



ТОПЛИВНАЯ КОМПАНИЯ РОСАТОМА

**ТВЭЛ**

# НОВЫЕ ВИДЫ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

*Д.В.Крылов*  
*ОАО «ТВЭЛ»*

**Международный форум «АТОМЭКСПО 2011»**

**«Развитие атомной энергетики: пауза или продолжение».**

**Круглый стол «Перспективы международной кооперации в ядерном топливном цикле». Москва, 06÷08 июня 2011 года.**

# Цель

**Поставка Заказчику топлива,  
обеспечивающего:**

**Надежную и  
безопасную  
эксплуатацию**

**Экономическую  
эффективность  
использования в  
различных  
топливных циклах**

**Конкурентоспособность  
российского ядерного топлива**

# Основные направления разработок

- ✓ Повышение эксплуатационной надежности ТВС.
- ✓ Повышение эксплуатационного ресурса.
- ✓ Увеличение глубины выгорания топлива.
- ✓ Разборность и ремонтпригодность конструкции.
- ✓ Создание ТВС для новых ЯЭУ.



# Ядерное топливо ВВЭР-440



# Ядерное топливо ВВЭР-440

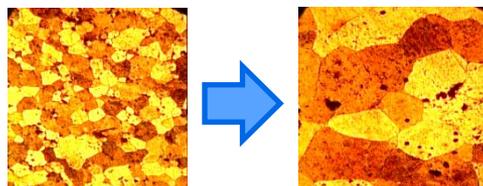
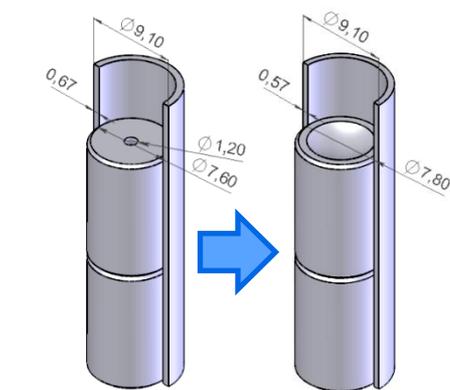
Топливо второго поколения  
Обогащение 4,87%  
Таблетка 7.6/1.2 мм

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 2010 году начата опытно-промышленная эксплуатация в объеме подпитки на блоке №4 Кольской АЭС.

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



Топливо второго поколения  
Обогащение 4.87%  
Таблетка 7.8/0 мм

Топливный цикл - 6-ти годичный при работе на уровне мощности 1540 МВт(тепл.) (**112%**).

Тип пучка твэлов - профилированный, U-Gd.  
Кол-во кассет подпитки – **60** шт.  
Выгорание - 65 МВт·сут/кгU  
Работа в маневренном режиме.

Разработка технического проекта в 2012 году

**Ожидаемый эффект от внедрения** – снижение количества кассет на перегрузку ~8% по сравнению с кассетами второго поколения с топливом 4.87% с таблеткой 7.6/1.2 мм.

# Ядерное топливо ВВЭР-440

## Рабочая кассета третьего поколения (для реакторов ВВЭР-440 второго поколения)

Бесчехловая конструкция с каркасом  
из уголков и труб

Среднее обогащение по  $^{235}\text{U}$  – 4.87%.

Таблетка 7.8/0 мм.

Масса  $\text{UO}_2$  - 132 кг (увеличена на 4.5%).

Шаг твэлов – 12.6 мм.

Количество кассет подпитки – 60 шт.

Выгорание – до 68 МВт·сут/кгU.

Топливный цикл - 6-ти годичный при работе на уровне мощности  
1471 МВт(тепл.) (107%).

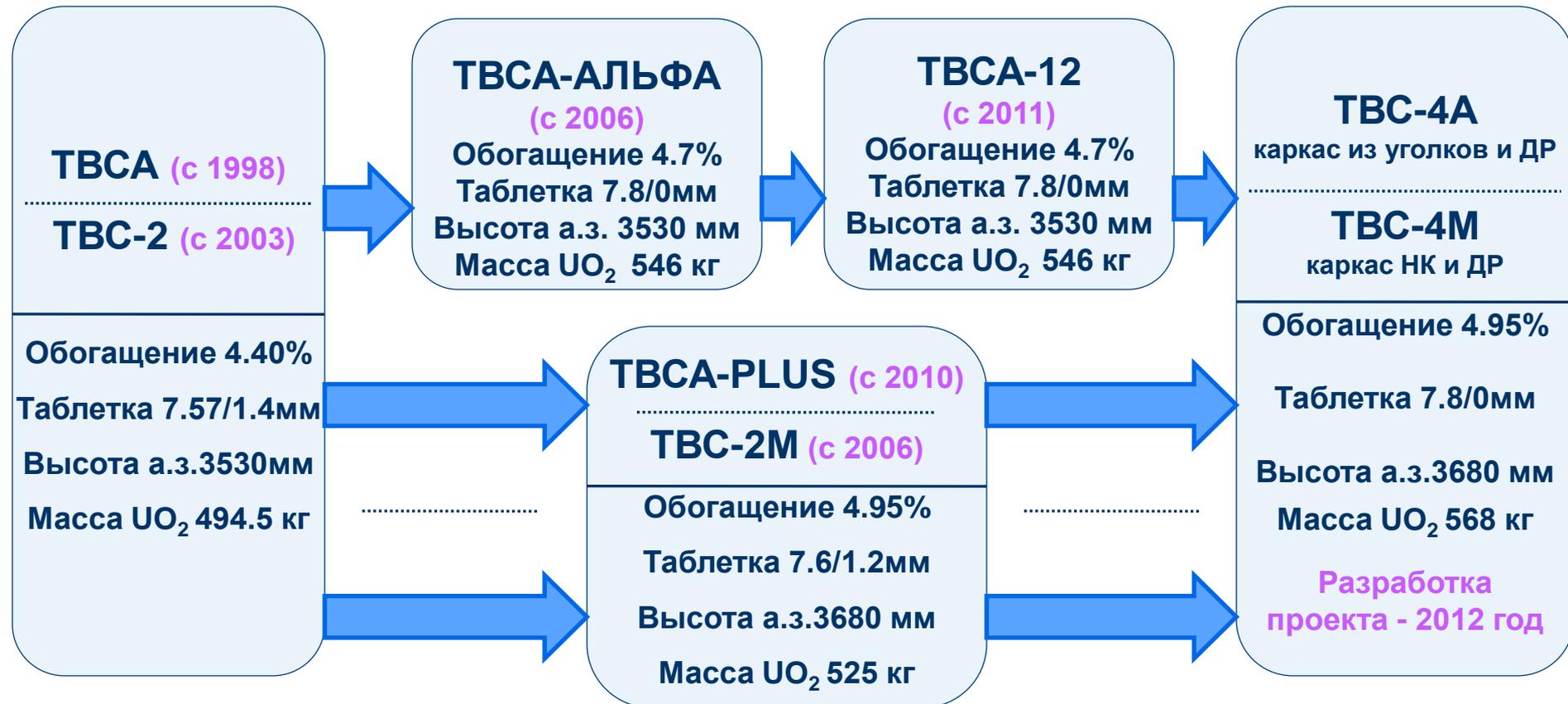
Работа в маневренном режиме.

В 2010 году начата эксплуатация опытной  
партии 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 ВВЭР-1000



# Ядерное топливо ВВЭР-1000

## ТВСА-PLUS / ТВС-2М

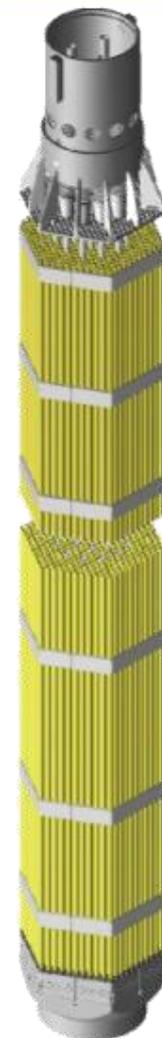
ТВС-2М эксплуатируется на Балаковской и Ростовской АЭС  
ТВСА-PLUS эксплуатируется на блоках №2, №3 и №4 Калининской АЭС

### Основные решения:

- ✓ унифицированный ТВЭЛ и хвостовик ТВС
- ✓ топливный столб высотой 3680 мм (увеличен на 150 мм), обогащение 4.95%, таблетка 7.6/1.2 мм
- ✓ антидебризный фильтр
- ✓ разборность и ремонтпригодность

### Результаты внедрения обеспечивают:

- ✓ возможность повышения мощности РУ до 104 % от номинальной
- ✓ 18-ти месячный топливный цикл (подпитка 66 шт)
- ✓ выгорание - 65 МВт·сут/кгU
- ✓ возможность эксплуатации в маневренном режиме (100-75-100 % Nэл)
- ✓ защиту ТВС от попадания посторонних предметов



# Ядерное топливо ВВЭР-1000



## ТВСА-АЛЬФА

- ✓ топливный столб высотой 3530 мм
- ✓ топливная таблетка без отверстия 7.8/0 мм
- ✓ масса  $UO_2$  в кассете 546 кг
- ✓ 8 ДР
- ✓ АДФ
- ✓ разборность и ремонтпригодность

Эксплуатируется на блоке №1  
Калининской АЭС с 2006 года

## ТВСА-12

Конструкция с 12 ДР  
(унификация с ТВС-2М) с  
увеличенной жесткостью  
каркаса.

- Начало эксплуатации:
1. блок №1 Калининской АЭС (12 шт) - 2011 год
  2. На одном из блоков АЭС Украины – 2012 год

### Для 5-годового топливного цикла

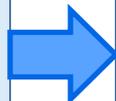
- Количество ТВС подпитки – 36 шт.
- Выгорание - 65 МВт·сут/кгU

### Возможность эксплуатации в топливном цикле 3х(490-510) эфф. суток

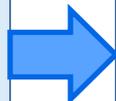
- Количество ТВС подпитки – 66 шт.
- Выгорание ~60 МВт·сут/кгU

# Ядерное топливо ВВЭР-1000

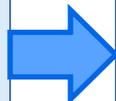
ТВС-2М



ТВСА-PLUS



ТВСА-12



ТВС-4М

## ТВС 4-го поколения

- 12 ДР, ПР, АДФ
- Топливный столб – 3680 мм
- Таблетка  $\varnothing 7.8/0$  мм
- Загрузка  $UO_2$  – 568.4

Топливный цикл 3x510 или 5x333

увеличение длительности кампании на 8 %  
или  
сокращение ТВС подпитки на 10%  
или  
уменьшение обогащения подпитки на 7%  
или  
увеличение мощности на 10%

Разработка проекта – 2012 год

ТВС-4А



# Ядерное топливо ВВЭР-1000

ТВСА-Т для энергоблоков №1 и №2 АЭС «Темелин»



## Основные решения

- ✓ топливный столб высотой 3680 мм с бланкетами по 150 мм
- ✓ топливная таблетка 7.6/1.2 мм
- ✓ масса  $UO_2$  в кассете 524.1 кг
- ✓ 8 дистанционирующих решеток (в том числе 6 совмещены с перемешивающими)

## «Темелин-1»

В октябре 2010 года осуществлены физический и энергетический пуск энергоблока с активной зоной, полностью укомплектованной ТВСА-Т.

## «Темелин-2»

В 2011 запланирована полная загрузка активной зоны ТВСА-Т.

## Этапы развития

Повышение мощности до 104% (ТВСА-Т базовой конструкции) **2012 год**

Оптимизация конструкции ТВСА-Т(12 ДР; 7.8/0) **2014 год**

Оптимизация топливного цикла (18-месячный т.ц.) **2016 год**

# Ядерное топливо для АЭС-2006

В 2010 году разработан технический проект ТВС-2006 в соответствии с требованиями ТЗ (этап №1):  
Топливный цикл 3х18 мес. и 5х12 мес., таблетка 7.6/1.2 мм, максимальное использование апробированных решений



ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ	
	ВВЭР-1000	ВВЭР-1200
Тепловая мощность РУ	3000	3200
Температура на входе в реактор, °С	289,8	298,6
Температура на выходе из реактора, °С	319,6	329,7
Максимальное паросодержание, %	5	11,6
Высота ТВС, мм	4570	4570
Высота топливного столба, мм	3680	3730
Масса топлива в ТВС, кг	527	534
Назначенный ресурс ТВС, эф. часов	40000	46000
Максимальное выгорание по ТВС	63,7	64,2

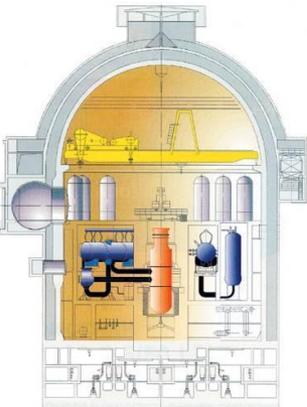
Поставка топлива на блок №1 НВАЭС-2 – декабрь 2012 года

# Ядерное топливо для АЭС-2006

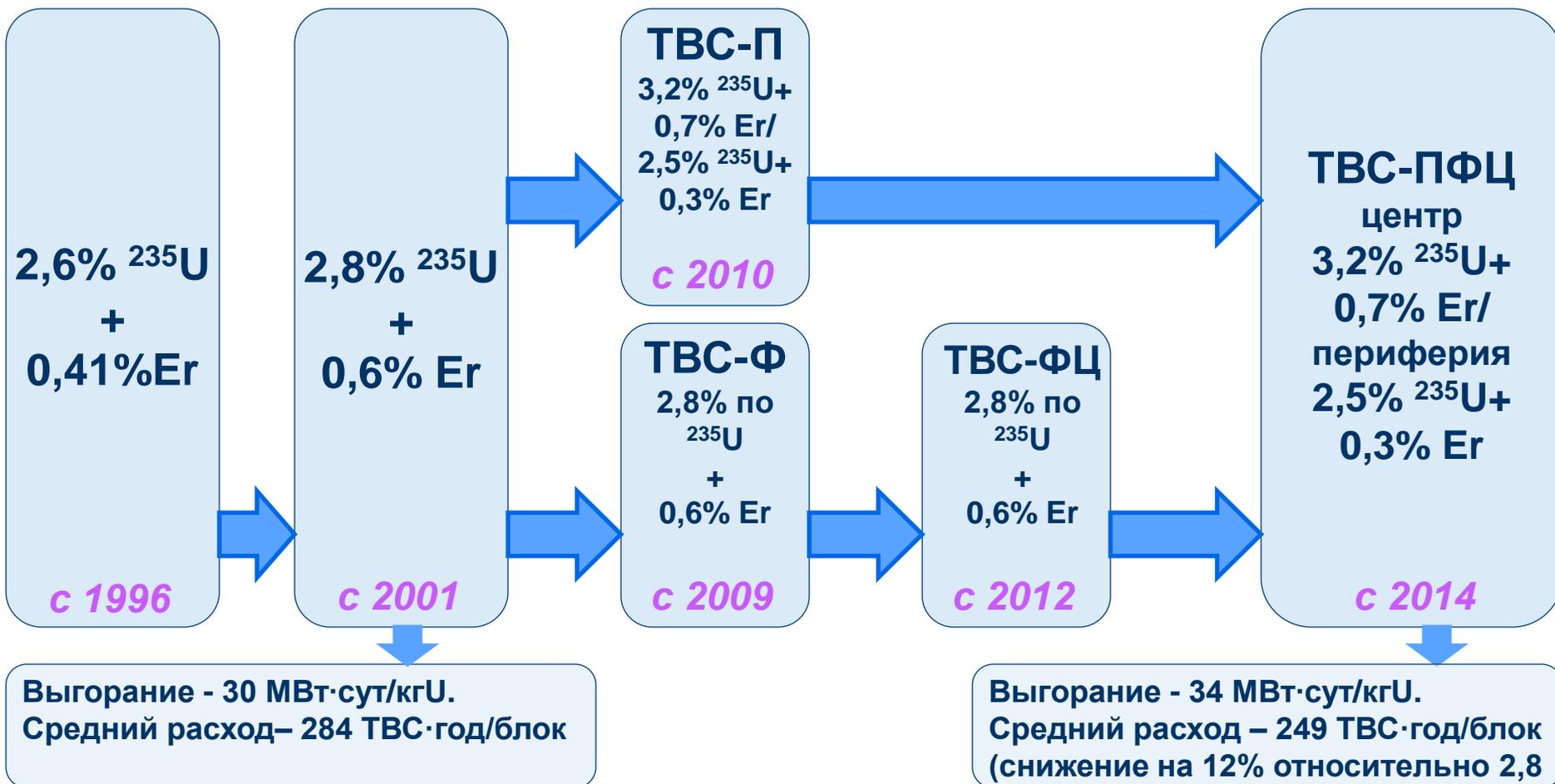
**Задачи этапа №2 (2010-2012г.г.):** повышение технико-экономических показателей АЭС за счет потенциала развития ТВС, включая топливный цикл с кампаниями до 24 месяцев и увеличение выгорания до 70 МВт·сут/кг U.

## Основные направления НИОКР

- Обоснование увеличения загрузки топлива в ТВС за счет использования таблетки 7.8/0 мм (увеличение длительности кампании на 6%);
- Обоснование внедрения интенсификаторов теплообмена в ТВС-2006 (увеличение мощности на 6-8%);
- Анализ эффективности применения уран-эрбиевого топлива для циклов с увеличенной длительностью;
- Анализ возможности повышения обогащения более 5 %;
- Внедрение усовершенствованных циркониевых сплавов;
- Снижение консерватизма обоснования активной зоны (увеличение мощности на 6-8%).

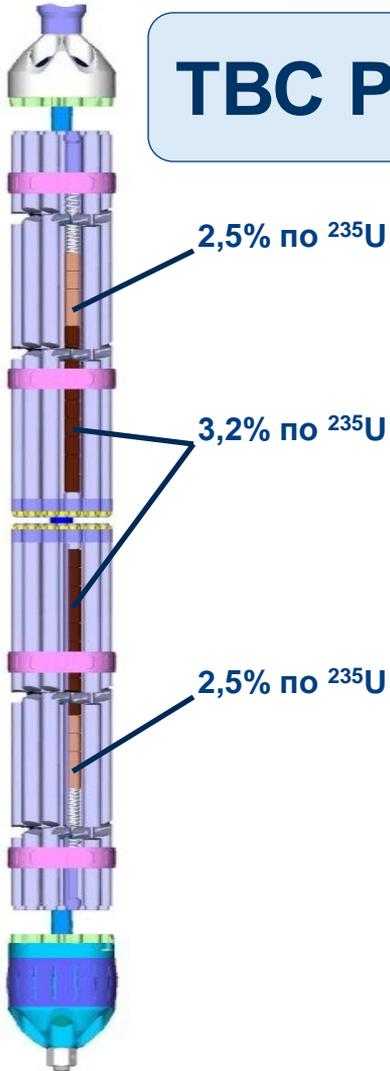


# Ядерное топливо РБМК-1000



# Ядерное топливо РБМК-1000

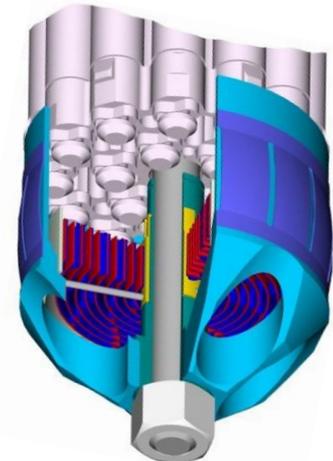
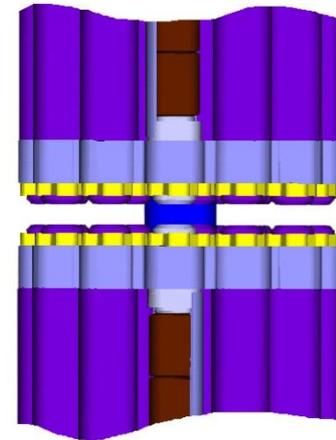
## ТВС РБМК-1000 нового поколения



Топливный столб с профилированным по высоте обогащением

Центральное закрепление твэлов

Антидебризный фильтр

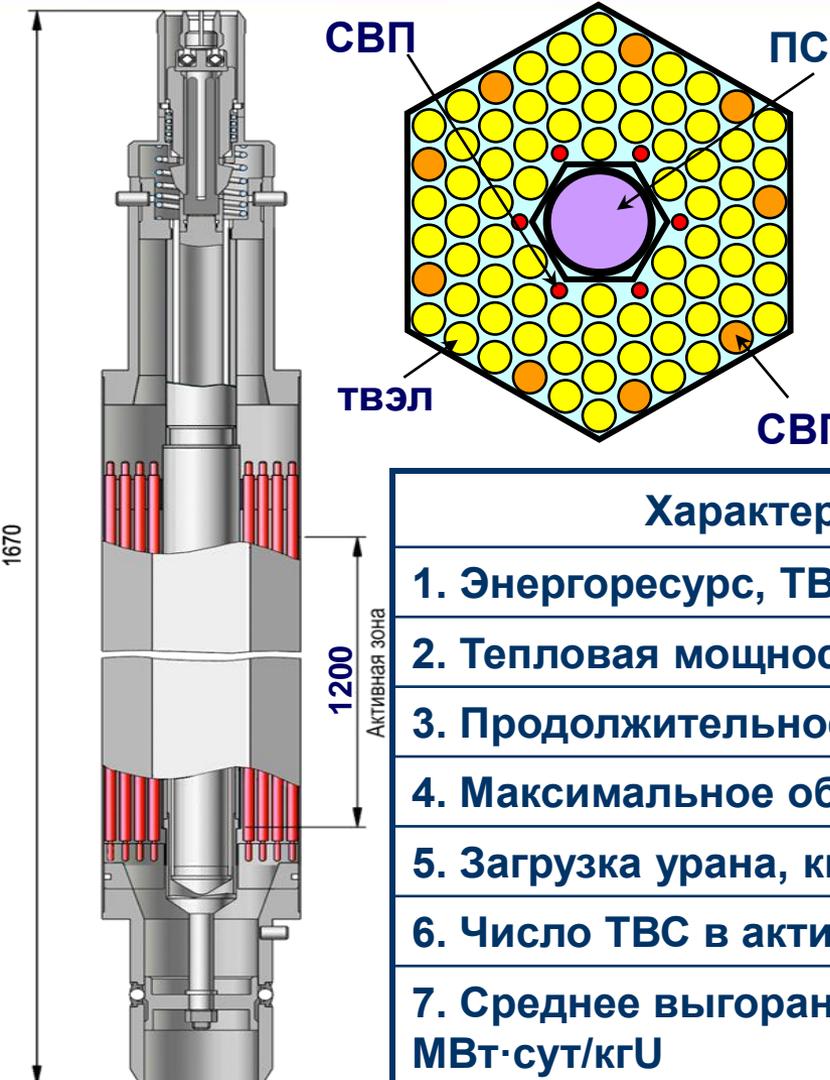


# Ядерное топливо для ПАТЭС

Для реакторной установки КЛТ-40С головного блока ПАТЭС разработана и обоснована активная зона на базе нового ураноемкого металлокерамического топлива, удовлетворяющего требованиям нераспространения.

В 2011 году две головные а.з. 14-14 будут поставлены на ОАО «Балтийский завод»

Задача на перспективу – разработка активной зоны для ПАТЭС с увеличенным до 3 ТВт·ч энергоресурсом



Характеристики активной зоны 14-14	Значение
1. Энергоресурс, ТВт·ч	2,1
2. Тепловая мощность, МВт	150
3. Продолжительность кампании, лет	2.3
4. Максимальное обогащение, %	15.7
5. Загрузка урана, кг	1273
6. Число ТВС в активной зоне, шт.	121
7. Среднее выгорание выгружаемого топлива, МВт·сут/кгU	46

# ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Разработаны и эксплуатируются ТВС нового поколения, которые обеспечивают:

- ↪ эксплуатацию АЭС на повышенной мощности;
- ↪ безопасную и надежную эксплуатацию в течение 6-ти (ВВЭР) и 10-ти (РБМК) лет;
- ↪ глубину выгорания топлива в ТВС до 35 (РБМК) и 65 МВт·сут/кгU (ВВЭР) ;
- ↪ эксплуатацию АЭС в гибких топливных циклах;
- ↪ эксплуатацию в режимах суточного регулирования мощности;
- ↪ разборность и ремонтпригодность.



# Спасибо за внимание!

