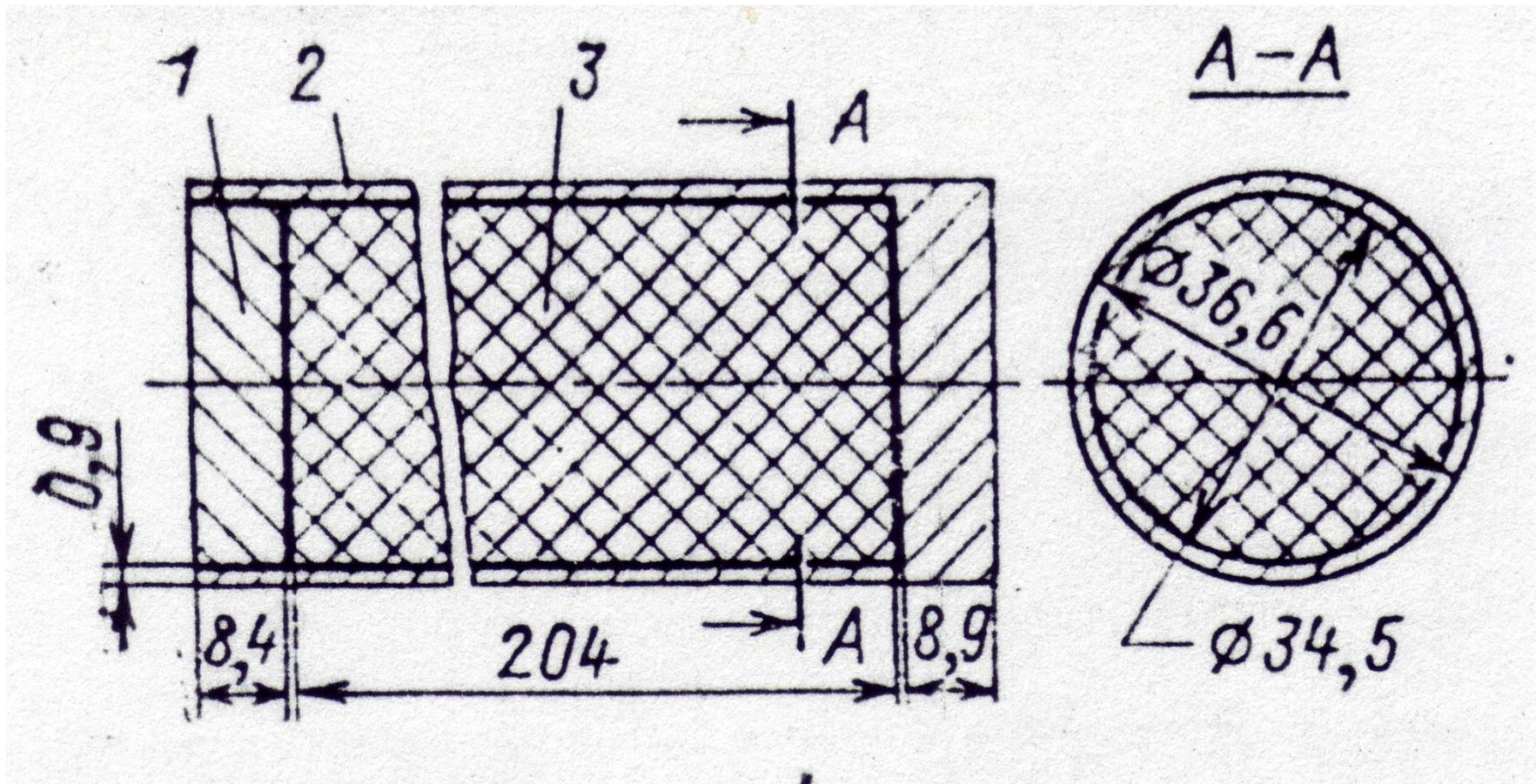


Лекция 10. Конструирование твэл: твэлы с металлическим и дисперсионным топливом.



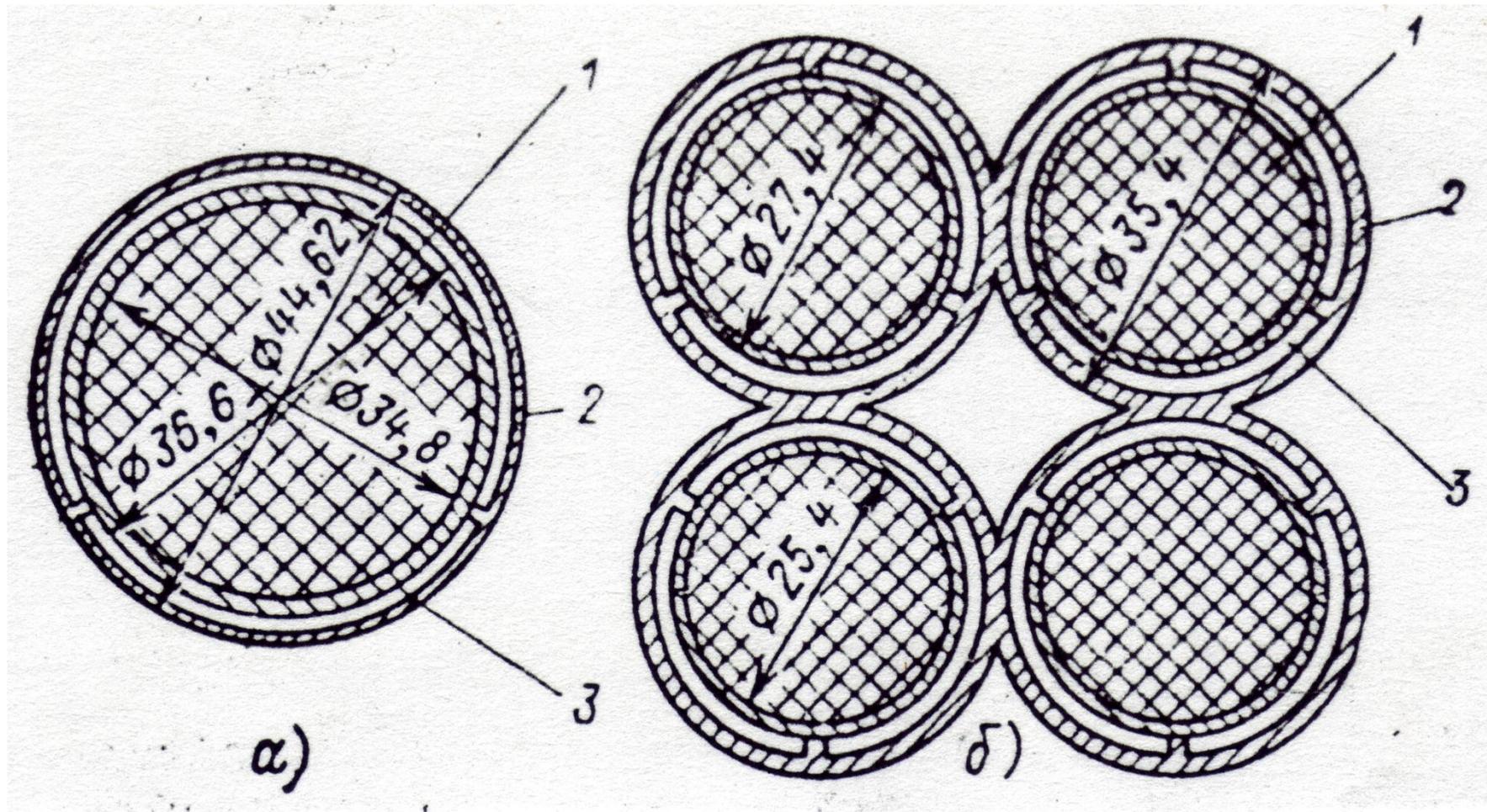
Блочковый ТВЭЛ реактора АЭС «Ханфорд»:

1 – заглушка; 2 – оболочка ТВЭЛА; 3 – топливный сердечник.



Расположение ТВЭЛОВ в каналах реакторов АЭС «Ханфорд» (а) и «Саванна – Ривер» (б):

1 – ТВЭЛ; 2 – труба канала; 3 – канал теплоносителя.



Основные данные Твэлов некоторых магниоксowych реакторов

Реактор	Тип твэла	Сердечник		Твэл		Максимальная энергонапряже нность, МВт/ т. U	Максимальное выгорание, МВт·сут./ т. U
		Диаметр, мм	Длина, мм	Диаметр ребру, мм	Длина, мм		
Великобритания							
«Колдер – Холл »	Блочковый с четырьмя опорными стойками	29.2	1015	57.7	1500	1.77	2700
«Беркли»	Блочковый с двумя графитовыми стойками	28	482	100	575	2.4	4500
«Хантерстон»	Блочковый с графитовой втулкой	29.2	610	125	700	2.13	4500
Франция							
G – 2, G – 3	Блочковый	31	282	66.3	300	3.3	4000
EDF – 3	Втулочный	43×23	600	46×20	630	6.0	3500
«Бюже – 1»	Кольцевой	95×77	600	98×74	630	10	3500

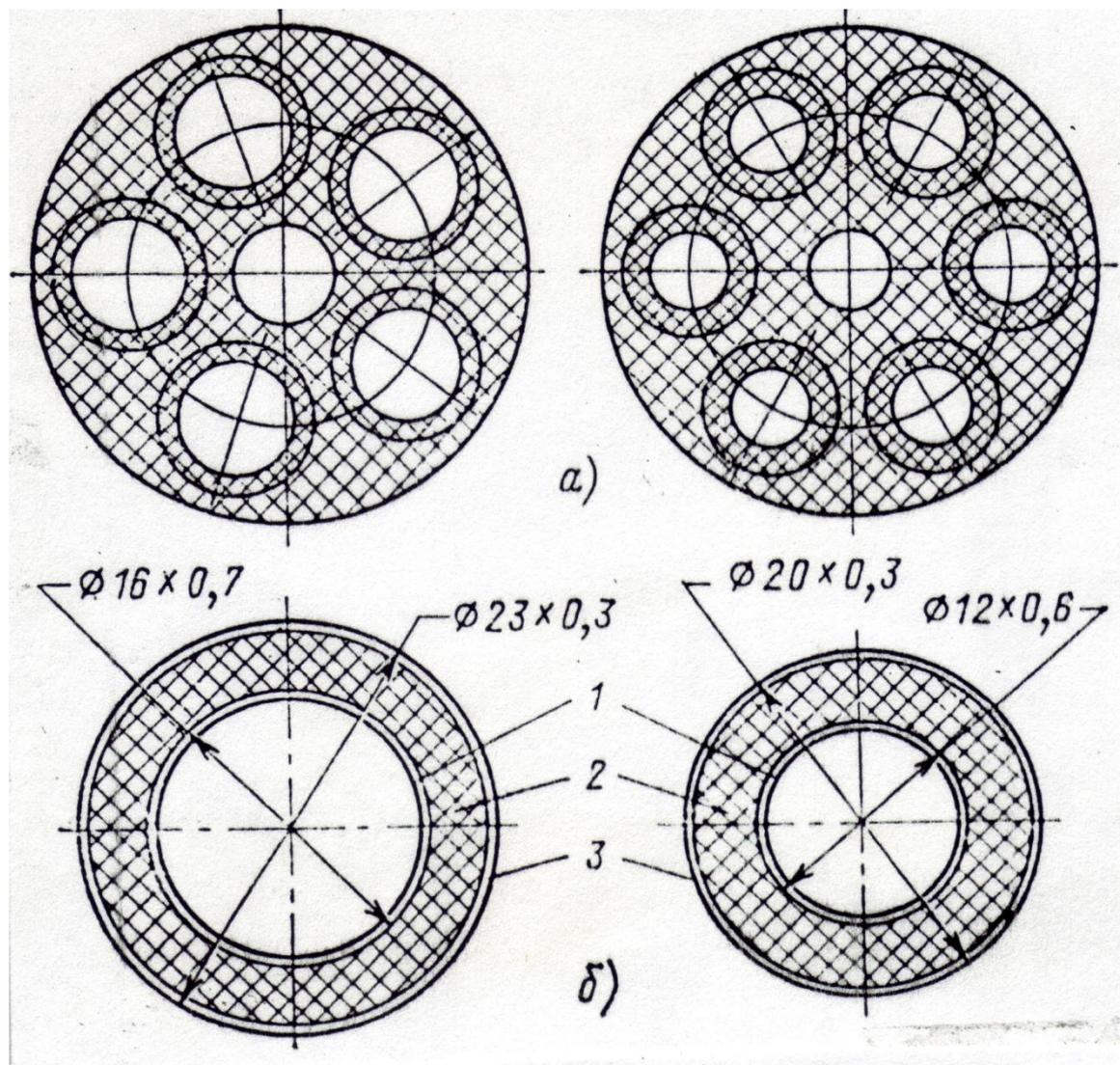
ТВЭЛЫ С ДИСПЕРСИОННЫМ ТОПЛИВОМ

Параметры твэлов Белоярской АЭС

	Испарительный канал	Перегревательный канал
Внутренняя оболочка $d \times \delta$, мм	16×0.7	16×0.7
Внешняя оболочка $d \times \delta$, мм	22×0.2	23×0.3
Длина активной части, мм	6000	6000
Топливо	U + 9 % Mo	UO ₂
Тепловой поток, МВт/м ²	0.66	0.72
Температура внутренней оболочки, °С	352	558
Температура внешней оболочки, °С	372	570
Выгорание, МВт·сут/кг U	≈20	35÷40

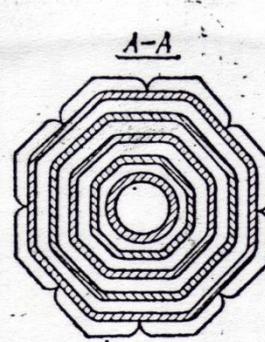
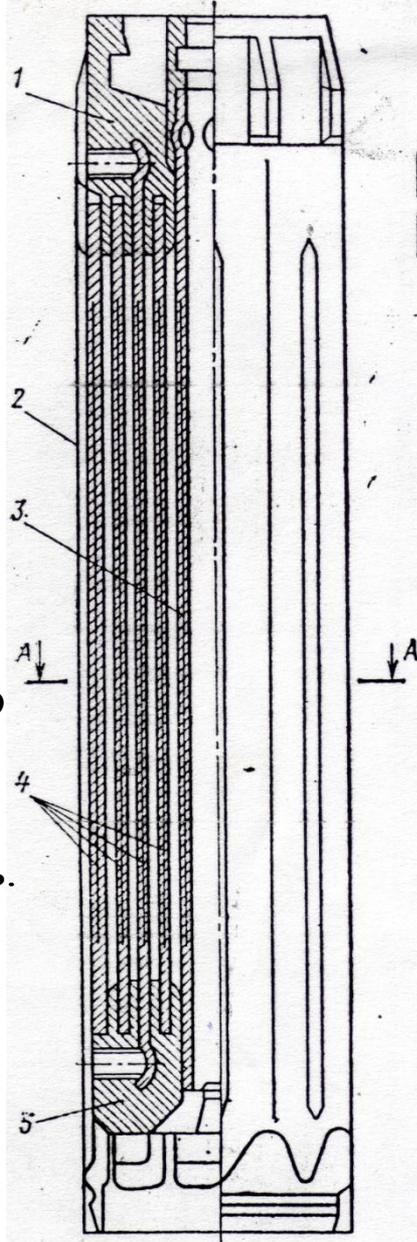
Сечения каналов с пятью и шестью ТВЭлами (а) и сечения ТВЭлов в них (б).

1 - внутренние трубки ТВЭлов; 2 - топливные сердечники; 3 - наружные оболочки ТВЭлов.



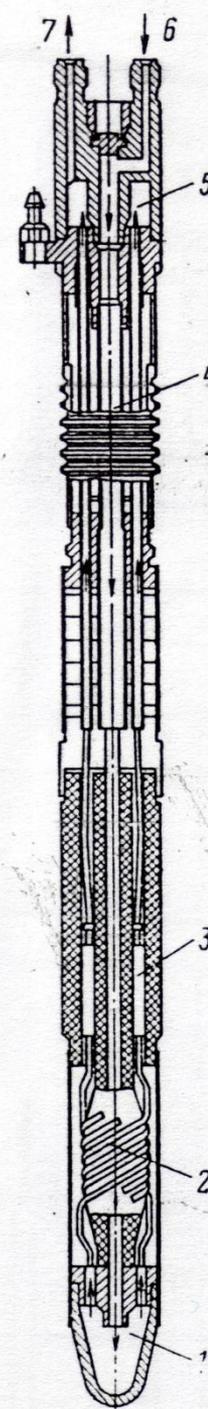
**ТВС с
кольцевыми
ТВЭлами**

1. Верхняя
концевая
деталь;
2. Кожух ТВС;
3. ТВЭЛ круглого
сечения;
4. ТВЭЛы
восьмигранного
сечения;
5. Нижняя
концевая деталь.

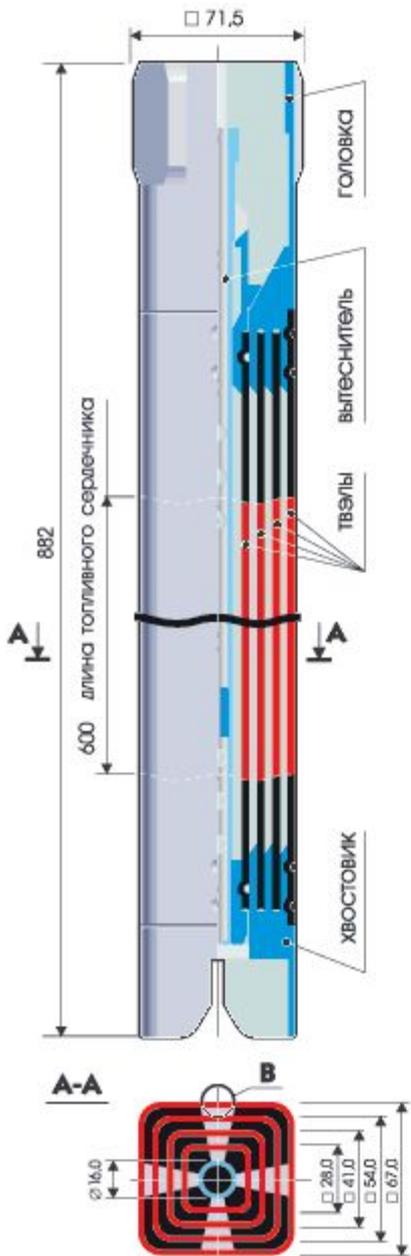


**ТВС – канал с
трубчатыми
ТВЭлами.**

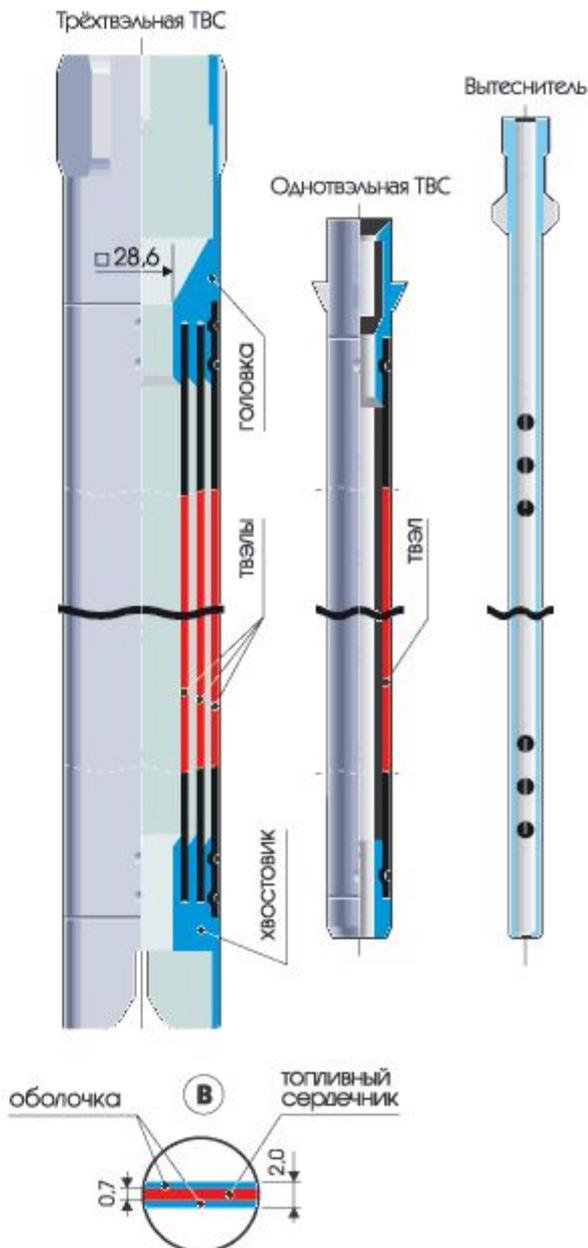
1. Нижняя камера;
2. Компенсатор
линейных
удлинений;
3. Трубчатый ТВЭЛ;
4. Центральная
опускная труба;
5. Верхняя камера;
6. Вход
теплоносителя;
7. Выход
теплоносителя.



Четырёхтвэльная ТВС ИРТ-2М



Составные части четырёхтвэльной ТВС ИРТ-2М



Количество твэлов в ТВС, шт.

4 (3)

Тип твэла

трехслойный, дисперсионный

Толщина стенки твэла, мм

2

Обогащение топлива по U^{235} , %

36

Масса U^{235} , г

230 (198)

Содержание U^{235} в единице объема активной зоны, г/л

77,6 (66,8)

Поверхность теплосъема в единице объема активной зоны, cm^2/cm^3

2,65 (2,28)

Материал оболочек твэлов и концевых деталей

алюминиевый сплав

Топливо

металлокерамика

Масса, кг

3,3 (2,6)

Теплоноситель

вода обессоленная

Температура теплоносителя, °C

40-60

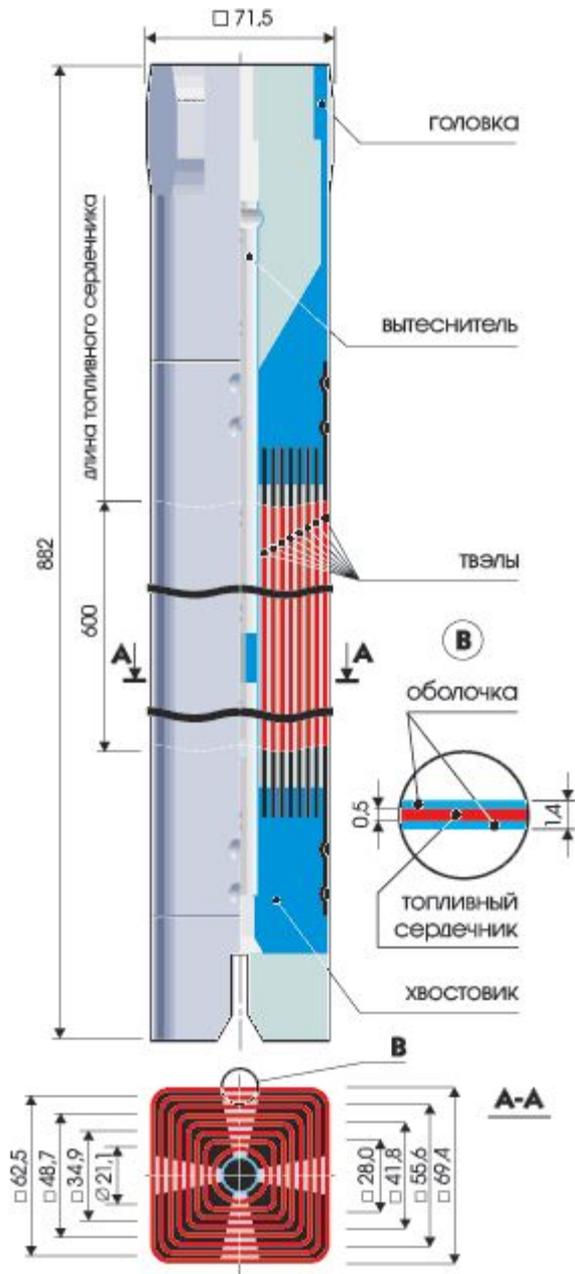
Температура оболочки твэла, °C

до 100 (кипение на поверхности твэл не допускается)

Средняя глубина выгорания U^{235} , %

не менее 40

ТВС ИРТ-3М



Количество твэлов в ТВС, шт.	8 (6 ;4)	
Тип твэла	трехслойный, дисперсионный	
Толщина стенки твэла, мм	1,4	
Толщина стенки твэла, мм	36	20
Масса U^{235} , г	352 (309;235)	400 (352;267)
Содержание U^{235} в единице объема активной зоны, г/л	119,0 (104,5;79,5)	135,2 (119,0;90,3)
Поверхность теплосъема в единице объема активной зоны, cm^2/cm^3	5,25 (4,62 ; 3,50)	
Материал оболочек твэлов и концевых деталей	алюминиевый сплав	
Топливо	металло- керамика	U-Mo сплав
Масса, кг	4,3 (3,7;2,9)	4,8 (4,2;3,4)
Теплоноситель	Вода обессоленная	
Температура теплоносителя, °C	40-60	
Температура оболочки твэла, °C	до 100 (кипение на поверхности твэлов не допускается)	
Средняя глубина выгорания U^{235} , %	не менее 40	

ТВС ВВР-М5

Количество твэлов в ТВС, шт.

5

Тип твэла

трехслойный,
дисперсионный

Толщина стенки твэла, мм

1.3

Обогащение топлива по U^{235} , %

36

Масса U^{235} , г

65

Содержание U^{235} в единице объема активной зоны, г/л

122.6

Поверхность теплосъема в единице объема активной зоны, $см^2/см^3$

6.56

Материал оболочек твэлов и концевых деталей

алюминиевый
сплав

Топливо

металлокерамика

Масса, кг

0.9

Теплоноситель

вода

Температура теплоносителя, °С

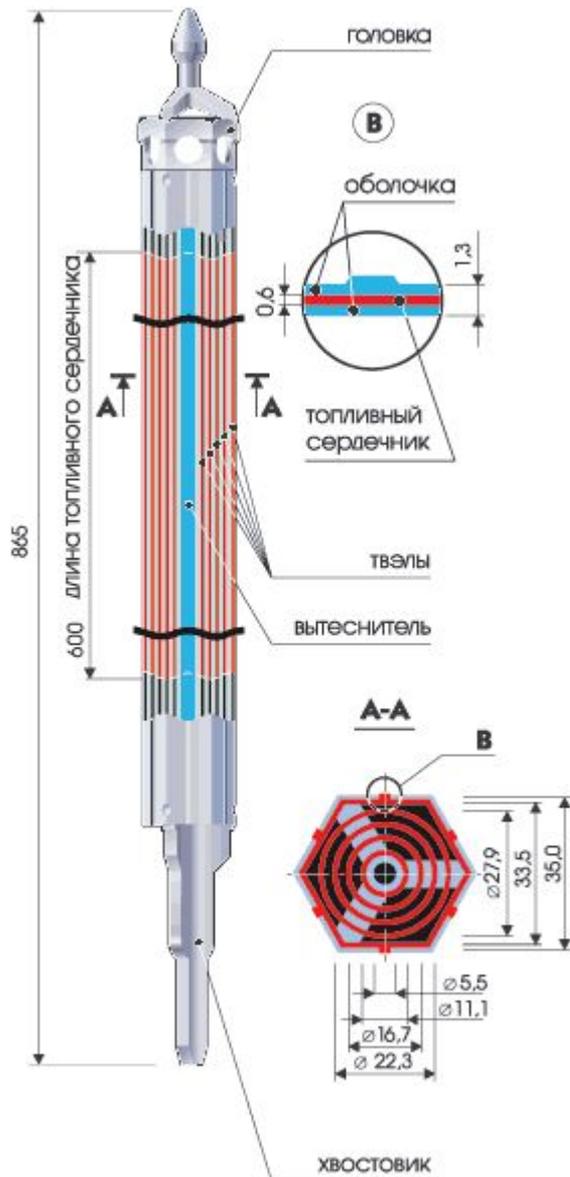
50-65

Температура оболочки твэла, °С

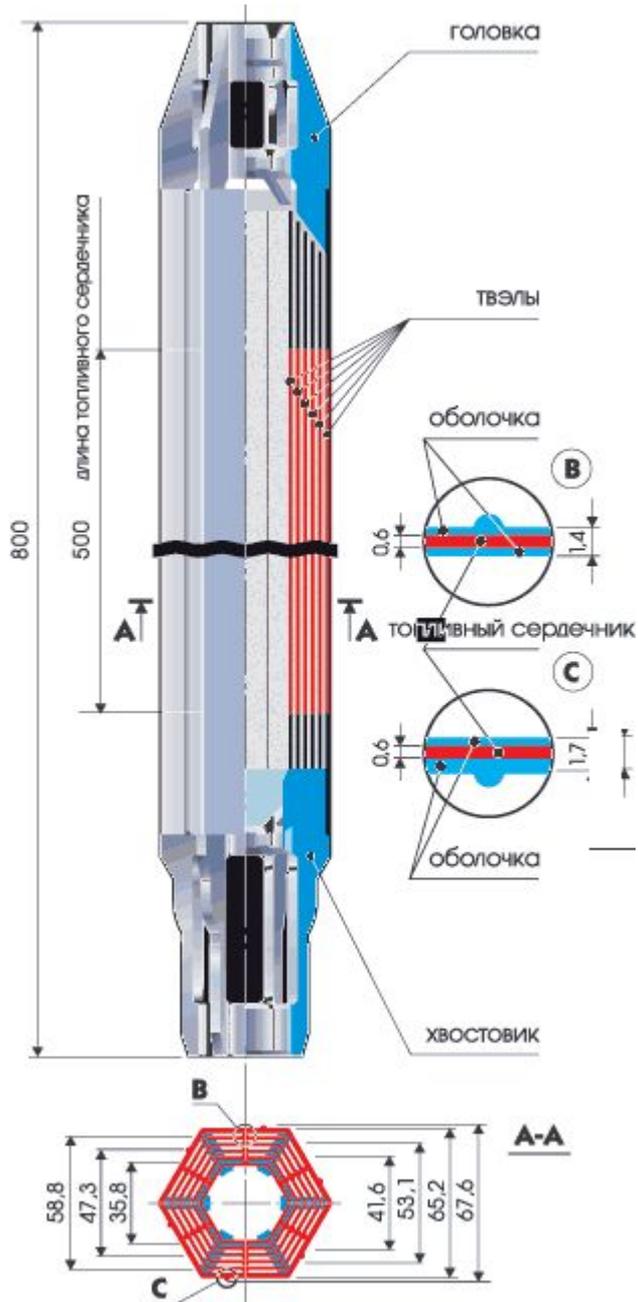
до 110 (кипение
на поверхности
твэлов не
допускается)

Средняя глубина выгорания U^{235} в выгружаемой ТВС, %

не менее 40

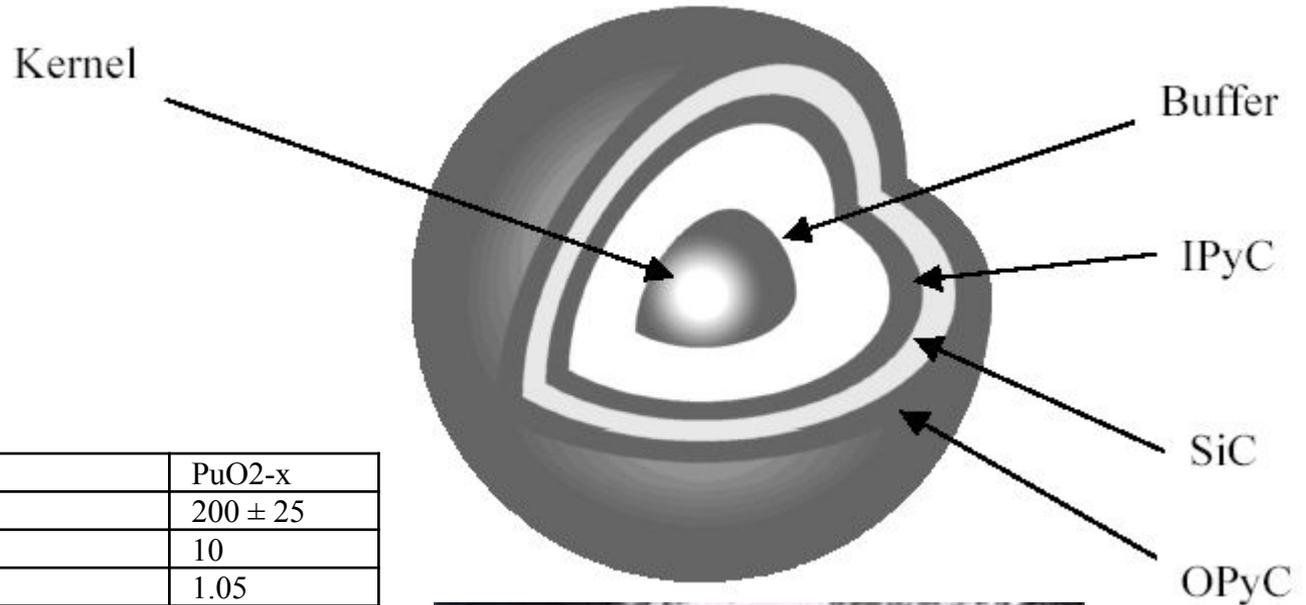


ТВС ИВВ-10

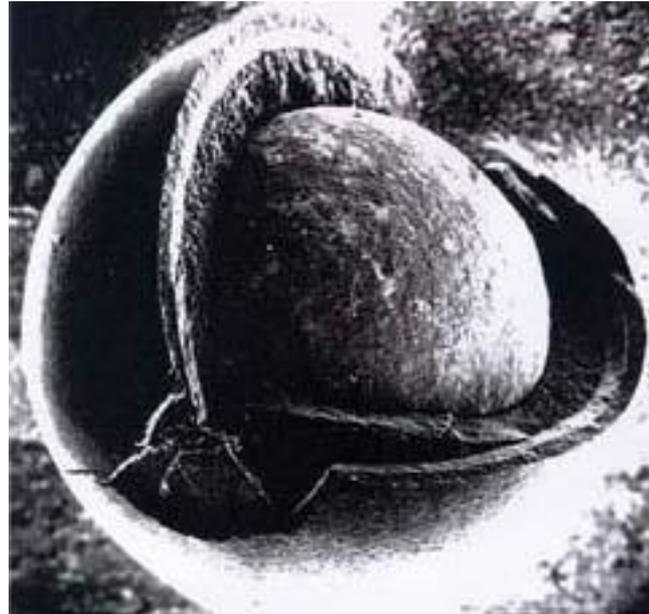


Количество ТВЭЛОВ в ТВС, шт.	6
Тип ТВЭЛА	трехслойный, дисперсионный
Толщина стенки ТВЭЛА, мм	1,4 (1,7)
Обогащение топлива по U^{235} , %	90
Масса U^{235} , г	287
Содержание U^{235} в единице объема активной зоны, г/л	148,1
Поверхность теплосъема в единице объема активной зоны, cm^2/cm^3	5,26
Материал оболочек ТВЭЛОВ и концевых деталей	алюминиевый сплав
Топливо	металло- керамика
Масса, кг	3,1
Теплоноситель	вода обессоленная
Температура теплоносителя, °С	40 - 65
Температура оболочки ТВЭЛА, °С	до 150 (кипение на поверхности ТВЭЛОВ не допускается)
Средняя глубина выгорания U^{235} , %	не менее 40

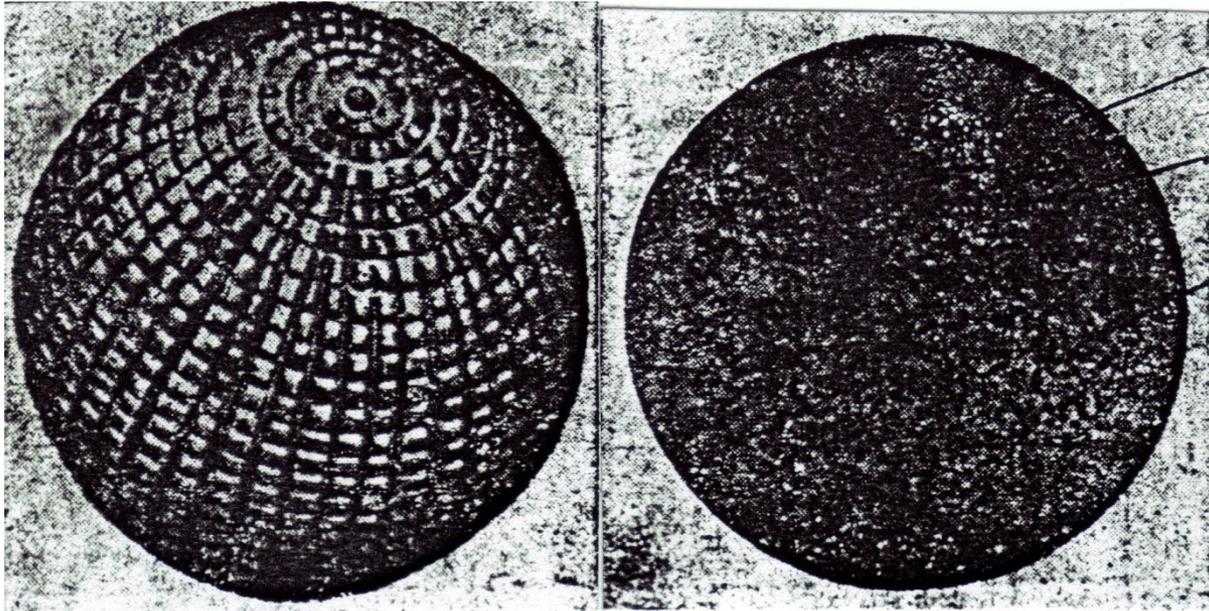
Микротвэл реактора GT-MHR



Fuel composition ($x > 0.25$)	PuO _{2-x}
Kernel diameter, μm	200 ± 25
Kernel density, $\text{g/cm}^3 \geq$	10
Kernel non-sphericity \leq	1.05
Buffer thickness, μm ($\rho \sim 1 \text{ g/cm}^3$)	100 ± 15
IPyC thickness, μm ($\rho \sim 1,8 \text{ g/cm}^3$)	35 ± 8
SiC thickness, μm ($\rho \sim 3,2 \text{ g/cm}^3$)	35 ± 8
OPyC thickness, μm ($\rho \sim 1,8 \text{ g/cm}^3$)	40 ± 8
Burn-up, MW·d/kg Pu: average, maximal	640, 1000
Maximum temperature of fuel, °C	
at normal operating	1250
with overheating factors	1300
under off-normal (for 100 hours)	1600

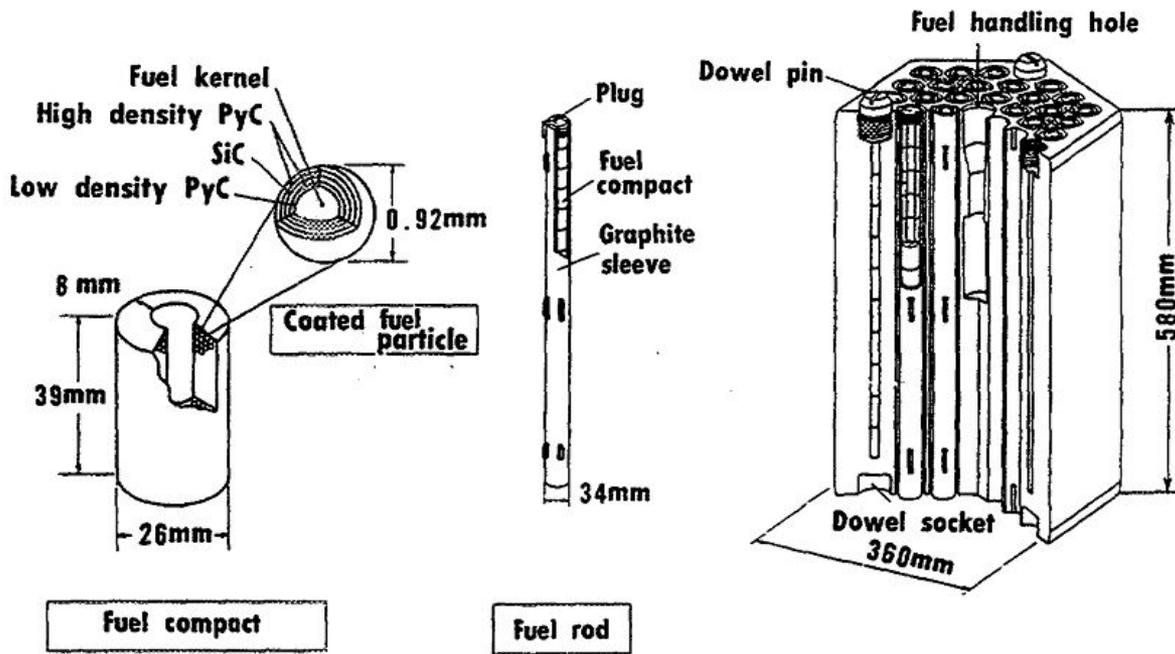


Шаровые ТВЭЛЫ



1 – графитовая оболочка; 2 – графитовая матрица;
3 – топливная частица (микротвэл).

Призматические ТВЭЛЫ



Schematic of fuel assembly of a prismatic block reactor

1 – графитовая призма; 2 – отверстие для газового теплоносителя; 3 – топливный стержень (сердечник); 4 – отверстие для захвата; 5 – дистанционирующий выступ.

