



ТОПЛИВНАЯ КОМПАНИЯ РОСАТОМА
ТВЭЛ

ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ АЭС : СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В.Л. Молчанов

Заместитель исполнительного директора

**Восьмая международная научно-техническая конференция
«Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики»
Россия, Москва, 23-25 мая 2012 года**

Топливная компания Росатома ОАО «ТВЭЛ»

Научно-
технический
блок

Изготовление
ГЦ

Конверсия и
обогащение

Фабрикация
ЯТ

- **1500 реакторо-лет успешной эксплуатации ядерного топлива на АЭС с ВВЭР**
- **17% мирового рынка ядерного топлива для реакторов АЭС**
- **45% мирового рынка обогащения урана**



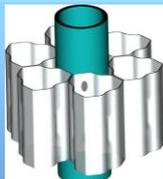
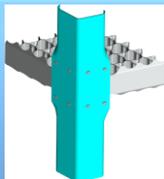
Наша цель

Поставка Заказчику ядерного топлива, обеспечивающего:

Надежную и безопасную эксплуатацию

Экономическую эффективность использования в различных топливных циклах

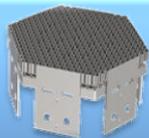
Повышение надежности ядерного топлива



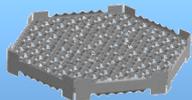
Повышение геометрической стабильности ТВС
Применение ТВС жестким каркасом



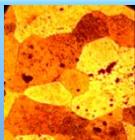
Повышение защищенности от повреждения
посторонними предметами в теплоносителе
Применение антидебризных фильтров (АДФ)



Повышение устойчивости к вибрационным
нагрузкам
Применение антивибрационных решеток (АВР)



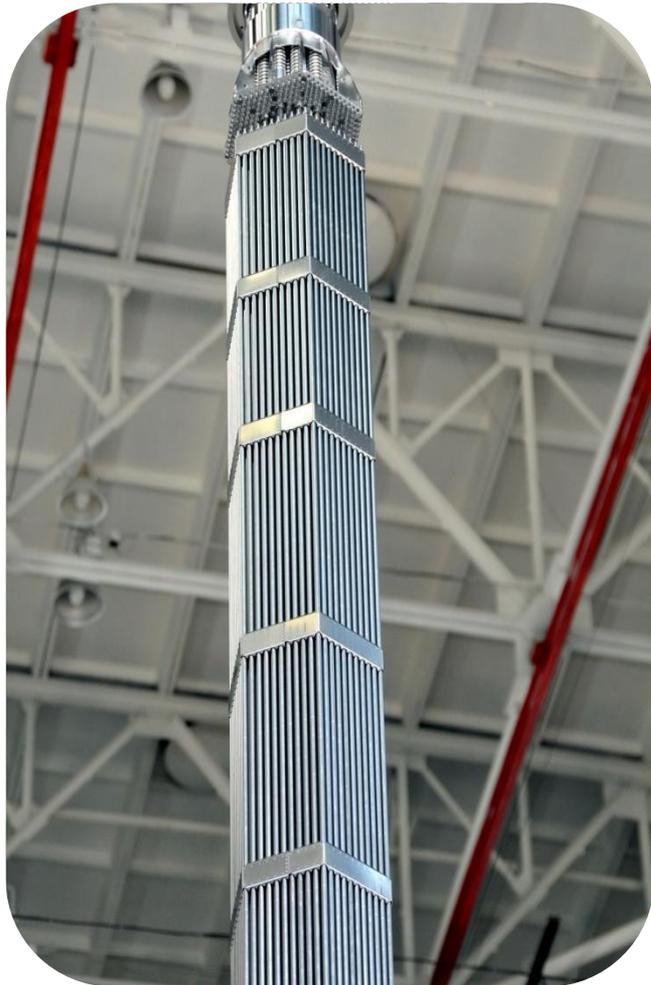
Повышение теплотехнической надежности
Применение перемешивающих решеток (ПР)



Предотвращение взаимодействия топлива
с оболочкой ТВЭЛ, уменьшение выхода ГПД
Увеличение среднего размера зерна топлива



Повышение экономической эффективности ядерного топлива



Увеличение глубины выгорания топлива

Повышение эксплуатационного ресурса топлива

Создание условий для повышения тепловой мощности энергоблоков

Обеспечение работоспособности ядерного топлива в маневренных режимах эксплуатации

Ядерное топливо ВВЭР-440

Современное состояние

АЭС с ВВЭР-440	Тип топлива	Обогащение
Нововоронежская АЭС-3, 4 (Россия)	Штатное	3,82
Кольская АЭС-1, -2 (Россия)	Виброустойчивое исполнение	3,82
Кольская АЭС-3, -4 (Россия)	Второе поколение/РК-3	4,87/4,25
Ровенская АЭС-1,-2 (Украина)	Второе поколение	4,38/4,25
Армянская АЭС (Армения)	Виброустойчивое исполнение	3,82
АЭС «Дукованы»(Чехия)	Второе поколение	4,38/4,25
АЭС «Богунце (Словакия)	Второе поколение	4,87
АЭС «Моховце» (Словакия)	Второе поколение	4,87
АЭС «Пакш» (Венгрия)	Второе поколение	4,20
АЭС «Ловииза» (Финляндия)	Второе поколение	4,37/4,0



Ядерное топливо для ВВЭР-440



Виброустойчивое топливо
 Обогащение 3.82%
 Таблетка 7.57/1.4
 1998-2002

Топливо второго поколения
 Обогащение до 4.38%
 Таблетка 7.6/1.2
 2003-2011...

Топливо второго поколения
 Обогащение 4.87%
 Таблетка 7.6/1.2
 2010

РК третьего поколения
 Обогащение 4.87%
 Таблетка 7.8/0
 2010

Топливо второго поколения
 Обогащение 4.87%
 Таблетка 7.8/0
 2012



Ядерное топливо ВВЭР-1000

Современное состояние

АЭС с ВВЭР-1000	Тип топлива	Всего в мире эксплуатируется 31 энергоблок с реакторами ВВЭР-1000. Еще 2 энергоблока (АЭС «Куданкулам») находятся в стадии завершения строительства и подготовки к пуску
Нововоронежская АЭС-5 (Россия)	чехловая	
Балаковская АЭС (Россия)	ТВС-2М	
Ростовская АЭС (Россия)	ТВС-2М	
Калининская АЭС-1 (Россия)	ТВСА-АЛЬФА+12 ТВСА-12	
Калининская АЭС-2, 3, 4 (Россия)	ТВСА-PLUS	
Южно-Украинская АЭС (Украина)	ТВСА	
Запорожская АЭС (Украина)	ТВСА	
Хмельницкая АЭС (Украина)	ТВСА	
Ровенская АЭС-3, 4 (Украина)	ТВСА	
АЭС «Козлодуй»-5, 6 (Болгария)	ТВСА	
АЭС «Темелин» (Чехия)	ТВСА-Т	
АЭС «Тяньвань» (Китай)	УТВС+6 ТВС-2М	
АЭС «Бушер» (Иран)	УТВС	

Ядерное топливо ВВЭР-1000

Современное состояние



Калининская АЭС
блоки №2, №3 и №4



Балаковская АЭС



Ростовская АЭС

ТВСА-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
- ✓ ремонтпригодность в условиях АЭС

ТВСА-PLUS

ТВС-2М



ТОПЛИВНАЯ КОМПАНИЯ РОСАТОМА

ТВЭЛ

Ядерное топливо для ВВЭР-1000



Ядерное топливо для ВВЭР-1000

Перспективы

ТВС четвертого поколения для ВВЭР-1000

- ✓ топливный столб 3680 мм;
- ✓ топливная таблетка 7.8x0 мм;
- ✓ 12 дистанционирующих решеток;
- ✓ перемешивающие решетки;
- ✓ хвостовик с АДФ;
- ✓ антивибрационный нижний узел.

Этапы развития

Технический проект	2012
Начало опытной эксплуатации	2014

Эффект от внедрения:

- увеличение длительности ТК на 8 %,
- или сокращение ТВС подпитки на 10%,
- или уменьшение обогащения подпитки на 7%,
- или увеличение мощности на 10%



Разработка ядерного топлива для ВВЭР-1200/1300 Направления развития

Базовая конструкция ТВС

Н_т= 3200 МВт
Кампании от 300 до 540
эфф.суток
Обогащение до 4.95%
Таблетка 7.6/1.2мм,
Высота а.з. 3730 мм
Масса UO₂ 534 кг
Выгорание
64 МВт сут/кг U
Суточные маневры
100-75-100 % Нэл
Поставка топлива- 12.2012 г.

Развитие конструкции ТВС

Н_т= 3300 МВт
Обогащение до 4.95%
Таблетка 7.8/0мм
Высота а.з.3730 мм
Масса UO₂ 580 кг
Интенсификаторы
теплообмена
Суточное
маневрирование
100-50-100 %
Корректировка проекта -
2015 г.

Повышение обогащения свыше 5 %

Обогащение до 7%
Уран-эрбиевое топливо
Циркониевые сплавы Э110М,
Э635М и Э125

Обоснование и разработка
проекта - 2018 год

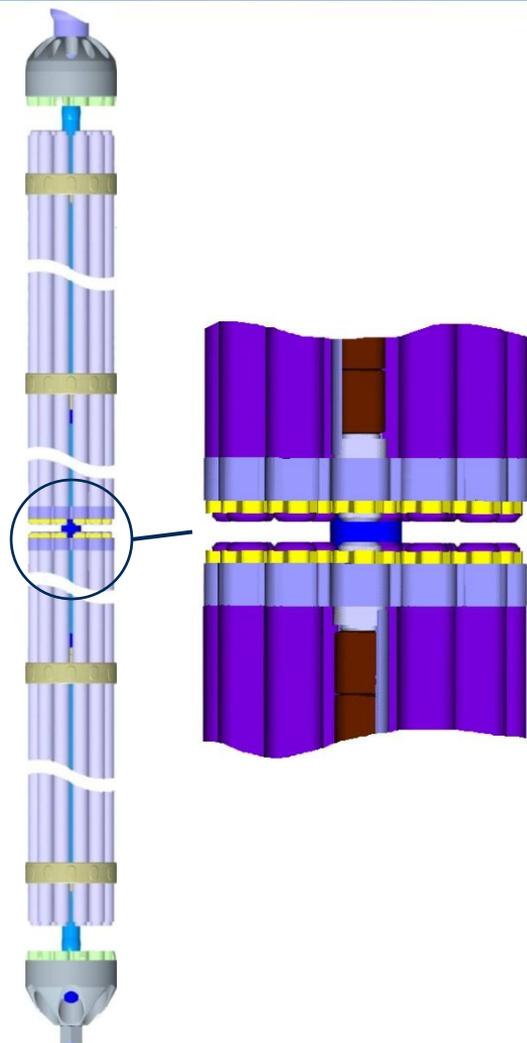
2-годовой цикл
(кампания 680 эфф. суток)
Уменьшение количества ТВС
подпитки на 20%
Повышение среднего
выгорания топлива
на 20-25 %
Снижение топливной
составляющей на 6 - 9 %

Совершенствование расчетных кодов:

- Разработка кодов для связанных теплогидравлических и нейтронно-физических расчетов активной зоны;
- Совершенствование методик расчета запаса до кризиса теплообмена по локальным параметрам;
- Применение методик и кодов «наилучшей оценки»;
- Использование статистических методов при расчете инженерных коэффициентов запаса.



Ядерное топливо для РБМК-1000



ТВС РБМК-1000

с центральным закреплением ТВЭЛОВ

Обогащение 2,6% ^{235}U + 0,41%Ег.

С 2002 года осуществлена эксплуатация 100 ТВС на энергоблоке 2 Ленинградской АЭС

Максимальное выгорание - 31 МВт·сут/кгU.

Среднее выгорание – 26 МВт·сут/кгU.



ТВС-Ц РБМК-1000

модернизированной конструкции

Обогащение 2,8% ^{235}U + 0,6%Ег.

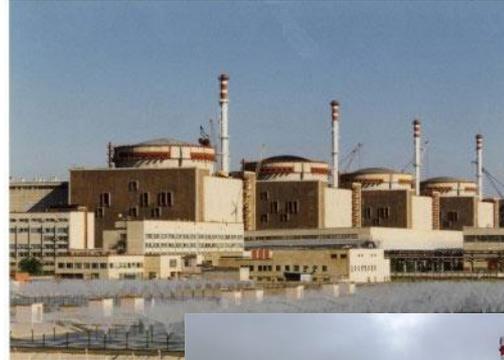
В 2014 году планируется загрузить первую партию на блок 3 Ленинградской АЭС.

Максимальное выгорание – 34,5 МВт·сут/кгU.

Конструкционные материалы

Использование циркониевых сплавов

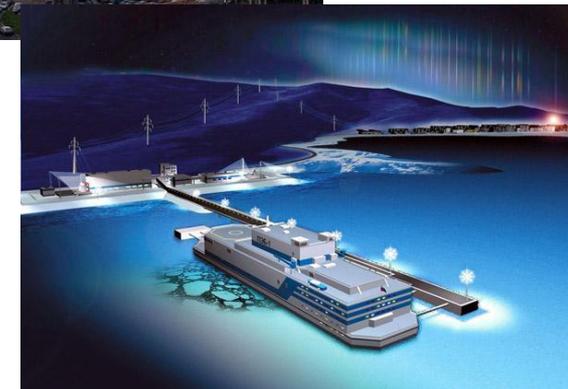
ВВЭР



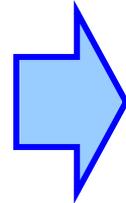
РБМК



ПЭБ



**Zr-сплавы
(Система Zr-Nb)**



Конструкционные материалы

Использование циркониевых сплавов



Промышленные Zr-сплавы для ТВС реакторов типа ВВЭР-1000:

Э635 – направляющие каналы и центральные трубы ТВСА и ТВС-2, уголки жесткости ТВСА;

Э110 – оболочки и заглушки ТВЭЛОВ, дистанционирующие решетки;

Э125 – чехлы 5-го блока ВВЭР-1000 НВАЭС

Развитие циркониевых материалов

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

- 1. Повышения сопротивления радиационной ползучести и росту при сохранении коррозионной стойкости;**
- 2. Применения модифицированных циркониевых сплавов в проектах АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ.**
- 3. Обеспечения конкурентных характеристик по сравнению с зарубежными сплавами M5, Zirlo, Q (AREVA) и AXIOM (Westinghouse).**



Эксплуатация трех ТВС-2М, имеющих опытные твэлы с оболочками из сплавов Э110М, Э125 опт. и Э635М в реакторе ВВЭР-1000 с 2012 года.

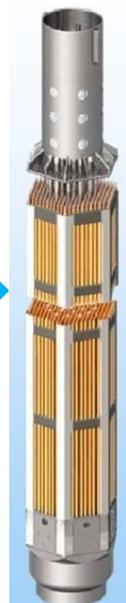
Испытания ТВЭЛОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

(таблетки 7,6/1,2 мм, таблетки 7,8/0 мм, таблетки с крупным зерном)



Калининская АЭС,
Кольская АЭС

2010



2011



Горячая камера

2012



Изготовление
эксперимен-
тальных ТВЭЛОВ

Реактор МИР

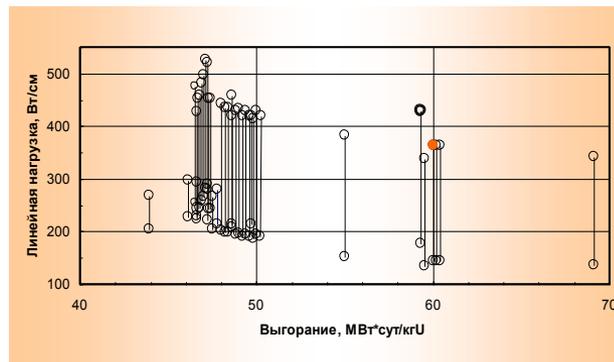
ТВСА

2012



RAMP

2012-14



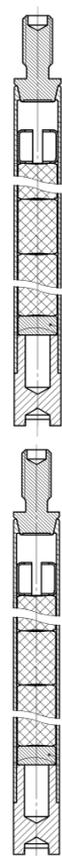
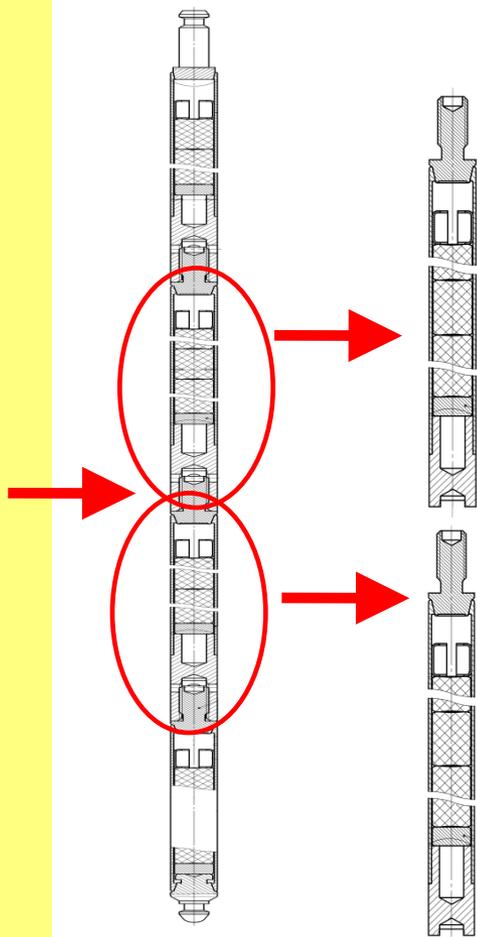
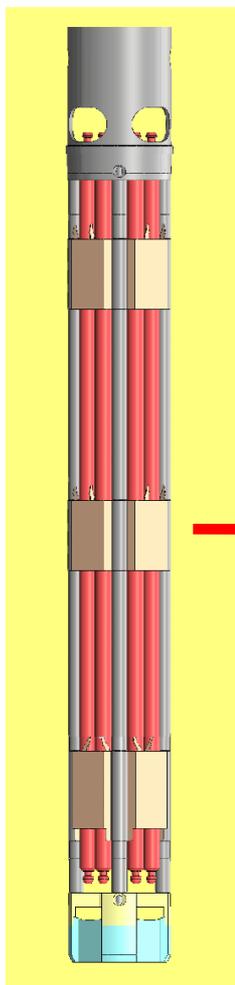
ТОПЛИВНАЯ КОМПАНИЯ РОСАТОМА

ТВЭЛ

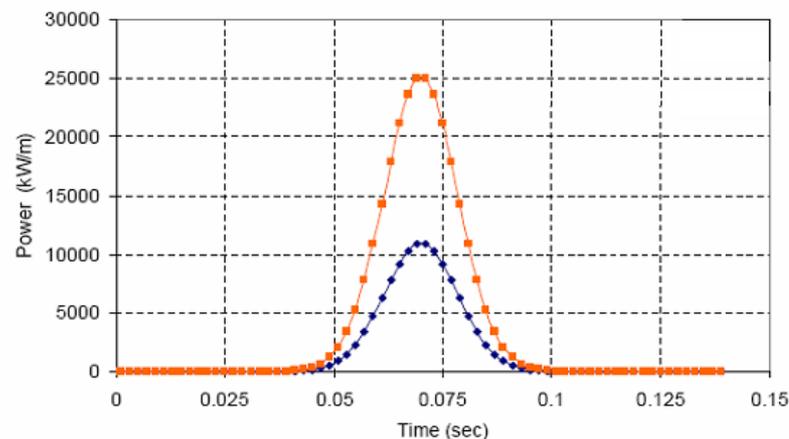
Экспериментальная поддержка критериев

(таблетки 7,6/1,2 мм, таблетки 7,8/0 мм)

Испытание твэлов в условиях RIA (2013-15)



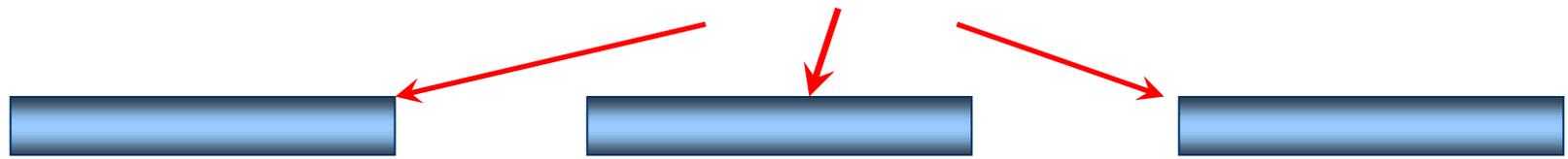
Критериальные эксперименты с рефабрикованными твэлами и твэгами ВВЭР на импульсном реакторе БИГР.



Экспериментальная поддержка критериев

(таблетки 7,6/1,2 мм, таблетки 7,8/0 мм)

Испытание твэлов в условиях LOCA (2013-15)

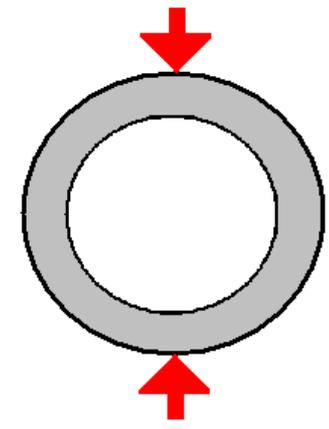
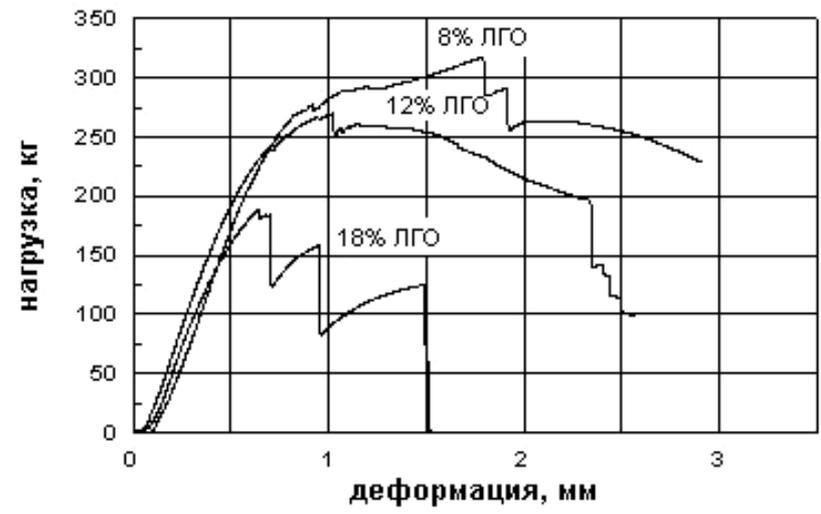


Необлученные
оболочки

Облученные
оболочки
(реактор МИР)

Механические
испытания твэлов

LOCA



Заключение (1)

1. Представленная работа – результат деятельности под руководством и по заказу ОАО «ТВЭЛ» научных и конструкторских организаций: НИЦ «Курчатовский институт», ОАО «ВНИИНМ», ОАО «ОКБ ГИДРОПРЕСС», ОАО «ОКБМ Африкантов», ОАО «НИКИЭТ, ОАО «ГНЦ НИИАР», ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ», ГНЦ РФ ТРИНИТИ, а также заводо-изготовителей - ОАО «МСЗ», ОАО «НЗХК», ОАО «ЧМЗ» и ОАО «МЗП».

Заключение (2)

2.ОАО «ТВЭЛ» отмечает высокий уровень взаимодействия с ОАО «Концерн Росэнергоатом» в вопросах внедрения новых типов топлива и благодарит коллег за продуктивное сотрудничество.



Спасибо за внимание!

