



ТВЭЛ
РОСАТОМ

Результаты совершенствования топлива и ближайшие перспективы

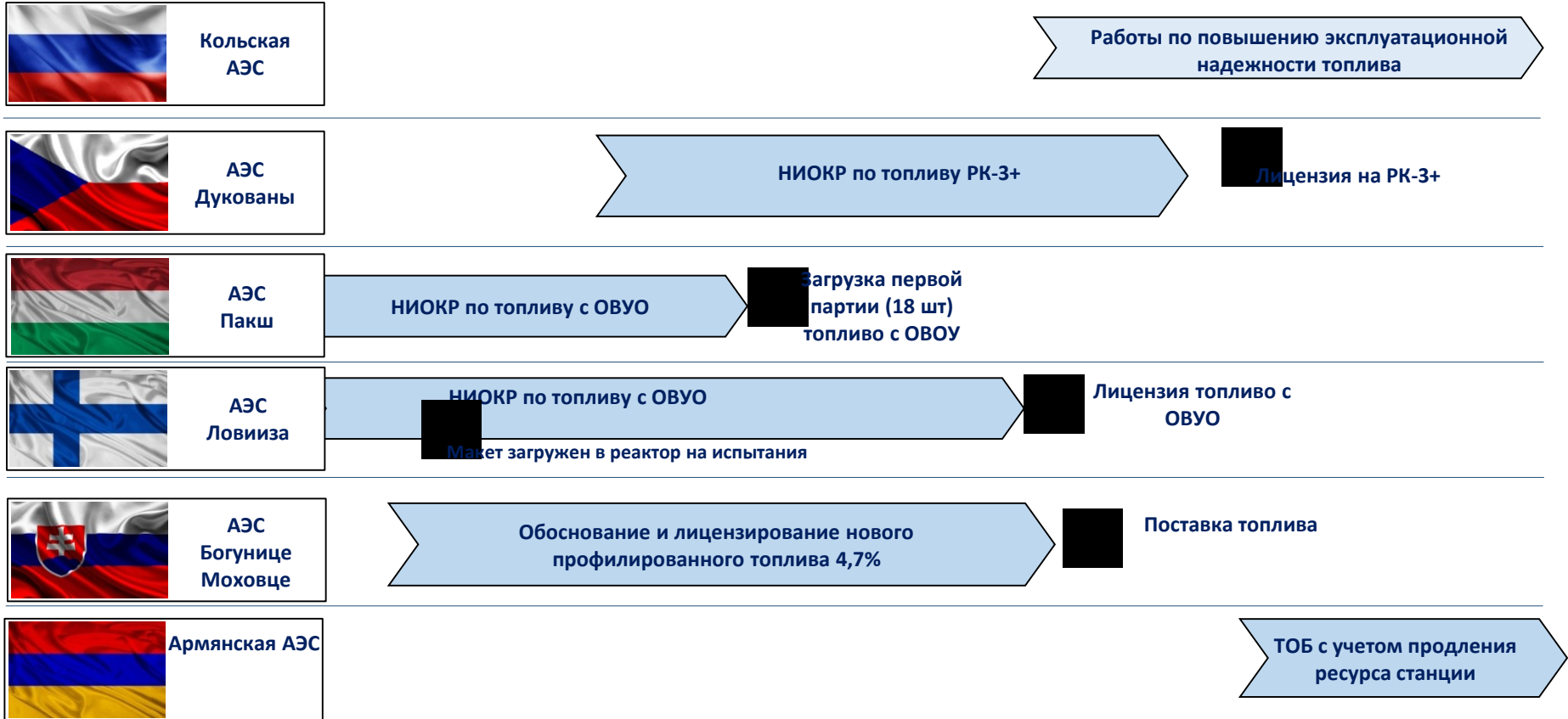
Шишкин Алексей Александрович

круглый стол отечественного Ядерного общества (ЯО)
«История и перспективы ядерного топлива»



ТВЭЛ
РОСАТОМ

Основные направления разработок и внедрения ядерного топлива ВВЭР (ВВЭР-440)





ТВЭЛ
РОСАТОМ

Основные направления разработок и внедрения ядерного топлива ВВЭР (ВВЭР-1000)



Балаковская
Ростовская
АЭС

Осмотр ТВС-2М с АДФ-2. Принятие решения о расширении эксплуатации

ТОБ по Толерантному топливу

Старт производства

ОПЭ Толерантного топлива

ОПЭ ТВС-2М с РЕМИКС-топливом



Калининская
АЭС

Принятие решения об ОПЭ

НИОКР, обоснование ОПЭ по ТВСА с твэлами БК



АЭС
Темелин

Тендер на поставку ЯТ



АЭС
Тяньвань

Повышение мощности до 104% Nном



АЭС
Куданкулам

Обоснование ТВС-2М



ТВЭЛ
РОСАТОМ

Основные направления разработок и внедрения ядерного топлива ВВЭР (ВВЭР-1200/ТОИ)





ТВЭЛ
РОСАТОМ

Ядерное топливо для ВВЭР-440. Оптимизация водородного отношения

Диаметр топливной таблетки – 7.6 мм (без центрального отверстия).

Диаметр оболочки твэла - 8.9 мм/7.73 мм.

Требования к топливному циклу:

АЭС «Ловииза» – сохранение мощности блока и продолжительности кампании при снижении обогащения топлива.

АЭС «Пакш» – уменьшение количества кассет на перегрузку при сохранении длительности кампании.

Характеристика	АЭС «Пакш»		АЭС «Ловииза»	
	Проектный 15-ти месячный ТЦ	Новый 15-ти месячный ТЦ	Проектный 4-х годичный ТЦ	Новый 4-х годичный ТЦ
Топливный цикл				
Количество свежих ТВС в перегрузке	102	96	84	84
Среднее обогащение топлива, %	4.64	4.70	4.32	4.19
Длительность топливной кампании, эфф. сут.	425	428.1	315	320
Расход природного урана, т/год	89.0	87.0	84.9	84.4



Ядерное топливо для ВВЭР-440. РК-3+

Основные сравнительные характеристики стационарных топливных циклов с топливом 2-го поколения типа Gd-2M+ и с топливом 3-го поколения типа РК-3+ для АЭС «Дукованы»

Характеристика	РК Gd-2M+	РК-3+
Количество свежих кассет в перегрузке	66 (12 ТВС 4.38% / 54 РК 4.76%)	
Длительность топливной кампании, эфф. сут.	322	334
Максимальное выгорание в кассете, МВт·сут/кгU	55.9	57.6





ТВЭЛ
РОСАТОМ

Развитие ядерного топлива для ВВЭР-1000 / 1200 / 1300. Сегодня



ТВС-2М ВВЭР-1000
Шаг расположения ДР – 340 мм,
ПР, АДФ
Топливный столб – 3680 мм,
Унифицированная головка

ТВСА-PLUS ВВЭР-1000
АДФ,
Топливный столб – 3680 мм

ТВСА-12 ВВЭР-1000
ПР, АДФ,
таблетка $\varnothing 7,8/0$ мм

ТВС четвертого поколения

Унифицированный шаг
расположения ДР – 340 мм
Унифицированная головка
ПР, АДФ

Топливный столб – 3680 мм

Таблетка $\varnothing 7,8/0$ мм

Загрузка UO_2 - 568,4 кг

Топливный цикл 3x18 или 5x12 мес





ТВЭЛ
РОСАТОМ

Развитие ядерного топлива для ВВЭР-1000 / 1200 / 1300.



ТВС АЭС-2006 (ВВЭР-1200)
и ТВС ВВЭР ТОИ

Топливный столб – 3730 мм
Унифицированный шаг
расположения ДР – 340 мм

ТВС четвертого поколения

Унифицированный шаг
расположения ДР – 340 мм
Унифицированная головка
ПР, АДФ
Таблетка $\varnothing 7,8/0$ мм

Стратегия развития ядерной
энергетики России до 2050
года и в перспективе на
период до 2100 года

Задача: Вовлечение продуктов
переработки ОЯТ в ЯТЦ

ТВС-5 (пятого поколения)

Унифицированный шаг расположения ДР –
340 мм

Унифицированная головка

ПР, АДФ

Топливный столб – 3730 мм

Таблетка $\varnothing 7,8/0$ мм

Топливо: MOX (Remix), UO_2

Топливный цикл 3x18 или 3x24 месяца

Целевое максимальное выгорание по ТВС:

- для ТВС с UO_2 70 МВт·сут/кгU

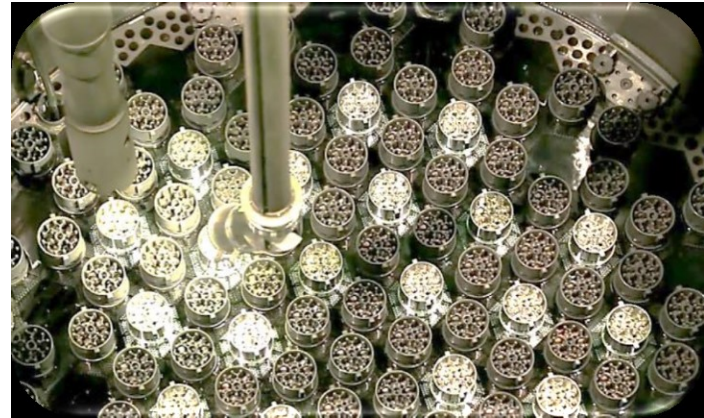
- для ТВС с MOX 60 МВт·сут/кгТМ



ТВЭЛ
РОСАТОМ

Ядерное топливо для ВВЭР-1000/1200

- Разработка обоснования работоспособности твэла и твэга ВВЭР-1200 в маневренных режимах эксплуатации в гибком топливном цикле 12-18 месяцев.
- Обоснование работоспособности ТВС-2М при работе РУ на мощности до 107% от Нном.
- Вовлечение в топливный цикл регенерата урана

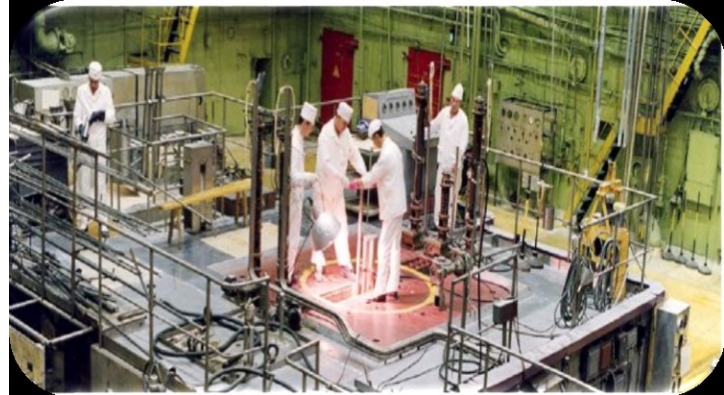
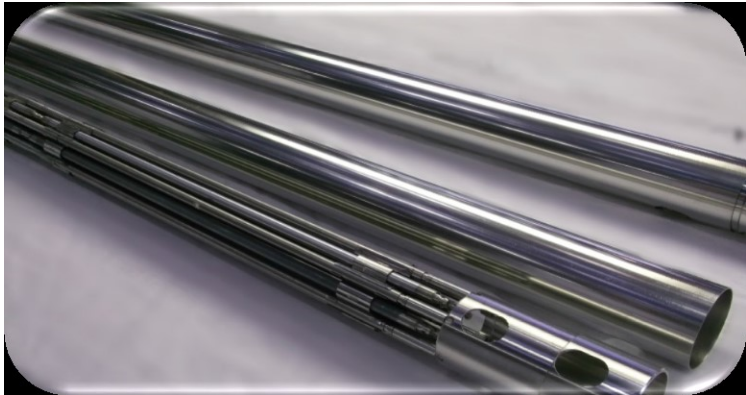




ТВЭЛ
РОСАТОМ

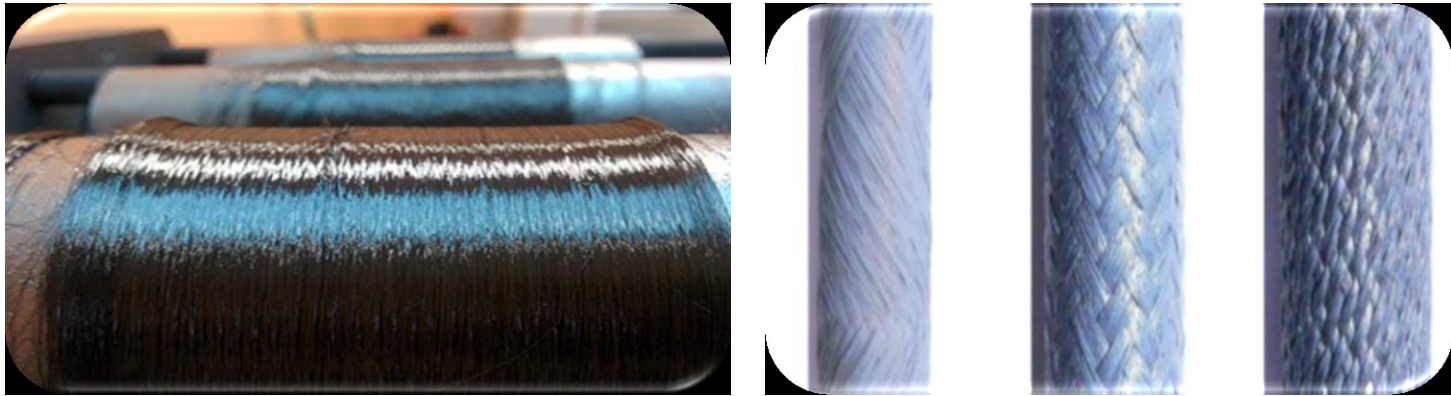
Толерантное топливо

- Выполнение первого этапа реакторных испытаний ЭТВС-В и ЭТВС-К в исследовательском реакторе МИР и проведение послереакторных исследований первой партии твэлов.
- Отработка технологии изготовления оболочек из сплавов 42ХНМ и Э110 с хромовым покрытием.
- Отработка технологии изготовления таблеток из сплава U-Mo.
- Отработка технологии изготовления толерантных твэлов.
- Обоснование ОПЭ трех комбинированных ТВС-2М с твэлами толерантного типа в реакторе ВВЭР-1000 энергоблока № 2 Ростовской АЭС. Изготовление 3-х КТВС-2М.





Перспектива. Керамические оболочки (SiC)

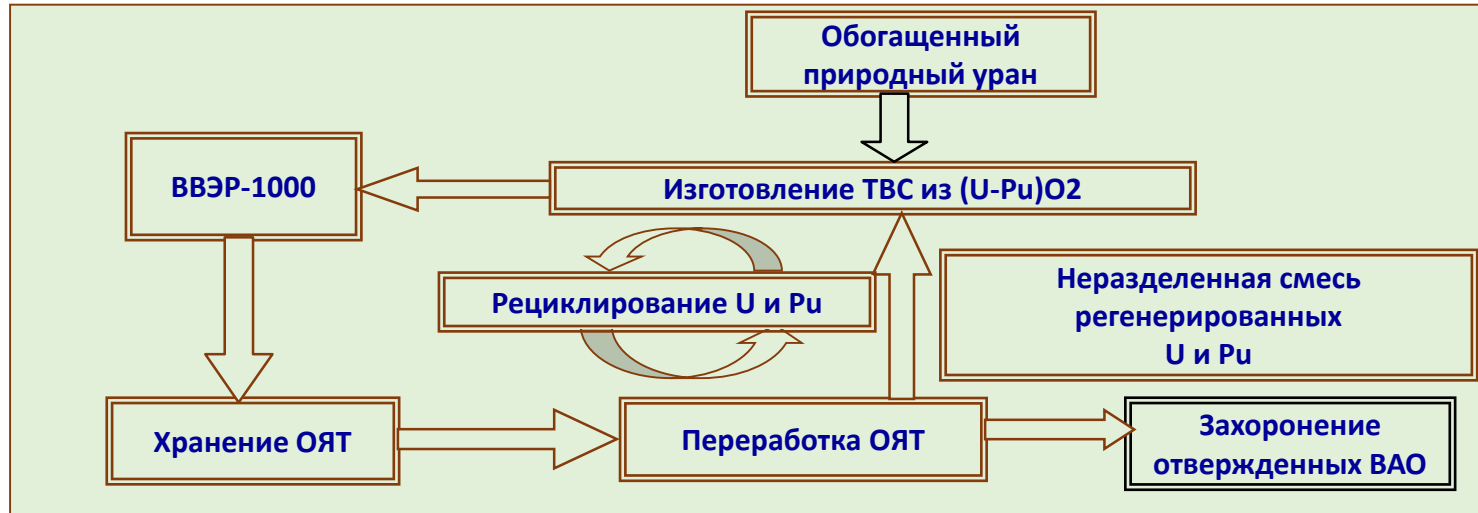


Преимущества:

- температура диссоциации SiC (~2545 °C) в 2 раза превышает температуру оболочки в случае проектной аварии с потерей теплоносителя;
- не взаимодействует с водяным паром до 1300 °C;
- сечение захвата тепловых нейтронов карбидом кремния меньше, чем у циркония.

Недостатки:

- проблемы с обращением и использованием оболочек, связанные с их хрупкостью при нормальных условиях;
- низкая скорость ползучести оболочек из SiC;
- проблемы с герметизацией твэл (сварка заглушки и оболочки);
- дорогостоящее производство волокон из SiC.



- В рамках обоснования безопасности в 2016 году начаты реакторные испытания 3-х экспериментальных ТВС-2М с РЕМИКС-топливом в реакторе ВВЭР-1000 энергоблока №3 Балаковской АЭС и ампул с РЕМИКС-топливом в исследовательском реакторе МИР.
- Для получения референтного опыта изготовления и эксплуатации РЕМИКС-топлива планируется создать опытно-промышленное производство мощностью не менее 60 тТМ/год.



ТВЭЛ
РОСАТОМ

«Сбалансированный ЯТЦ» - реализация программы





ТВЭЛ
РОСАТОМ

**Спасибо за
внимание!**