

Особенности конструкции ТВС-2М

(для РЦ, ОЯБ, ОУРР ЦЦР и оперативного персонала БЩУ)

Исполнитель:
Начальник ЯФЛ ОЯБ А.Ю. Беляков
тел. 75-07



Цели и задачи разработки ТВС-2М для ВВЭР-1000

Цель создания ТВС-2М:

Внедрение перспективных топливных циклов:

- выгорание до 68-70 МВт*сут/кгU;
- длительность кампаний 1,5 года.

Задачи разработки ТВС-2М:

- обеспечить геометрическую стабильность и ресурс;
- обеспечить преемственность технологии и конструкции;
- увеличить загрузку топлива.



Внедрение ТВС-2М на блоке №1 Ростовской АЭС

Внедрение ТВС-2М на блоке №1 Ростовской АЭС начнется с 10 топливной кампании.

В 10 топливную кампанию в активную зону реактора будет загружено 54 ТВС-2М с бланкетами.

В 11 топливную кампанию в активную зону реактора будет загружено 61 ТВС-2М с бланкетами.

Начиная с 12 топливной кампании в активную зону реактора будет загружаться ТВС-2М без бланкетов с подпиткой 66 (67) ТВС-2М.

В 14 топливную кампанию активная зона реактора будет полностью сформирована из ТВС-2М без бланкетов.



Внедрение ТВС-2М на блоке №2 Ростовской АЭС

В соответствии с проектом активная зона реактора блока №2 Ростовской АЭС полностью сформирована из ТВС-2М без бланкетов.



Бланкеты ТВС-2М

Бланкеты – таблетки из диоксида природного или обеднённого урана (UO_2).

Бланкетные зоны в ТВС-2М введены для обеспечения безопасного, постепенного перехода от «короткого» (3530 мм) топливного столба к «длинному» (3680 мм).

Основные геометрические характеристики бланкетов приведены на слайдах 7-10.

По конструкции ТВС-2М, по отношению к прототипу (ТВС-2), имеет следующие решения:

1. Увеличена загрузка топлива, за счет:
 - длина твэлов и твэгов для ТВС-2М увеличена на 150 мм (113,0 мм - в нижней части, 37,0 мм - в верхней части) относительно прототипа, а объем газосборника сохранен;
 - увеличения наружного диаметра топливной таблетки до 7,6 мм;
 - уменьшения диаметра центрального отверстия в топливной таблетке до 1,2 мм;
2. Каркас ТВС-2М удлинен по сравнению с прототипом. В нижней части каркаса на расстоянии 100 мм от хвостовика ТВС введена антивибрационная ДР, что обеспечивает повышение надежности закрепления твэлов в нижней решетке. При этом габарит ТВС-2М по отношению к прототипу сохранен за счет соответствующего уменьшения длин головки и хвостовика ТВС-2М;
3. В нижнюю обечайку головки ТВС-2М вместо конической обечайки введены ребра, связывающие нижнюю обечайку с плитой;
4. Введена ДР с оптимизированным профилем ячеек;
5. Изменена конструкция нижней опорной решетки (уменьшена толщина с 18 до 16 мм);
6. Введена нижняя унифицированная цанговая заглушка твэла (твэга).



Основные конструктивные характеристики ТВС-2М

Наименование	Значение
Форма ТВС-2М	шестигранная призма
Размер ТВС-2М «под ключ», мм	235,1 max
Высота ТВС-2М, мм	4570±1
Высота топливного столба в холодном состоянии в ТВС-2М с бланкетами, мм:	
– общая	3680
– высота топлива основного обогащения	3530
– высота верхней бланкетной зоны	37
– высота нижней бланкетной зоны	113
Высота топливного столба в холодном состоянии в ТВС-2М без бланкетов, мм:	3680
Топливо в твэлах	Диоксид урана (UO_2)
Топливо в твэгах	Диоксид урана с добавлением оксида гадолиния ($UO_2+Gd_2O_3$)
Топливо в бланкетных зонах (при их наличии)	Диоксид природного или обедненного урана (UO_2)



Основные конструкционные характеристики ТВС-2М

Масса ТВС-2М (расчетная) без ПС СУЗ при использовании в твэлах таблеток с центральным отверстием $\varnothing 1,2$ мм, кг	738
Масса топлива в ТВС-2М, кг:	
– в ТВС-2М без бланкетов:	
1) без твэг и с твэг 5 % Gd_2O_3	527,0 \pm 4,5
2) 9 / 24 твэг с 8 % Gd_2O_3	(526,6 / 526,5) \pm 4,5
– в ТВС-2М с бланкетами:	
1) без твэг и с твэг 5 % Gd_2O_3	505,4 \pm 4,5
2) 18 твэг с 8 % Gd_2O_3	505,2 \pm 4,5
– масса бланкетов, номинальная, кг	18,7
Пучок твэлов и твэгов:	
– количество твэлов в ТВС-2М, шт.	285, 288, 294, 300, 306
– количество твэгов в ТВС-2М, шт.	27, 24, 18, 12, 6
– номинальный шаг расположения твэлов (твэгов) в пучке, мм	12,75
– наружный диаметр твэла (твэга), мм	9,10
– внутренний диаметр оболочки твэла (твэга), мм	7,73
– материал оболочки и заглушек твэла (твэга)	сплав Э110



Основные конструктивные характеристики ТВС-2М

Таблетка топлива в твэле (твэге), мм:	
– наружный диаметр таблетки топлива	7,6
– диаметр центрального отверстия таблетки топлива	1,2
– высота таблетки топлива	9-12
Таблетка бланкетов, мм	
– наружный диаметр	7,57
– диаметр центрального отверстия	2,35
– высота	9-12
Направляющий канал:	
– количество НК, шт.	18
– материал	сплав Э635
– наружный диаметр, мм	13,0
– внутренний диаметр, мм	11,0
Центральный канал:	
– количество ЦК, шт.	18
– материал	сплав Э635
– наружный диаметр, мм	13,0
– внутренний диаметр, мм	11,0



Основные конструкционные характеристики ТВС-2М

Решетка дистанционирующая:	
– количество, шт.	13
– материал	сплав Э110
– высота ячейки, мм	30
– толщина стенки ячейки, мм	0,3
– длина линии контакта ячейки с твэлом, мм	6±0,5
Блок пружин головки ТВС-2М:	
– общее количество пружин, шт.	19
– количество пружин, участвующих в демпфировании падения ОР СУЗ (ПС СУЗ со штангой привода), шт.	16
– материал	сплав ХН77ТЮР сталь 12Х18Н10Т или 08Х18Н10Т
Материал головки, хвостовика, нижней опорной решетки	



Основные отличия характеристик топливных столбов ТВС-2, ТВС-2М с бланкетами и ТВС-2М

Наименование характеристики	Значение			
	ТВС-2	ТВС-2М с бланкетами*	ТВС-2М	
Тип ТВС	ТВС-2	ТВС-2М с бланкетами*	ТВС-2М	
Высота топливного столба в холодном состоянии, мм:				
– общая	3530	3680	3680	
– высота топлива основного обогащения	3530	3530	3680	
– высота верхней бланкетной зоны	–	37	–	
– высота нижней бланкетной зоны	–	113	–	
Таблетка топлива в твэле (твэге):		в активной части	в бланкетных зонах	
– наружный диаметр таблетки топлива, мм	7,57-0,03	7,6-0,03	7,57-0,03	7,6-0,03
– диаметр центрального отверстия таблетки топлива твэла, мм	1,4+0,2	1,2+0,2	2,35+0,25	1,2+0,2
– диаметр центрального отверстия таблетки топлива твэга, мм	1,5+0,2	1,2+0,2	2,35+0,25	1,2+0,2
Масса ТВС, кг:	708	738		738

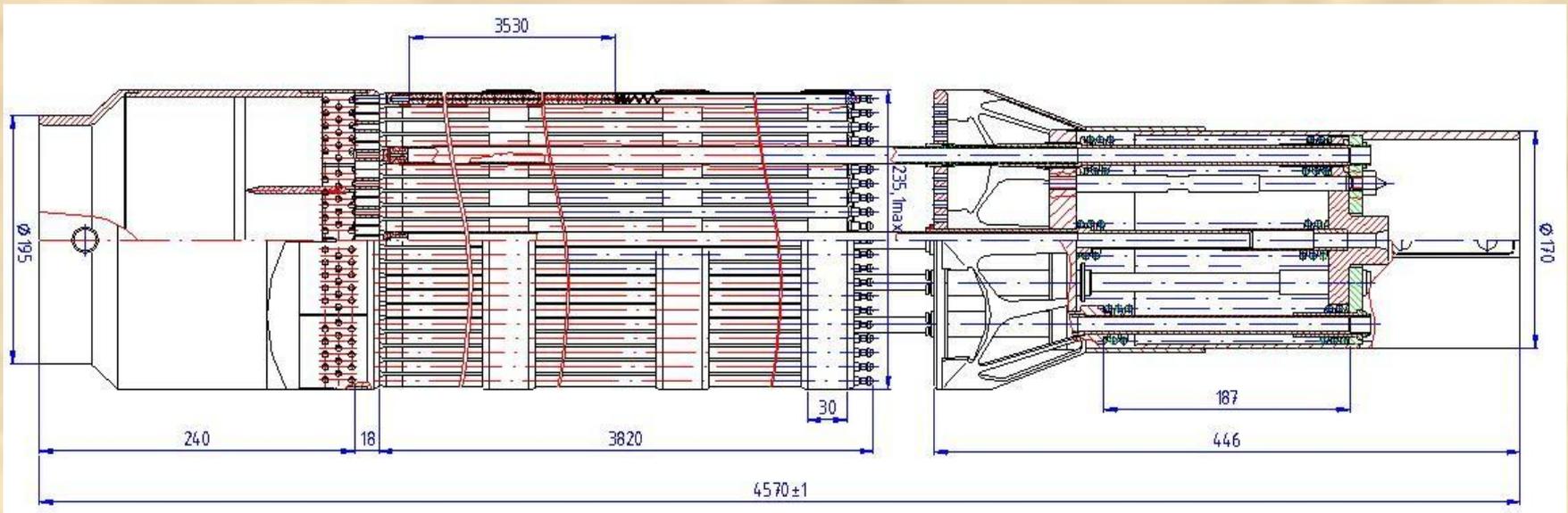
*) - Бланкеты – таблетки из диоксида природного или обеднённого урана (UO₂).



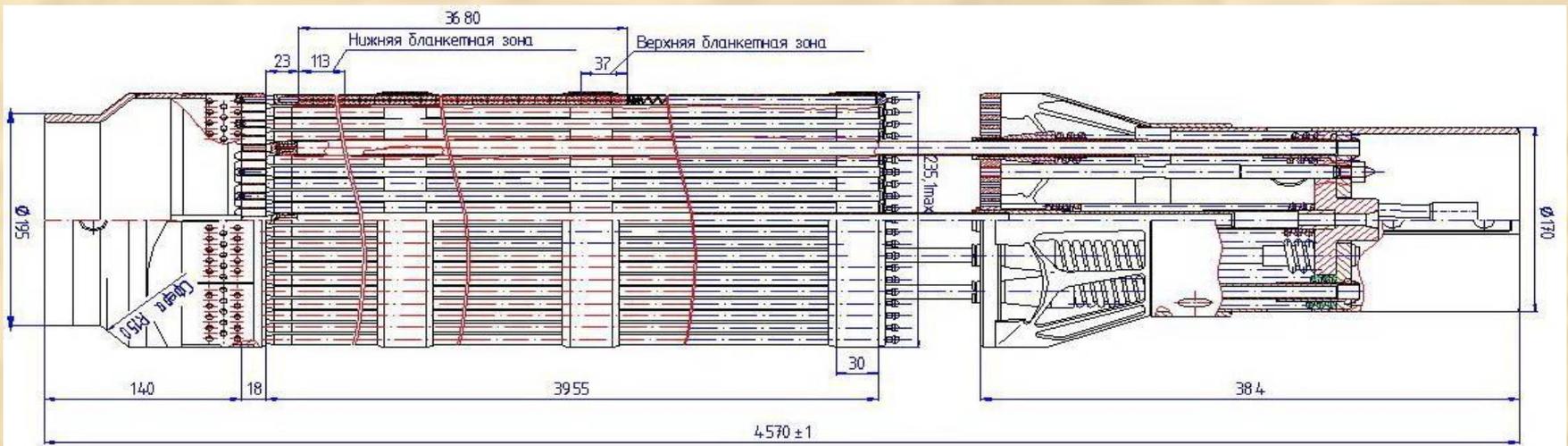
Основные конструктивно-геометрические характеристики ТВС-2, ТВС-2М, УТВС

Параметр	ТВС-2	ТВС-2М	УТВС
Суммарное количество твэлов и твэгов в ТВС	312	312	312
Количество НК в ТВС	18	18	18
Количество ДР, шт	12	13	15
Наружный размер “под ключ” ДР, мм	235,1	235,1	235,1
Ширина ДР, мм	30	30	20
Наружный диаметр твэла (твэга), мм	9,1±0,05	9,1±0,05	9,1±0,05
Шаг расположения твэлов, мм	12,75	12,75	12,75
Наружный диаметр НК и ЦТ, мм	13,0	13,0	13,0
Внутренний диаметр НК и ЦТ, мм	11,0	11,0	11,0
Высота топливного сердечника твэлов и твэгов свежих кассет в холодном состоянии, мм, номинальная:			
- общая (с бланкетами для ТВС-2М);	3530	3680	3530
- верхняя бланкетная зона;	-	37	-
- нижняя бланкетная зона	-	113	-
Суммарный КГС ТВС	14,7	15,0±0,8	12,55
Усилие поджатия пружин кассеты в холодном состоянии, Н	12230	12230	14400
Усилие поджатия пружин кассеты при номинальных параметрах, Н	7760	7760	9030
Масса ТВС (без ПС СУЗ), номинальная, кг	708	738	704
Масса ПС СУЗ, номинальная, кг	18,5	18,5	18,5
Масса штанги привода СУЗ, номинальная, кг	15,1	15,1	15,1





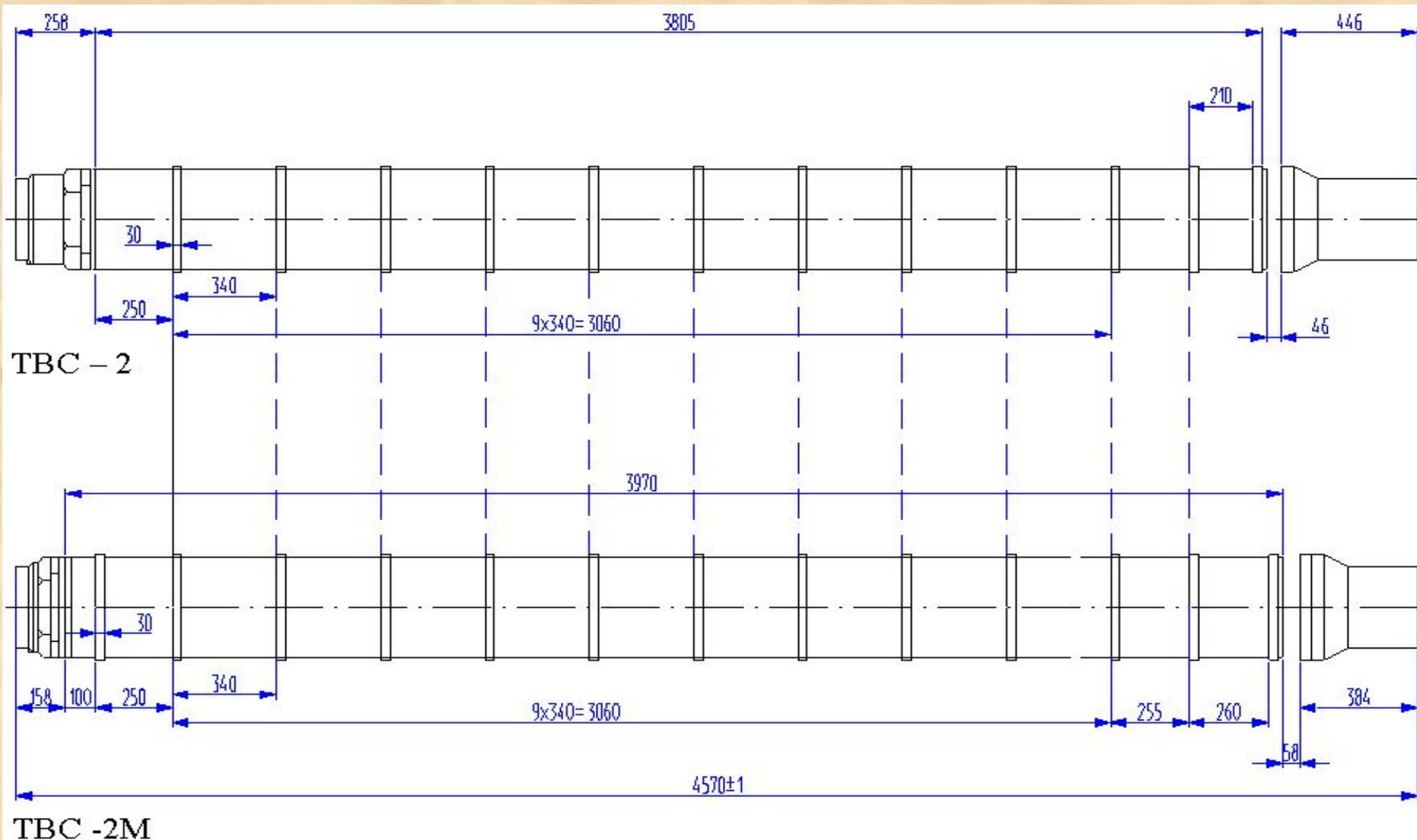
TBC-2



TBC-2M



Расположение ДР в ТВС-2 и ТВС-2М



Увеличение загрузки топлива в ТВС -2М обеспечивается:

1. Удлинением топливного столба

(3530 мм → 3680 мм)

2. Изменение наружного диаметра таблетки без утонения оболочки твэла:

(\varnothing 7,57 мм → \varnothing 7,60 мм)

3. Изменение диаметра центрального отверстия:

(\varnothing 1,4 мм → \varnothing 1,2 мм)



Концепция разработки конструкции ТВС-2М – бесчехловое исполнение

Несущие элементы каркаса (НК) сгруппированы вблизи центра сечения ТВС, поэтому обеспечивается:

- **Возможность визуального осмотра всех периферийных ТВЭЛОВ**
- **Возможность беспрепятственного межкассетного перемешивания теплоносителя**
- **Исключение вероятности повреждения несущих элементов каркаса ТВС при ТТО**
- **Работа элементов каркаса в одинаковых терморadiационных условиях, что создает условия для геометрической стабильности ТВС при эксплуатации, включая режимы с изменением мощности**

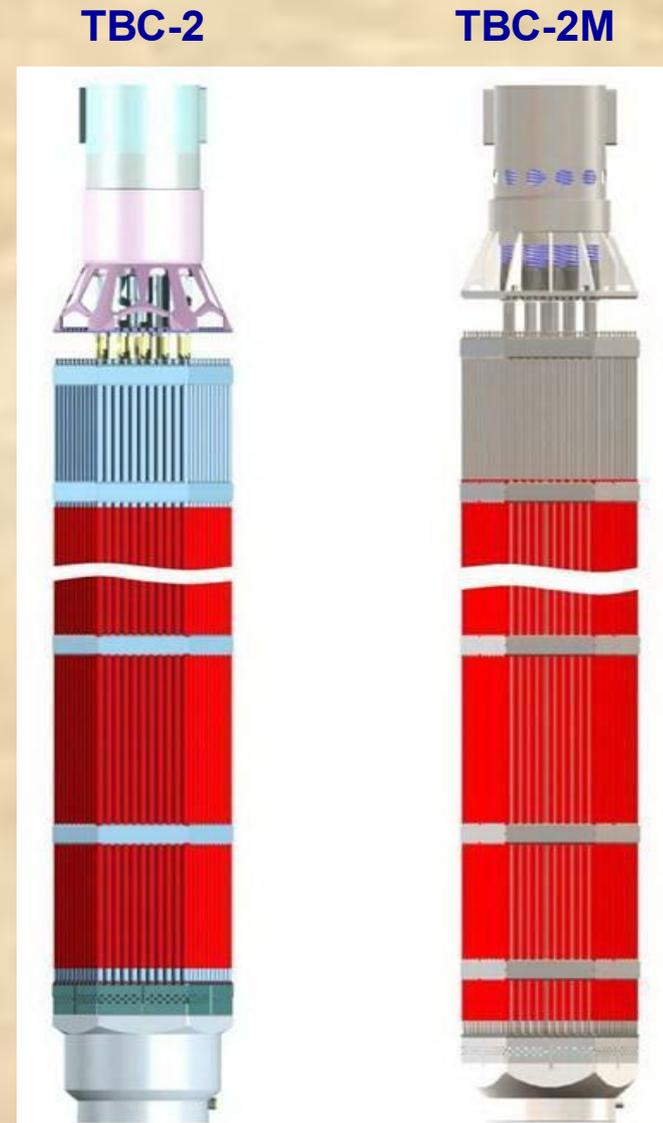


Преимственность конструкторских решений ТВС-2М

ТВС-2 – прототип для разработки ТВС-2М

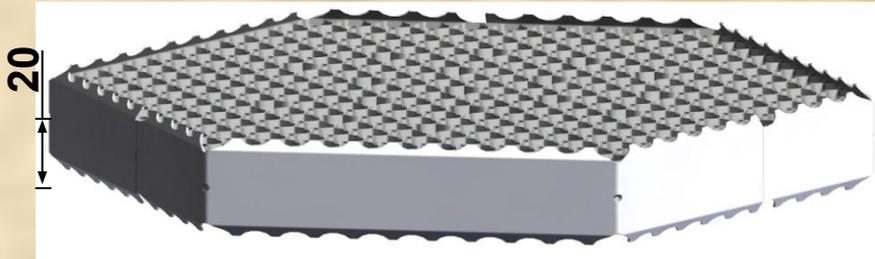
ТВС-2 и ТВС-2М

- результаты эволюционного развития бесчехловых ТВС;
- созданы на элементной базе УТВС, имеющей опыт эксплуатации с 1993 г.;
- унифицированы по основным элементам

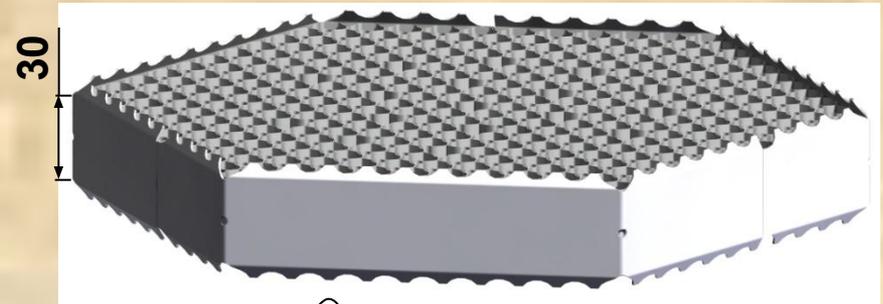


Основные конструкторские решения ТВС-2М. Дистанционирующая решетка

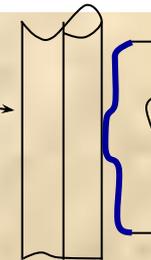
УТВС



ТВС-2/ТВС-2М



Сопряжение
ячейки с твэлом



Толщина ячейки
увеличена на 20%

Основные результаты:

1. Повышены прочность и жесткость ДР на изгиб:

- исключены «закусывание» твэла в ячейке и депланация ДР

- низкие термомеханические усилия на ДР

- высокая прочность и геометрическая стабильность при транспортных и сейсмических нагрузках

- допустимая скорость перегрузки увеличена с 0,6 до 4,0 м/мин

2. Стабилизирован размер ДР «под ключ»:

- отсутствие повреждений ДР при ТТО

3. Повышен КГС ДР на 30%



Основные конструкторские решения ТВС-2М. Жесткий каркас

Результаты:

1. Высокая жесткость поворота НК в ДР, радиационная стойкость НК и пониженные усилия взаимодействия твэлов с каркасом:

- высокая геометрическая стабильность ТВС

- отсутствие необходимости введения дополнительных элементов жесткости

- повышенный ресурс

2. Минимальное количество элементов

- технологическая простота

- минимум затрат на изготовление и контроль

- повышенная надежность

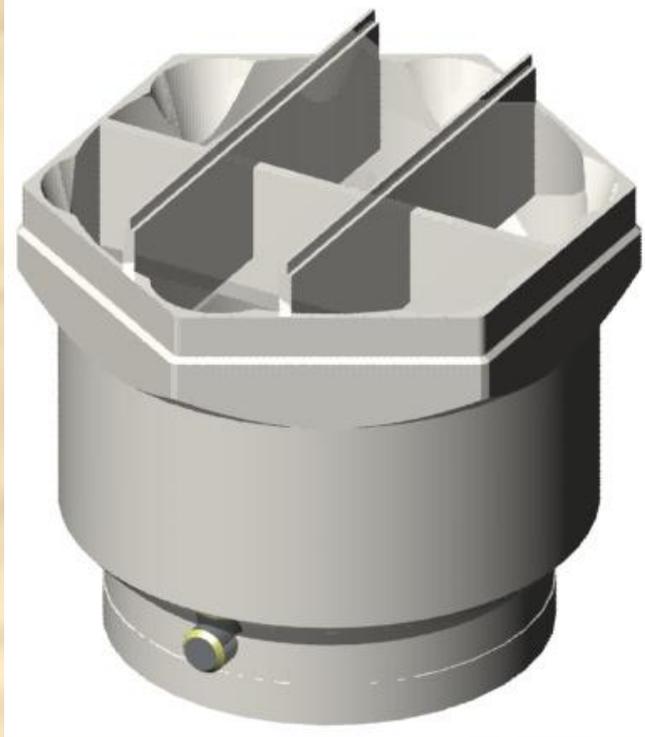
3. Повышенная стойкость к проектным нагрузкам

4. Простая конструкция – простота и технологичность удлинения

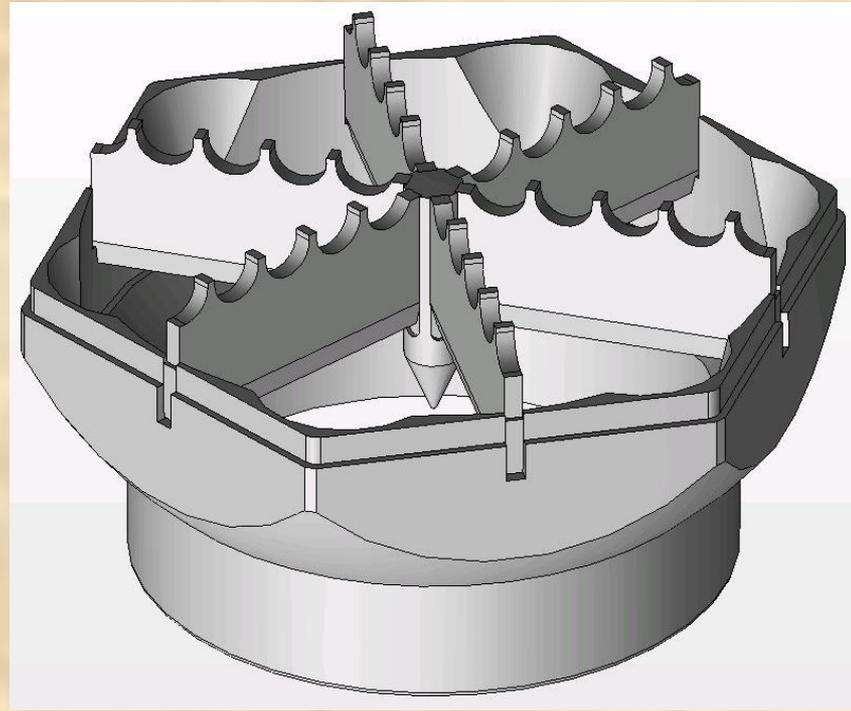


Основные конструкторские решения ТВС-2М. Хвостовик

Конструкция ТВС-2



Конструкция ТВС-2, ТВС-2М и ТВС АЭС-2006



в хвостовике опорные ребра выполнены радиальными



Основные результаты эксплуатации ТВС-2. Гидромеханическая совместимость

УТВС

ТВС-2

ТВС-2М



Параметры	УТВС	ТВС-2	ТВС-2М
КГС	12,6	14,0 - 14,7	14,2 - 15

В эксплуатационных режимах обеспечено выполнение проектных критериев безопасности.

Обоснование безопасности выполнено с учетом межкассетных перетоков теплоносителя вследствие различий КГС.



Заключение

1. Конструкция ТВС-2М соответствует характеристикам перспективных топливных циклов для ВВЭР-1000
2. В ТВС-2М обеспечена преемственность хорошо проработанных технологичных и успешно применяемых конструктивных решений. Это определило ее высокую надежность, что подтверждено положительным опытом эксплуатации прототипа (ТВС-2) с 2003 года.
3. На базе конструкции ТВС-2М успешно могут быть реализованы повышенные характеристики новых блоков АЭС, а также целевые показатели новых проектов, включая АЭС-2006
4. Внедрение ТВС-2М позволяет начать сегодня и осуществить стратегию перевода блоков ВВЭР-1000 на топливные циклы 3х18 месяцев на мощности 104%Nном.

