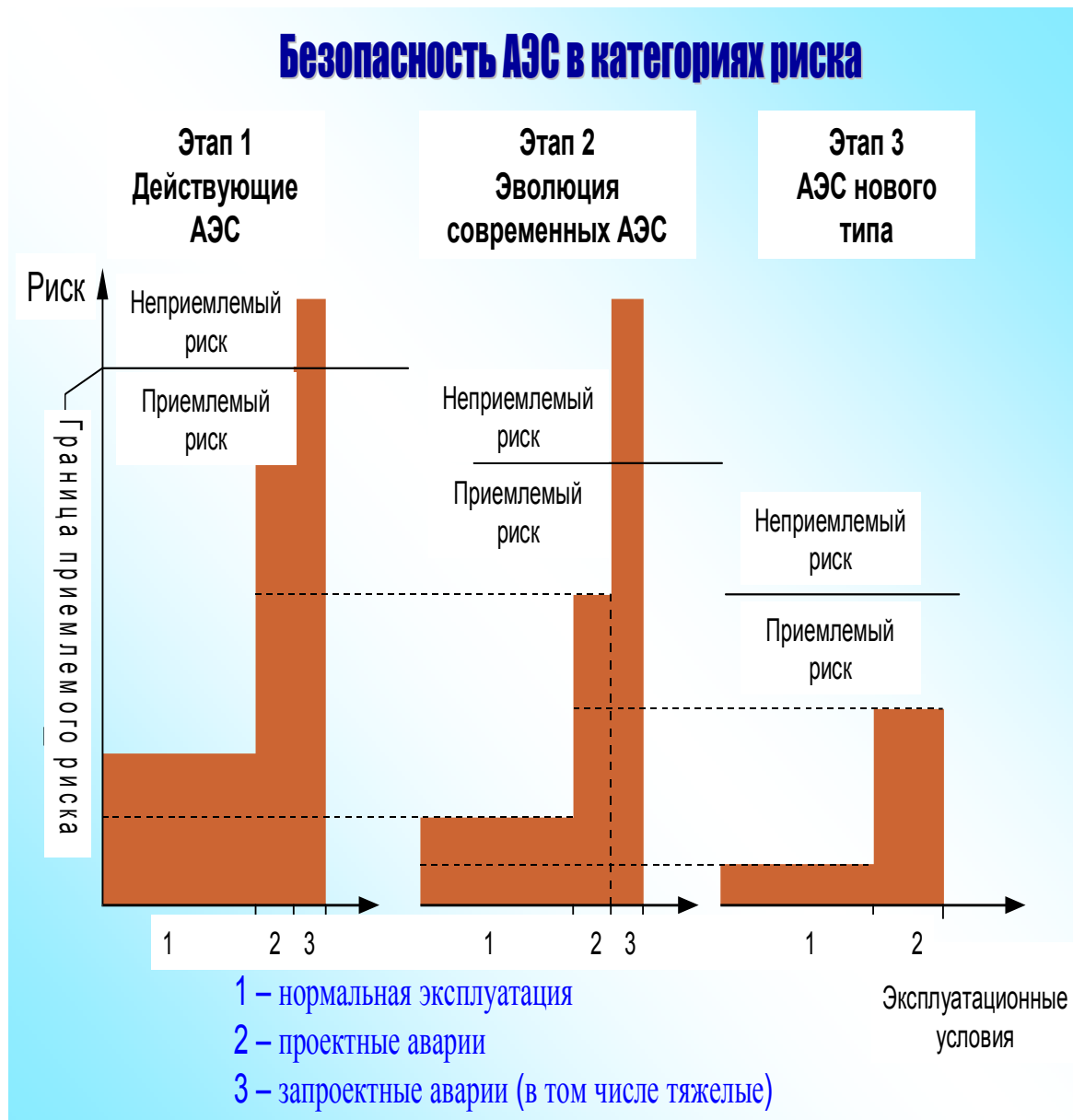
Для реализации принципа естественной безопасности в атомной энергетике нового поколения внутри ФЦП ЯЭНТП был выделен проект ПРОРЫВ, результатом которого должен стать опытный энергокомплекс, состоящий из

- реактора БРЕСТ-ОД-300 со свинцовым теплоносителем (700 МВт тепловых и 300 МВт электрических);
- пристанционного завода, позволяющего замкнуть ядерный цикл, включающий в себя модуль по переработке (регенерации) облученного смешанного нитридного топлива, модуль рефабрикации предназначенного для изготовления новых твэлов и ТВС из регенерированного облученного топлива, модуль утилизации радиоактивных отходов.

Плановый срок пуска опытного энергокомплекса 2020 год.



Безопасность – ключевая задача проекта ПРОРЫВ



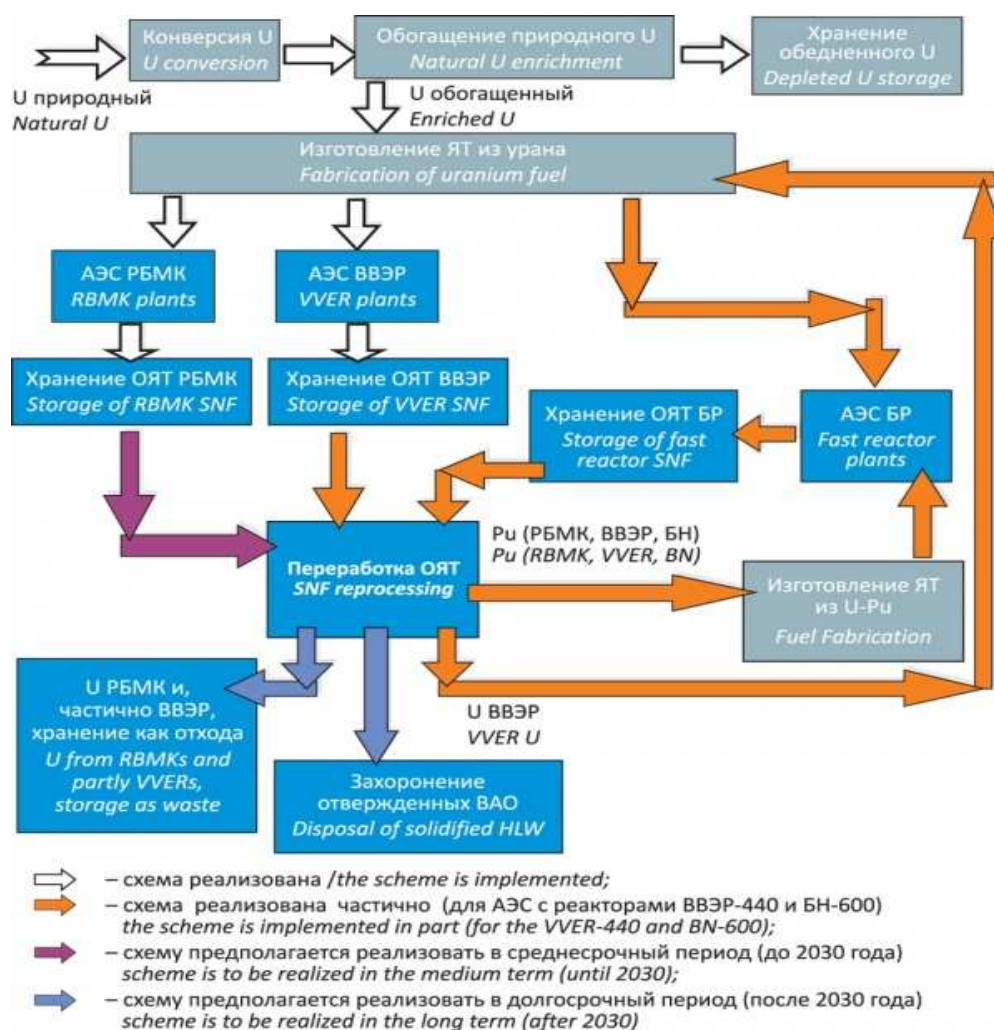
Концептуальные технологические и технические решения заложенные в проект для обеспечения естественной безопасности.

- Исключение тяжелых аварий в реакторе.
- Интегральная компоновка.
- Свинец в качестве теплоносителя.
- Плотное нитридное топливо.
- Коэффициент запаса реактивности не более 0,5%.

Проект «ПРОРЫВ»

В техническом задании на конструкцию реактора, утвержденного руководством Корпорации Росатом, дословно сказано:

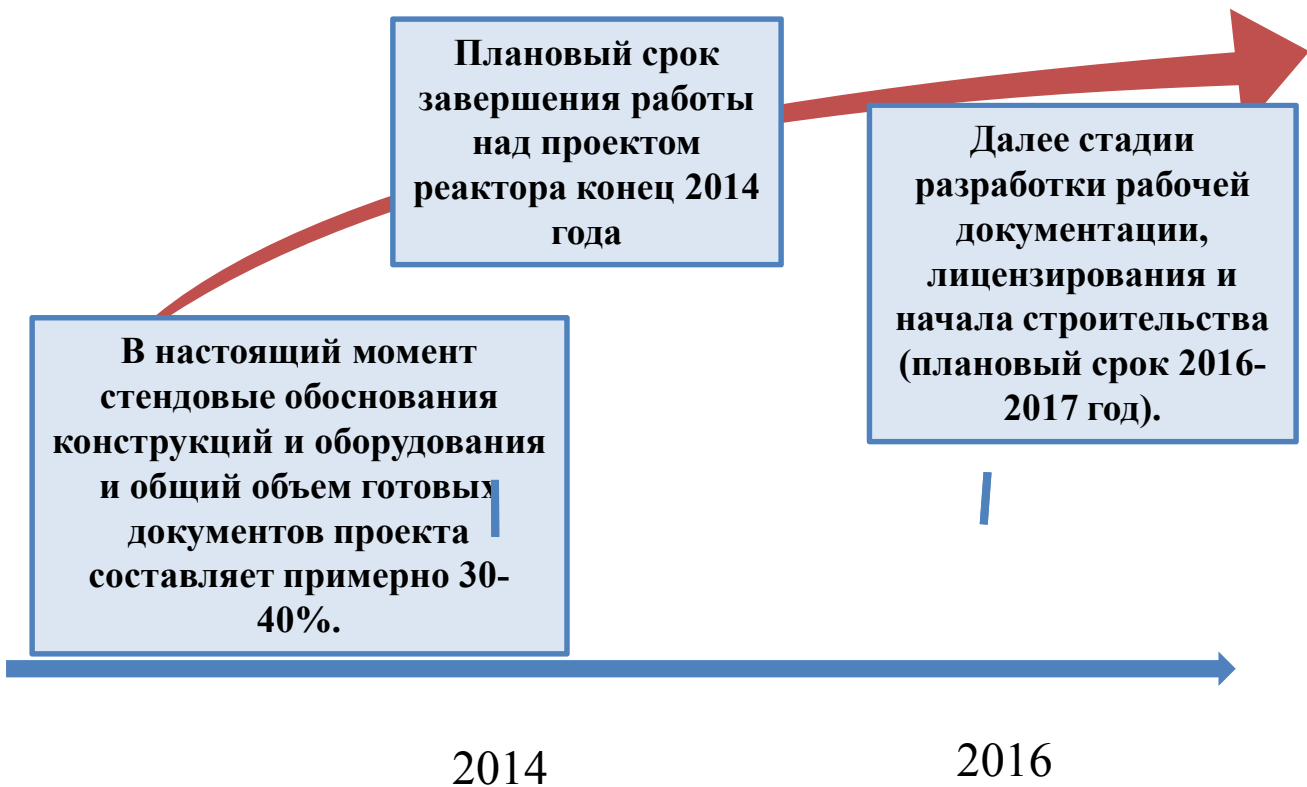
Реакторная установка должна быть спроектирована так, чтобы любые исходные события (единичные и наложение множественных исходных событий) по внутренним причинам не приводили к разрушению топливных элементов и высвобождению за пределы защитных оболочек радиоактивности сверх пределов, требующих эвакуации, а тем более отселения населения. Указанные свойства должны достигаться, преимущественно, протекающими в установке физическими процессами, используемыми материалами и конструктивными решениями, а не последовательным наращиванием систем обеспечения безопасности.



Проект «ПРОРЫВ»



Работы над реактором БРЕСТ-300



Проект «ПРОРЫВ»

Значимым элементом обеспечения естественной безопасности является плотное топливо.

Большая плотность – это относительно низкая температура центра топлива, что при свинцовом теплоносителе – гарантия целостности твэлов в условиях прекращения принудительной циркуляции.

Это достаточный и регулируемый коэффициент воспроизводства делящихся элементов для создания равновесной зоны.

Равновесная зона означает неизменный изотопный состав плутония при перегрузках. Это еще один технологический барьер для хищения делящегося материала.

Нитридное топливо различного состава и технологий уже испытывалось в реакторе БР-10, БОР-60.

В настоящий момент в реакторе БОР-60 облучается новая экспериментальная ТВС со смешанным нитридным топливом.

В весеннюю загрузку планируется загрузить экспериментальную комбинированную ТВС в БН-600 (несколько твэлов со смешанным нитридным топливом, остальные твэлы с обычным урановым топливом).

В 2013 году в реактор БОР-60 будут поставлены на облучение еще две экспериментальных ТВС со смешанным нитридным топливом.

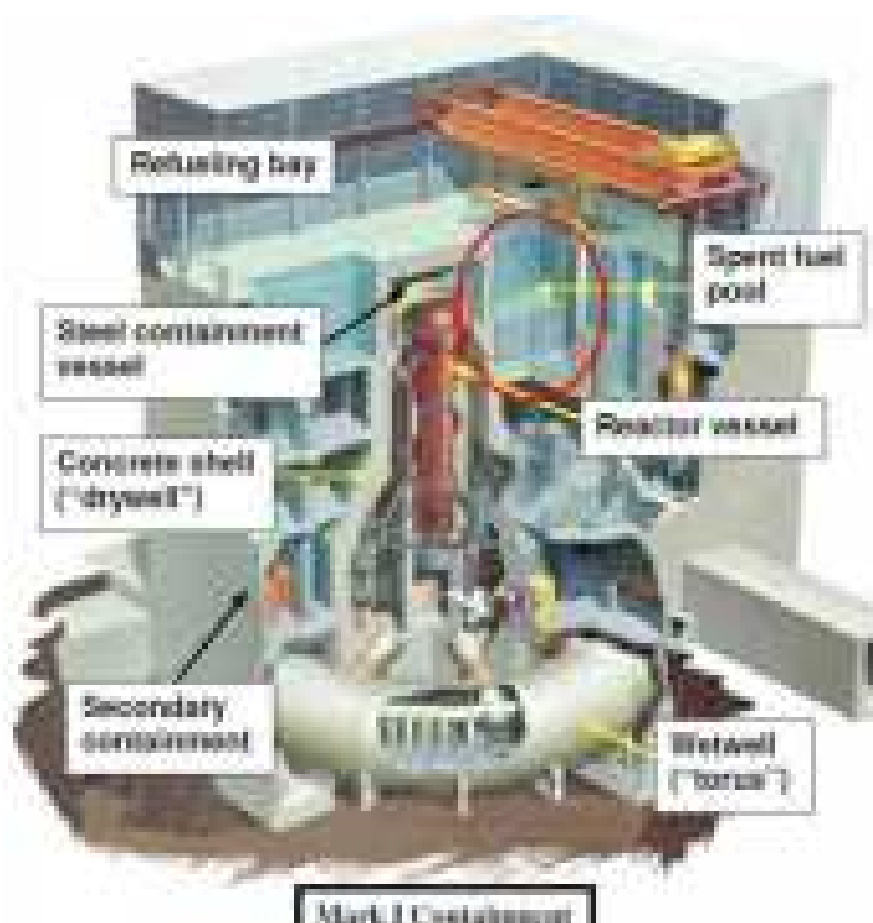


Проект «ПРОРЫВ»

Результатом указанных разработок будет получение информации для верификации расчетных кодов, специально разрабатываемых в проекте и выдача исходных данных для проектирования и конструирования оборудования для пилотного завода по фабрикации и рефабрикации смешанного нитридного топлива для реактора БРЕСТ-300.

Рефабрикация означает, что в топливном цикле в регенерированном облученном топливе будут оставлены минор актиниды (амерций и нептуний) для их трансмутации. В проекте запланированы и уже начаты работы по обоснованию такого топлива и разработке соответствующего оборудования.

Радиоактивность «свежего» топлива и требуемое при этом дистанционное и автоматическое управление процессами – дополнительная технологическая защита от неправомерного использования делящихся веществ.



Проект «ПРОРЫВ»

Пристанционный топливный цикл реактора БРЕСТ-300
включает в себя:



Проект обеспечивает гибкость при подготовке регенерированного топлива для рефабрикации и фракционирования радиоактивных отходов с целью обеспечения политики радиационной эквивалентности (на окончательное захоронение направляются лишь те осколочные элементы и в таком объеме, что позволяет после относительно недолгого периода их нахождения в геологических формациях получить равенство захораниваемой радиоактивности той, которая была извлечена при добыче урана).

Проект «ПРОРЫВ»

Указанная гибкость обеспечивается двухстадийным переделом при обращении с облученным ядерным нитридным топливом.

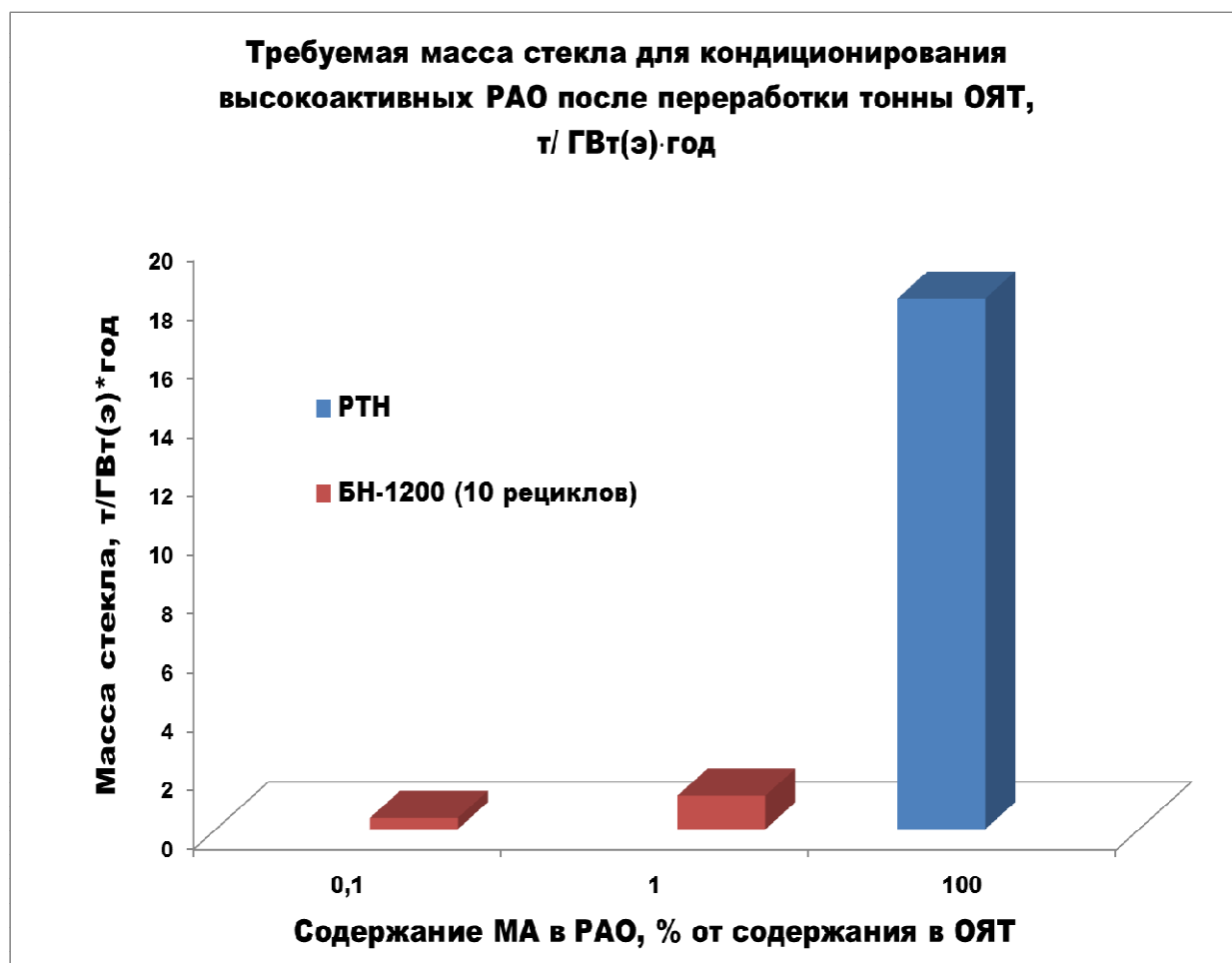
Первый передел – пироэлектрохимическая переработка в расплавленных солях для сброса основной радиоактивности вместе с осколками деления.

Второй передел – гидрометаллургическая переработка для получения нужного изотопного состава «свежего» топлива и фракционирования оставшихся радиоактивных отходов.



Проект «ПРОРЫВ»

В настоящее время практически отработана концепция второго (гидрометаллургического) передела, создаются специальные стенды и оборудование для получения исходных данных для проектирования. Эта работа будет завершена в 2014 году.



Проект «ПРОРЫВ»

Характеристики производства

Показатель	Значение	Примечание
Выдержка ОЯТ перед переработкой	1 год	Страховочный вариант (гидрометаллургия) или 3 года или в смеси ОЯТ РТН
Степень возврата ДМ в ТЦ	99,9 %	----
Перерабатываемое топливо	Смешанный нитрид урана и плутония	Для нитки ЦЗ - возможность других видов U-Pu ОЯТ
Разделение U, Pu, Np	Не предусматривается технологией	-----
Очистка U-Pu-Np – продукта от ПД	Обеспечивается в двух вариантах Коч 10^6 («чистое» топливо) Коч 10^3 («грязное» топливо)	Требование по чистке определяются проектом «Плотное топливо» Для БРЕСТ-ОД-300 предусмотрено включение Np и Am в «чистое» топливо
Обращение с МА	Два варианта дожигания МА: гомогенное - в смеси U-Pu-Np-Am гетерогенное	На первом этапе допустимо отверждение в матрицы, пригодные для длительного хранения
Мощность модуля ПЯТЦ (нитки ЦЗ)	20 т ОЯТ в год	Уточняется на стадии проектирования

Проект «ПРОРЫВ»

2012 г. –
Аппаратурно-
технологическая
схема ПЯТЦ
(ОЯТ);

2013 г. -
Аппаратур
но-
(технологич
еская схема
ПЯТЦ

2014 г. –
Технические
проекты
оборудования
ПЯТЦ
(переработка),
Проект первого
модуля ПЯТЦ;
Закупка основного
оборудования для
первого модуля

2015 г. –
Технические
проекты
оборудования
ПЯТЦ (обращение
с РАО), Проект
второго модуля
ПЯТЦ

2016 г. – Готовность ФГУП «ПО
«МАЯК» к опытной переработке
экспериментального нитридного
ОЯТ РБН Изготовление
оборудования для первого
модуля

2017 г. – Монтаж
оборудования и
пуск первого
модуля ПЯТЦ

2019 г. -
Изготовлен
ие
оборудован
ия для
второго
модул

2020 г. –
Монтаж
оборудова
ния и пуск
второго
модуля
ПЯТЦ

Проект «ПРОРЫВ»

Особенности технологий

Показатель	Коэффициент очистки фракции U-Pu (Np) от ПД		Извлечение актинидов Pu (Am)		Выдержка ОЯТ перед переработкой	
	ФАКТ	Потенциал	ФАКТ	Потенциал	ФАКТ	Потенциал
Пиро	10^3	10^6	97 % (95 %)*	99,9% (99,9 %)	1 год	1 год
ГФТ	10^{4-6}	10^7	-	99,9% (99,9 %)	-	1 год
Гидро	10^7	10^7	99,9 % (99,9 %)*	99,9% (99,9 %)	4 года	3 года
пиро + гидро	-	10^7	-	99,9% (99,9 %)	-	1 год
ГФТ + гидро	-	10^7 **	-	99,9% (99,9 %)**	-	1 год

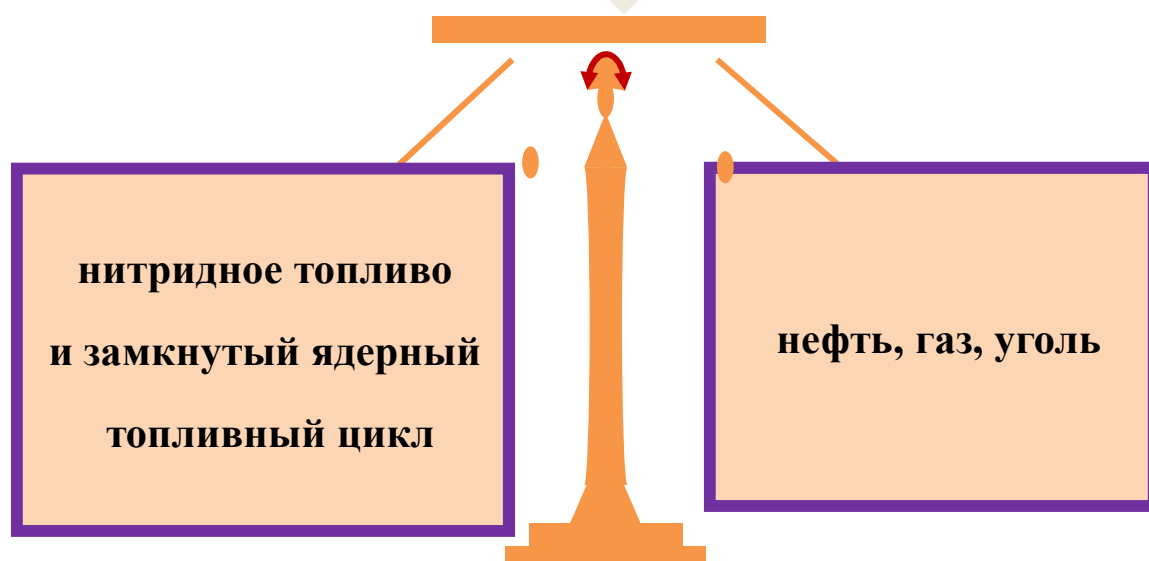
* - по материалам горячих экспериментов

** - работы 90-х – 2000-х показали серьезные проблемы с реализуемостью, связанные с переработкой огарка.

Проект «ПРОРЫВ»

И плотное нитридное топливо, и замкнутый ядерный топливный цикл с таким топливом исследуются также в рамках проекта ПРОРЫВ в применении к проектируемому реактору БН-1200, как резервный вариант в случае концептуальных проблем со свинцовым теплоносителем.

Предварительные ориентировочные расчеты показывают, что в случае реализации технических и технологических решений для реактора со свинцовым теплоносителем, интегральные экономические показатели, показывающие себестоимость генерации электроэнергии, становятся конкурентоспособными в сравнении с подобными показателями не только сегодняшней атомной энергетики, но и других видов генерации (нефть, газ, уголь).



Выводы:

Начаты работы по отработке технологии утилизации радиоактивных отходов, получаемых в топливном цикле реактора БРЕСТ-300.

Пока это в основном расчетные методы исследования и лабораторная отработка технологии.

Причина в том, что в настоящее время нет полной информации о реальном балансе всех веществ и материалов в топливном цикле. Нужны исследования всех переделов с реальными материалами.

Техническое задание на проект требует достижения показателя невозвратных потерь делящихся материалов и минор актинидов в топливном цикле не более 0,1%.

Таким образом на вопрос, вынесенный как основная тема секции: «Куда идет атомная энергетика?» (Whither nuclear power) российская наука и техника имеют следующий ответ.

Это реакторы на быстрых нейтронах с замкнутым ядерным топливным циклом, с плотным топливом с выполнением требований внутренне присущей безопасности для реактора и максимальное выполнение требований естественной безопасности.

Реализация проекта ПРОРЫВ покажет правильный ли это ответ.

Ждать осталось недолго 2020 год.