



РОСАТОМ



ТОПЛИВНАЯ КОМПАНИЯ РОСАТОМА

ТВЭЛ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

**Девятая международная научно-техническая конференция
«Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики»**

Разработка и усовершенствование ядерного топлива для активных зон энергетических установок

Авторы: П.И. Лавренюк, А.Б. Долгов

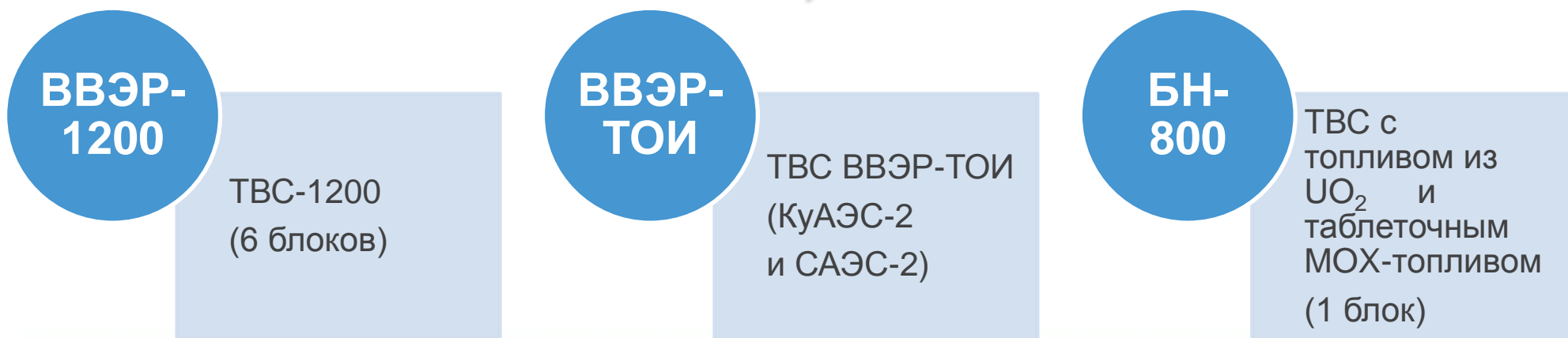
Москва, 21-23 мая 2014 года

Основные типы ядерного топлива для АЭС России

Эксплуатирующиеся АЭС



Строящиеся и проектируемые АЭС



Задачи Топливной Кампании

Основные задачи, которые ставит ОАО «Концерн Росэнергоатом» перед ОАО «ТВЭЛ»:

- ✓ Обоснование работоспособности топлива для ВВЭР-1000 при мощности блока 104%Nном, а для ВВЭР-440 – на 107%Nном;
- ✓ Обоснование работоспособности топлива для ВВЭР-1000 при мощности блока (107-110)%Nном;
- ✓ Увеличение срока службы ТВС;
- ✓ Расширение эксплуатационных пределов;
- ✓ Повышение надежности ядерного топлива.

Все задачи решаются при БЕЗУСЛОВНОМ обеспечении безопасности

Ядерное топливо для ВВЭР-1000



TVSA-PLUS

TVSA-PLUS и ТВС-2М обладают идентичными технико-экономическими характеристиками, обеспечивающими:

- ✓ возможность повышения мощности РУ до 104 % от номинальной
- ✓ 18-ти месячный топливный цикл (подпитка 66 шт.)
- ✓ выгорание в ТВэле - 72 МВт·сут/кгU
- ✓ возможность эксплуатации в маневренном режиме (100-75-100 % Nэл)
- ✓ защиту от посторонних предметов



ТВС-2М

Ядерное топливо для ВВЭР-1000

ТВС 4-го поколения

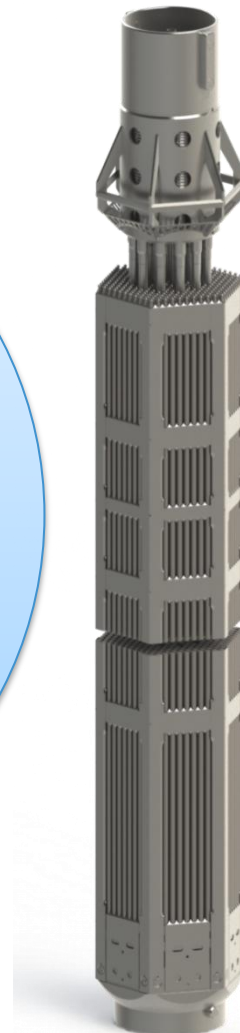


ТВС-2М
12 ДР, ПР, АДФ,
Топливный столб – 3680 мм,
Унифицированная головка

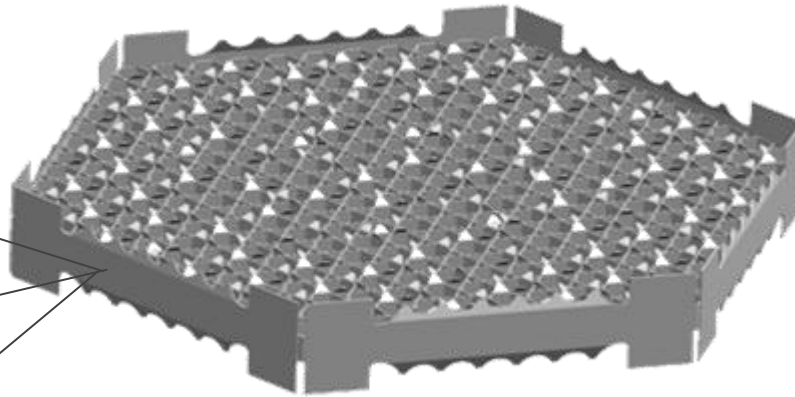
ТВСА-PLUS
АДФ,
Топливный столб – 3680 мм

ТВСА-АЛЬФА
ПР, АДФ,
таблетка $\varnothing 7,8/0$ мм

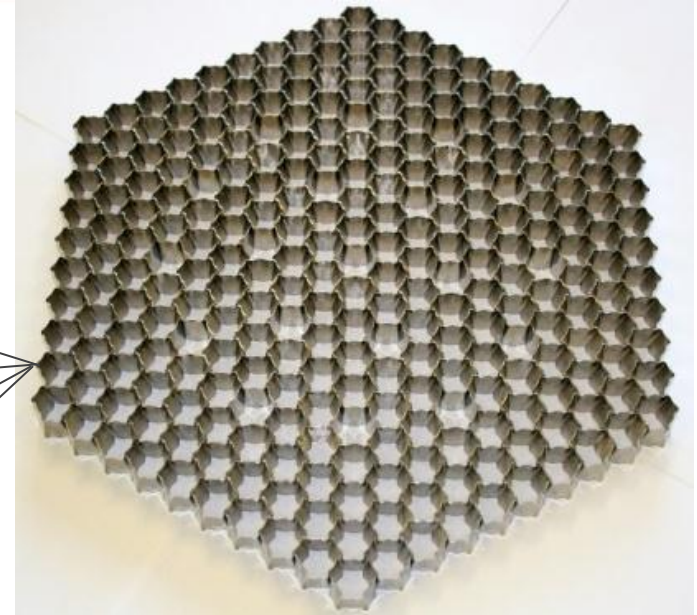
ТВС четвертого поколения
Унифицированная головка
12 ДР, ПР, АДФ
Топливный столб – 3680 мм
Таблетка $\varnothing 7,8/0$ мм
Загрузка UO_2 - 568,4 кг
Топливный цикл 3x510 или 5x333
увеличение длительности кампании
на 8 %
или
сокращение ТВС подпитки на 10%
или
уменьшение обогащения подпитки
на 7%



Ядерное топливо для ВВЭР-1000. Перемешивающие решетки



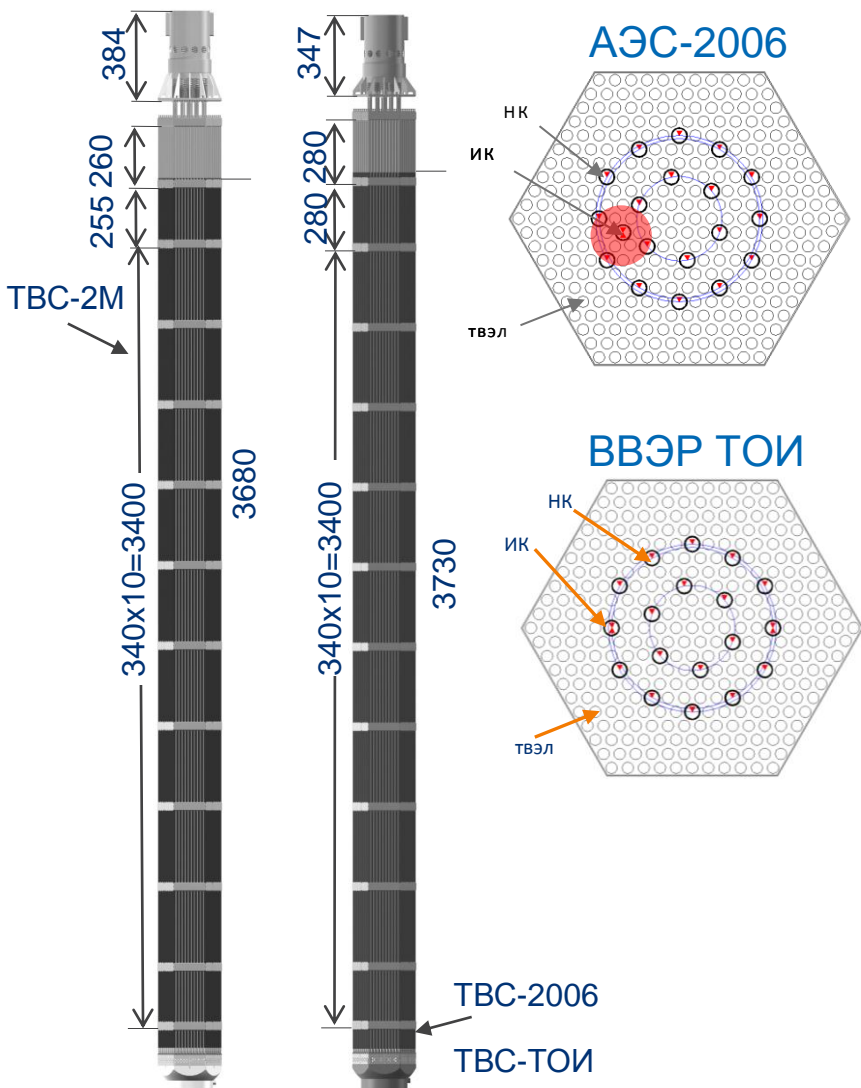
- Конструкция ПР ТВСА - пластинчатая решетка с дефлекторами потока без функции дистанционирования ТВЭЛов. ПР устанавливается между основными ДР в верхней части активной зоны.
- Использование ПР в ТВСА обеспечивает возможность дальнейшего повышения мощности
- Целесообразно внедрение ПР с «прогонкой» – как наиболее эффективной перемешивающей решетки



- Особенности конструкции ПР: сотовая; без контакта с ТВЭЛ;
- Расположение ПР: четыре верхних пролета с шагом ДР 340 мм

Для подготовки 4 блока БлКАЭС к эксплуатации на N=107-110% необходимо начать промышленную эксплуатацию ТВС-2М с ПР в объеме полной подпитки

Ядерное топливо для ВВЭР-1200/ВВЭР-ТОИ



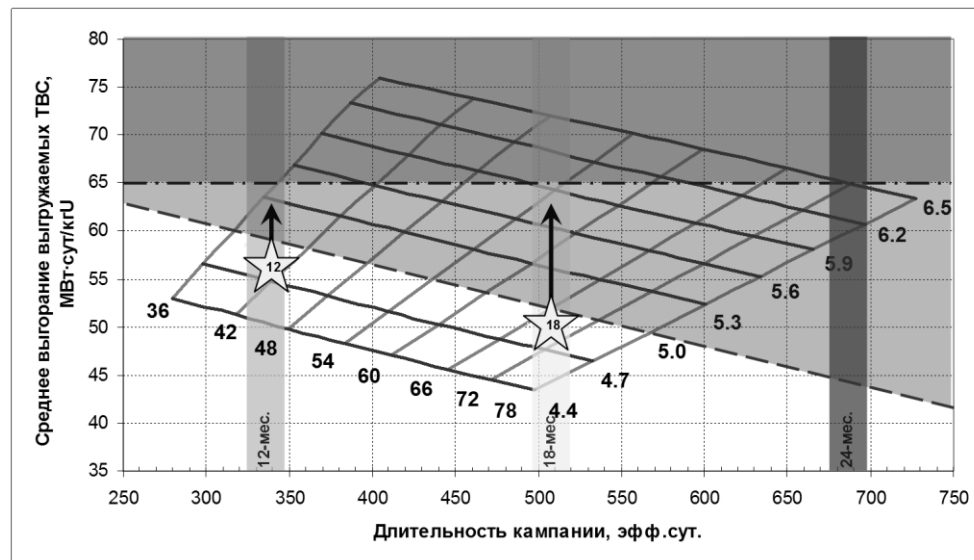
Основные параметры активных зон

Параметр	Проект	ВВЭР-1200	ВВЭР-ТОИ
Мощность РУ, МВт		3200	3300
Средняя температура на входе и на выходе из активной зоны:			
$T_{\text{вх.}}, ^\circ\text{C}$		298,1	297,2
$T_{\text{вых.}}, ^\circ\text{C}$		329,5	328,8
Количество ОР СУЗ, шт		До 121	94
Средняя линейная нагрузка, Вт/см		167	168
Максимальная линейная нагрузка, Вт/см		448	420
Высота ТВС, мм		4570	4570
Количество твэлов в ТВС		312	313
Высота топливного столба, мм		3730	3730
Масса топлива в ТВС, кг		466,4	471,7
Количество направляющих каналов		18	18
Расположение измерительного канала		боковое	В НК
Количество ДР в ТВС		13	13
Высота ячеек ДР, мм		30	30

Перспективные разработки для проектов ВВЭР-1200/ВВЭР-ТОИ

✓ Использование топлива с обогащением по урану-235 до 7%:

- Уменьшение количества ТВС подпитки на 20%,
- Повышение среднего выгорания выгружаемого топлива на 20 – 25%,
- Уменьшение топливной составляющей себестоимости производства электроэнергии в сопоставимых циклах на 5% (эрбий) и 8% (гадолиний),
- Возможность реализации 24-месячных топливных циклов.
- Возможность эксплуатации в маневренном режиме (100-50-100) % Нэл.



✓ Применение уран-эрбиевого топлива:

- Снижение неравномерности энергораспределения.
- Повышение точности расчета распределения энерговыделения.

Ядерное топливо для ВВЭР-440

Топливо второго поколения
Обогащение 4,87%, таблетка 7.6/1.2 мм
Топливный цикл – 6-ти годичный при работе на уровне мощности 1471 МВт(тепл.)(107%).
Тип пучка твэлов - профилированный, U-Gd.
Кол-во кассет подпитки – 66 шт.
Выгорание - 65 МВт·сут/кгU.
Работа в маневренном режиме.
В 2013 году переведена в промышленную эксплуатацию.

Ожидаемый эффект от внедрения – снижение ~15% количества кассет на перегрузку (в условиях работы реактора на мощности 107% от номинальной)

Топливо второго поколения

Обогащение 4.76%, таблетка 7.8/0 мм

Топливный цикл - 6-ти годичный.

Масса UO₂ – 135,5 кг

Тип пучка твэлов - профилированный, U-Gd.

Кол-во кассет подпитки – **60** шт.

Выгорание - **65** МВт·сут/кгU

Работа в маневренном режиме.

Разработан технический проект в 2012 году

Ожидаемый эффект от внедрения – снижение количества кассет на перегрузку ~10% по сравнению с кассетами второго поколения с топливом 4.87% с таблеткой 7.6/1.2 мм.

Рабочая кассета третьего поколения

Обогащение 4.87%, таблетка 7.8/0 мм.

Топливный цикл - 6-ти годичный.

Бесчехловая конструкция с каркасом из уголков и труб.

Масса UO₂ - 132 кг (увеличена на 4.5%). Шаг твэлов – 12.6 мм.

Кол-во кассет подпитки – **60** шт.

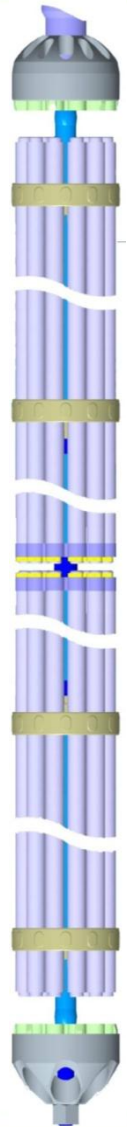
Выгорание – до **68** МВт·сут/кгU.

Работа в маневренном режиме.

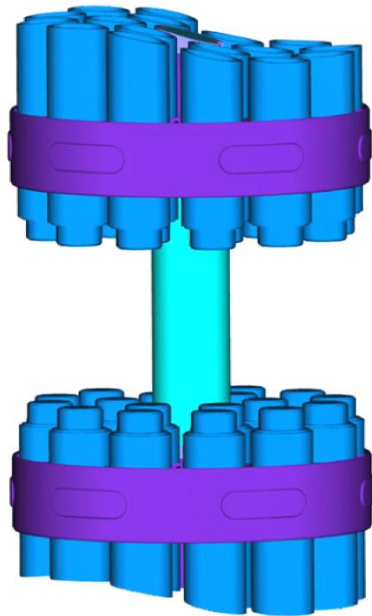
В 2010 году начата эксплуатация 12 шт. на блоке №4 Кольской АЭС

Ожидаемый эффект от внедрения РК-3 – снижение количества кассет на перегрузку ~10% по сравнению с кассетами второго поколения с топливом 4,87%

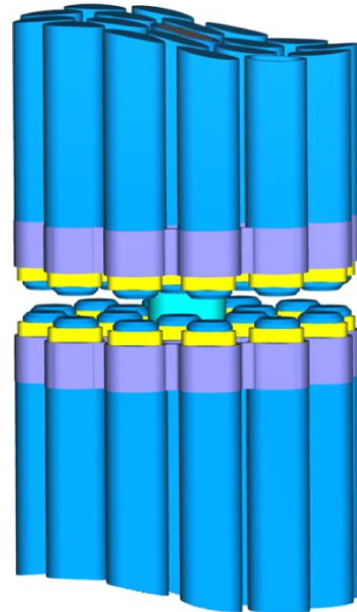
Ядерное топливо для РБМК-1000



Штатная
конструкция ТВС
РБМК-1000



Конструкция ТВС
РБМК-1000 с
центральным
закреплением
ТВЭЛОВ



На сегодняшний день штатной конструкцией для РБМК-1000 является ТВС с топливом 2,8% обогащения по урану-235 с содержанием эрбия 0,6%.

С учетом требований «Технического задания на комплекс работ по управлению ресурсными характеристиками реакторных установок РБМК-1000» и ранее выполненных обоснований наиболее перспективной конструкцией для РБМК-1000 является ТВС с центральным закреплением ТВЭЛОВ с высотным профилированием обогащения топлива (исключение просипи топлива и снижение флюэнса на конструкционные элементы РУ)

Расширение эксплуатационных параметров

Направления работ:

- ✓ Профилированные твэги;
- ✓ Лимитная кривая;
- ✓ Обоснование возможности реализации ОПРЧ;
- ✓ Увеличение циклов нагружения;
- ✓ Внедрение на ВВЭР-440 контроля активной зоны по локальным параметрам.

Требования к материалам для оболочек ТВЭЛОВ и элементов каркаса ТВС

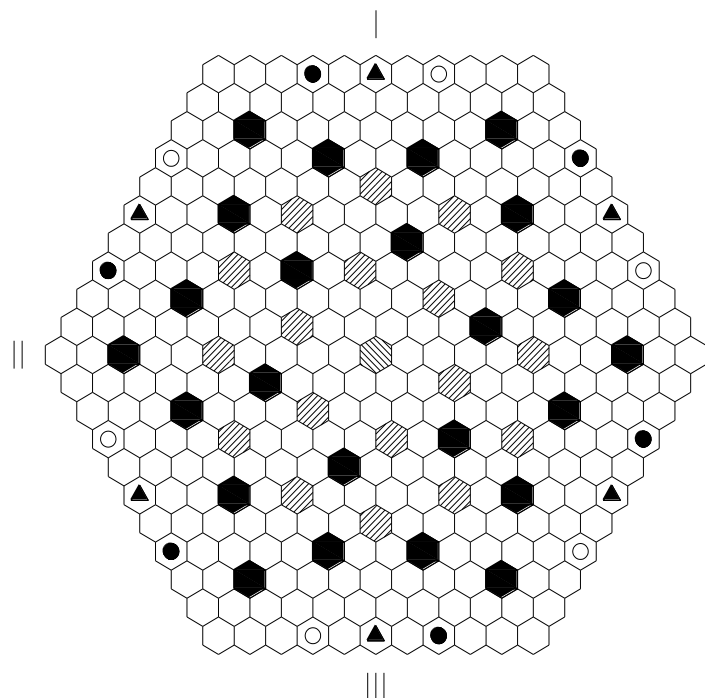
- ✓ **повышенное сопротивление ползучести;**
- ✓ **низкий радиационный рост;**
- ✓ **высокая коррозионная стойкость (толщина оксида < 60 мкм);**
- ✓ **низкая степень наводороживания (< 400 ppm H);**
- ✓ **стойкость оболочки к разгерметизации (PCI и PCMI).**
- ✓ **безусловное выполнение для оболочки ТВЭЛА критериев проектных аварий (LOCA и RIA).**

Новые разработки сплавов циркония

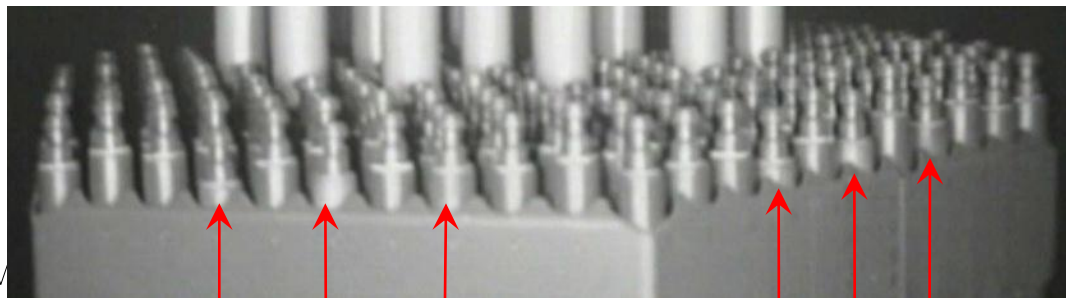
Сплав	Массовая доля легирующего элемента, %			
	Nb	Sn	Fe	O
Э110	0,90-1,10	-	< 0,05	< 0,099
Э110 опт.	0,90-1,10	-	0,025-0,07	0,06-0,099
Э110М	0,90-1,10	-	0,07-0,15	0,10-0,15
Э125	2,4-2,7	-	< 0,05	< 0,099
Э125 опт.	2,4-2,7	-	0,025-0,05	0,06-0,099
Э635	0,9-1,2	1,10-1,42	0,30-0,47	0,05-0,12
Э635М	0,7-0,9	0,7-0,9	0,30-0,40	0,04-0,10

Шихтовая основа новых сплавов - губчатый Zr

Испытание новых материалов оболочек ТВЭЛов в условиях коммерческого реактора



- — ТВЭЛ с оболочкой из сплава Э110М
- — ТВЭЛ с оболочкой из сплава Э125
- ▲ — ТВЭЛ с оболочкой из сплава Э635М



Э110М Э635М Э125 Э635М Э110М Э125

Разработка сплавов Э110М, Э125опт, Э635М направлена на решение задач:

- повышения сопротивления радиационной ползучести и росту при сохранении коррозионной стойкости;

С целью подтверждения характеристик оболочек из данных сплавов в 2012 году установлены на опытную эксплуатацию три ТВС-2М с опытными ТВЭлами на блоке №2 Балаковской АЭС.

Проект «Нулевой уровень отказа»



Основные итоги 2013 года:

1. Определена информация, необходимая для выполнения целей Проекта
2. Собрана и проанализирована статистика по отказам топлива
3. Разработано «Дерево отказов»
4. Выполнен анализ отчетов по послереакторным исследованиям ядерного топлива
5. Выполнен анализ достаточности информации по отказам, представленной в отчетах заводов-изготовителей
6. Выполнен анализ действующих требований Поставщика к условиям эксплуатации ядерного топлива

Основные задачи на 2014 год:

1. Оформление организационно-технических документов по Проекту «Нулевой уровень отказа» в пятистороннем формате
2. Проведение рабочих визитов на заводах-изготовителях ядерного топлива и комплектующих
3. Продолжение работ по выявлению тенденций и закономерностей отказов ядерного топлива и подготовка рекомендаций, направленных на достижение нулевого уровня отказов

Топливная компания ТВЭЛ в ЯТЦ



В условиях возможности реализации различных топливных циклов для реакторов ВВЭР-1000 существуют варианты оптимизации топливных решений в логике минимизации удельной стоимости топлива (включая эксплуатационные затраты на обращение с ядерным топливом, влияние на стоимость ремонтных работ и КИУМ АЭС, стоимость обращения с ОЯТ и РАО) на кВт*ч.

В 2014 году будут разработаны калькуляторы расчетов показателей LCOP и LCOE и сформирован модуль стоимости топлива в динамической модели стоимости АЭС. Исходные данные для расчетов предоставляют ОАО «ТВЭЛ», ОАО «Концерн Росэнергоатом» и Госкорпорация «Росатом»



Заключение

- Сегодня ядерное топливо для энергетических реакторов конкурентоспособно и отвечает требованиям Заказчиков.
- Существует программа развития ядерного топлива на ближайшую перспективу, согласованная с ОАО «Концерн Росэнергоатом».
- Дальнейшее развитие ядерного топлива должно проходить с учетом стратегии обращения с облученным топливом.

Спасибо за внимание!