

Критические эксперименты и расчет пусковых активных зон реактора ПИК

О.В. Антонюк, В.В.Гостев, А.С.Захаров,
К.А.Коноплев, З.К.Красоцкий, М.С.Онегин,
А.С.Полтавский, С.Л.Смольский, В.П.Стулов

ПИЯФ, Гатчина

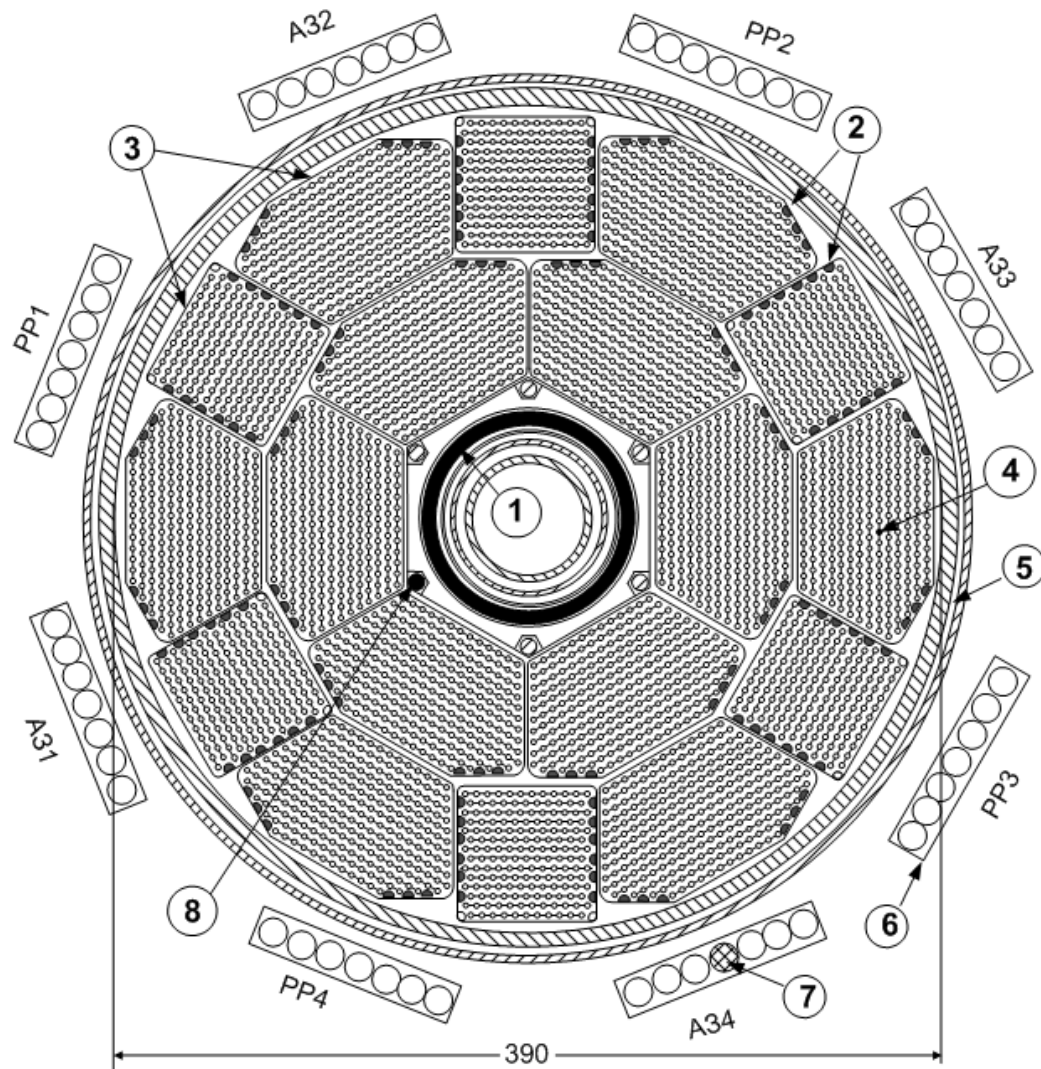
1. Введение

Цель

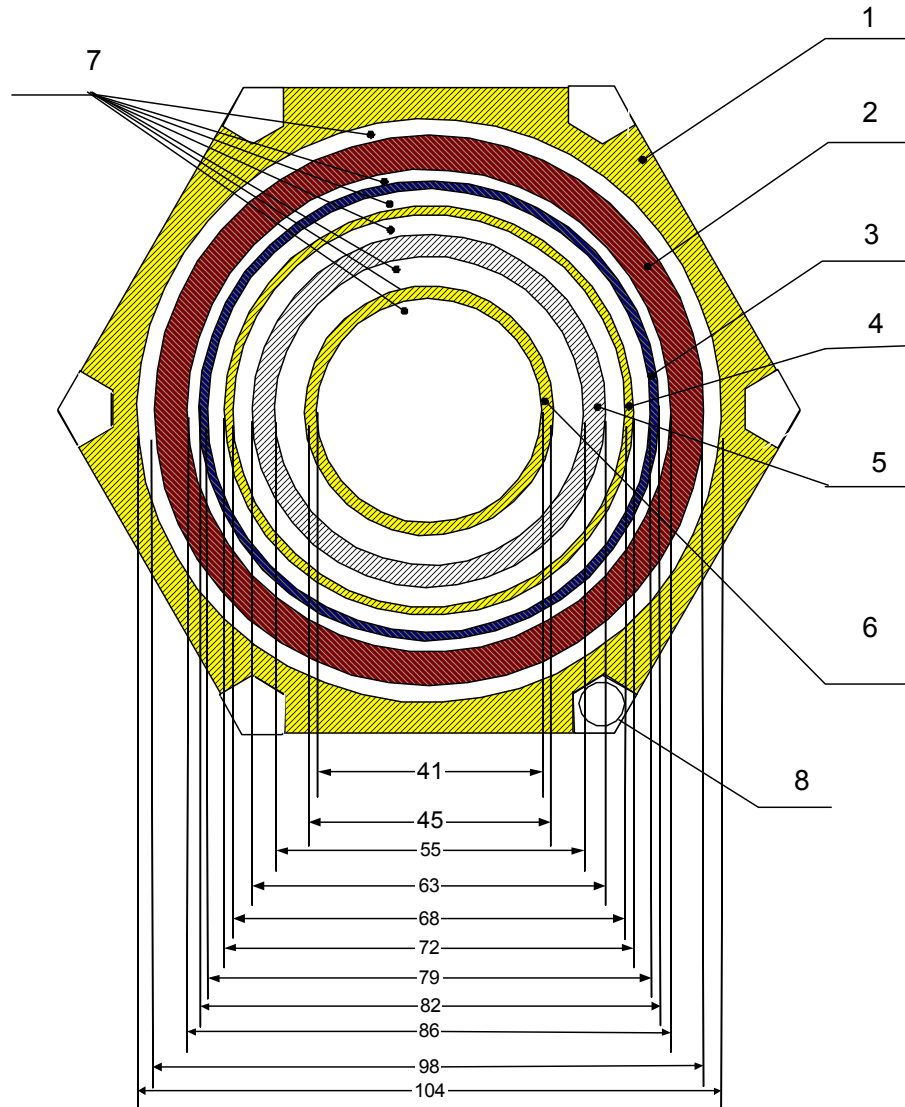
Верификация программы МСНР на основе критэкспериментов с пусковыми активными зонами

Нормативные требования

- Положение об аттестации программных средств, применяемых при обосновании безопасности объектов использования атомной энергии, РД-03-17-2001
- Требования к составу и содержанию отчета о верификации и обосновании программных средств, применяемых для обоснования безопасности объектов использования атомной энергии, РД-03-34-2000



1 – Поглощающие шторки (Eu_2O_3 или Hf); 2 – Макеты СВП $\text{Gd}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$; 3 – ТВС;
 4 – Твэлы извлекаемые ($N_{\text{макс}}=3858$ шт.); 5 – Пустота жидкостного компенсатора;
 6 – Поглощающие стержни РР и АЗ в нижнем положении; 7 – Поглощающий элемент стержня (Eu_2O_3); 8 – Нейтронный источник (^{252}Cf)



1 – шестигранная направляющая шторок (АМг-3); 2 - поглощающий элемент шторок (Hf или Eu_2O_3); 3 - дистанционирующий элемент шторок (нержавеющая сталь); 4 – тяга верхней шторы (АМг-3 с толщиной трубы 2мм или $\text{Zr}+2,5\%\text{Nb}$ с толщиной трубы 1,5мм в экспериментах с Hf пэлами); 5 - центральный экспериментальный канал ($\text{Zr}+2,5\%\text{Nb}$); 6 – имитатор трубы, разделяющей нисходящий и восходящий потоки теплоносителя и пенал для контейнера (АМг-3), 7 – вода. 8-сухая трубка для нейтронного источника. Все размеры даны в мм.

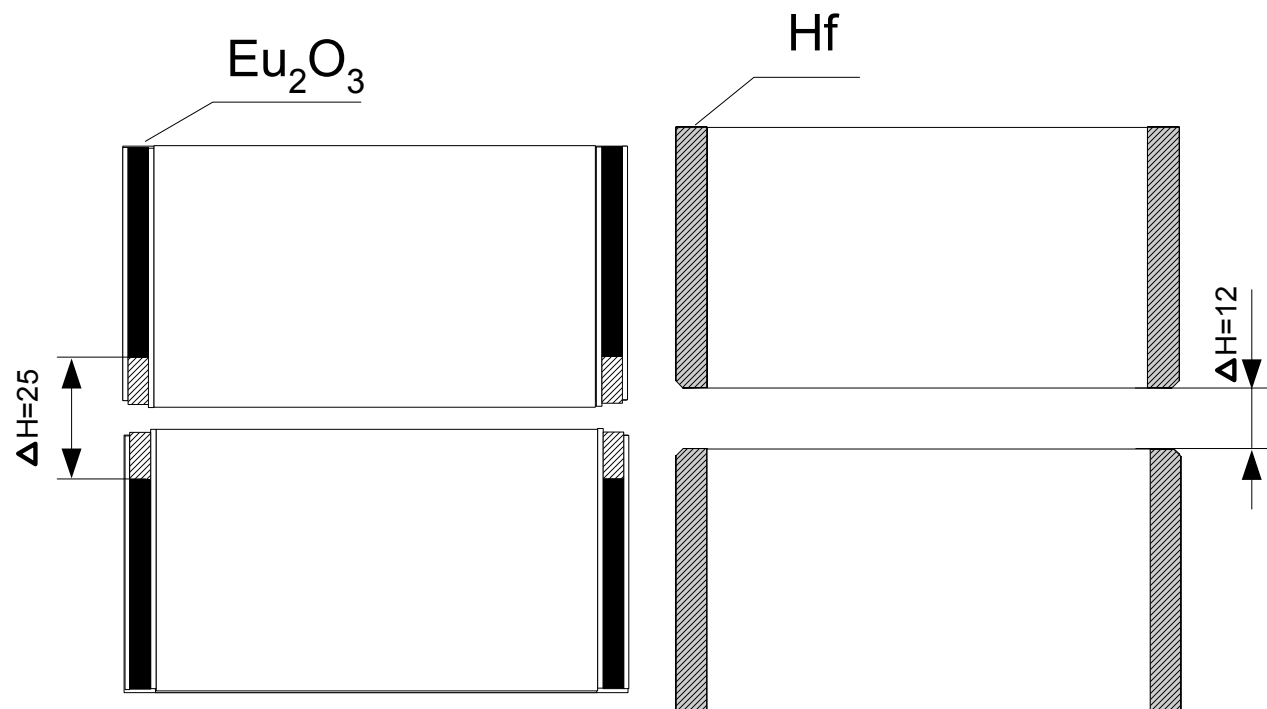


Схема шторок в сведенном состоянии

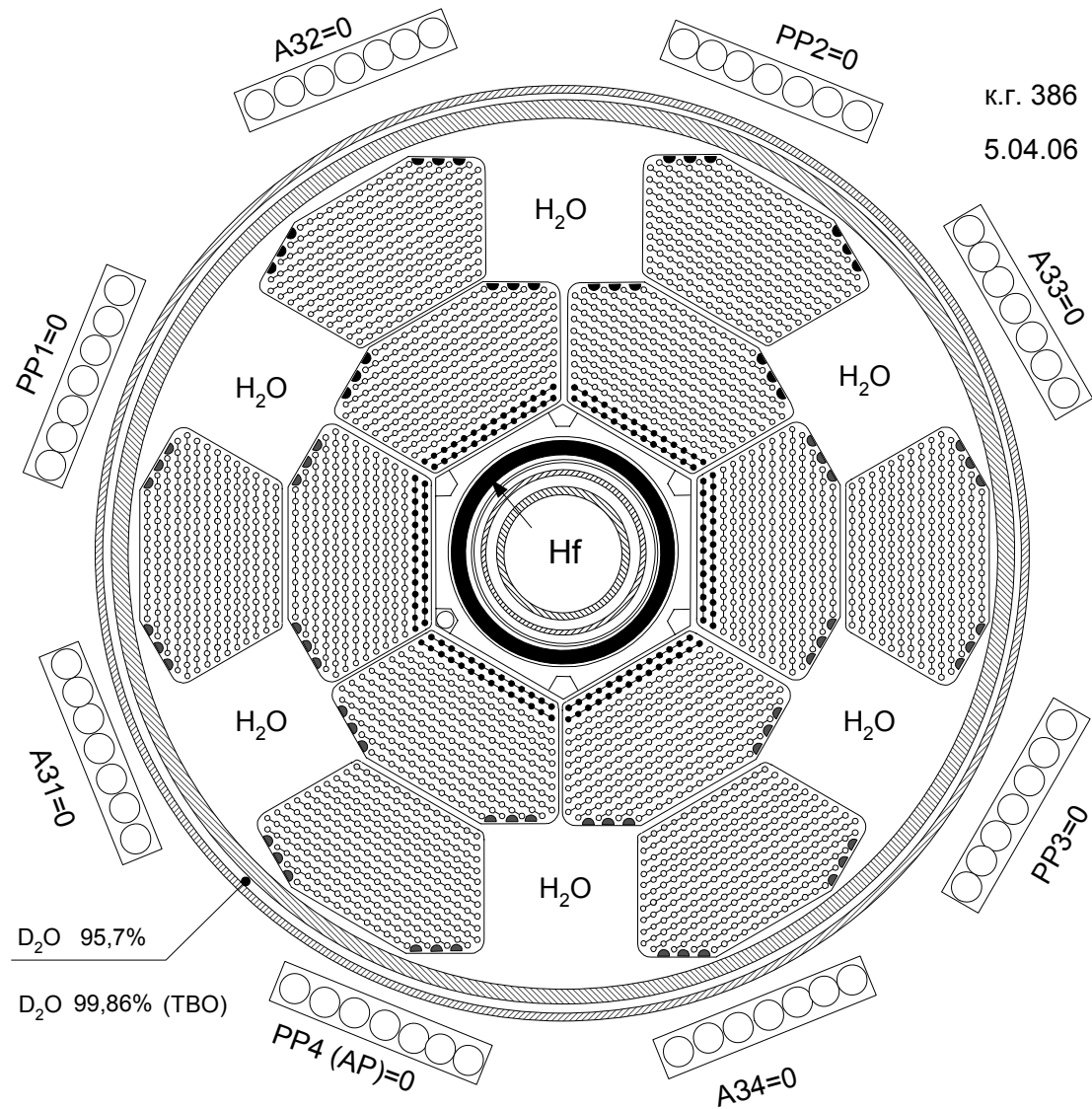


Рис.3. Активная зона до загрузки наружных вытеснителей. Шторки из гафния

$H=204$ мм ($\Delta H=204$ мм). $K_{эфф}=0,99735(30)$

Гатчина 2006

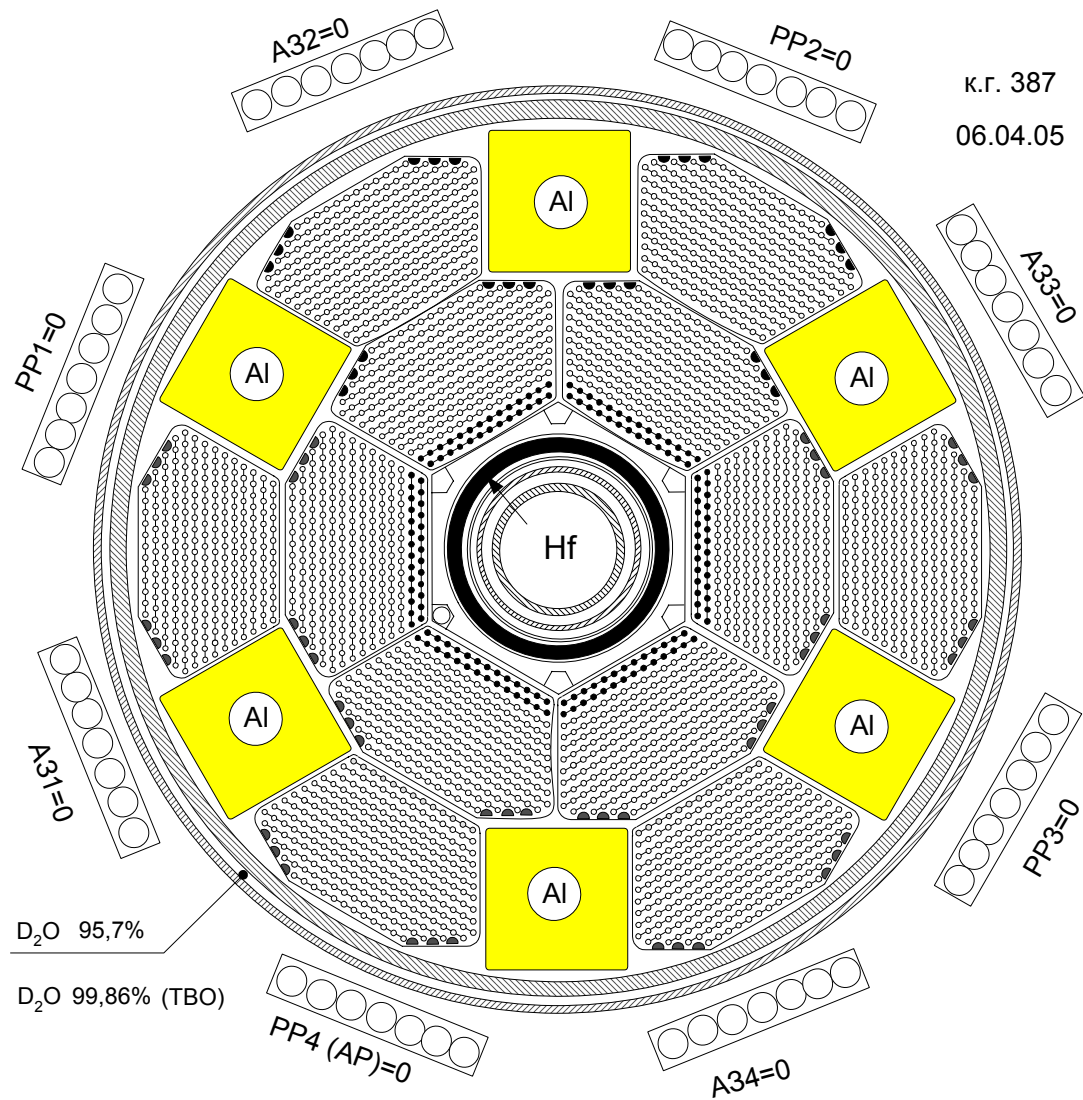


Рис.4. Активная зона с шестью наружными вытеснителями. Шторки из гафния.

$H=173$ мм ($\Delta H=266$ мм). $K_{эфф}=0,99891(29)$

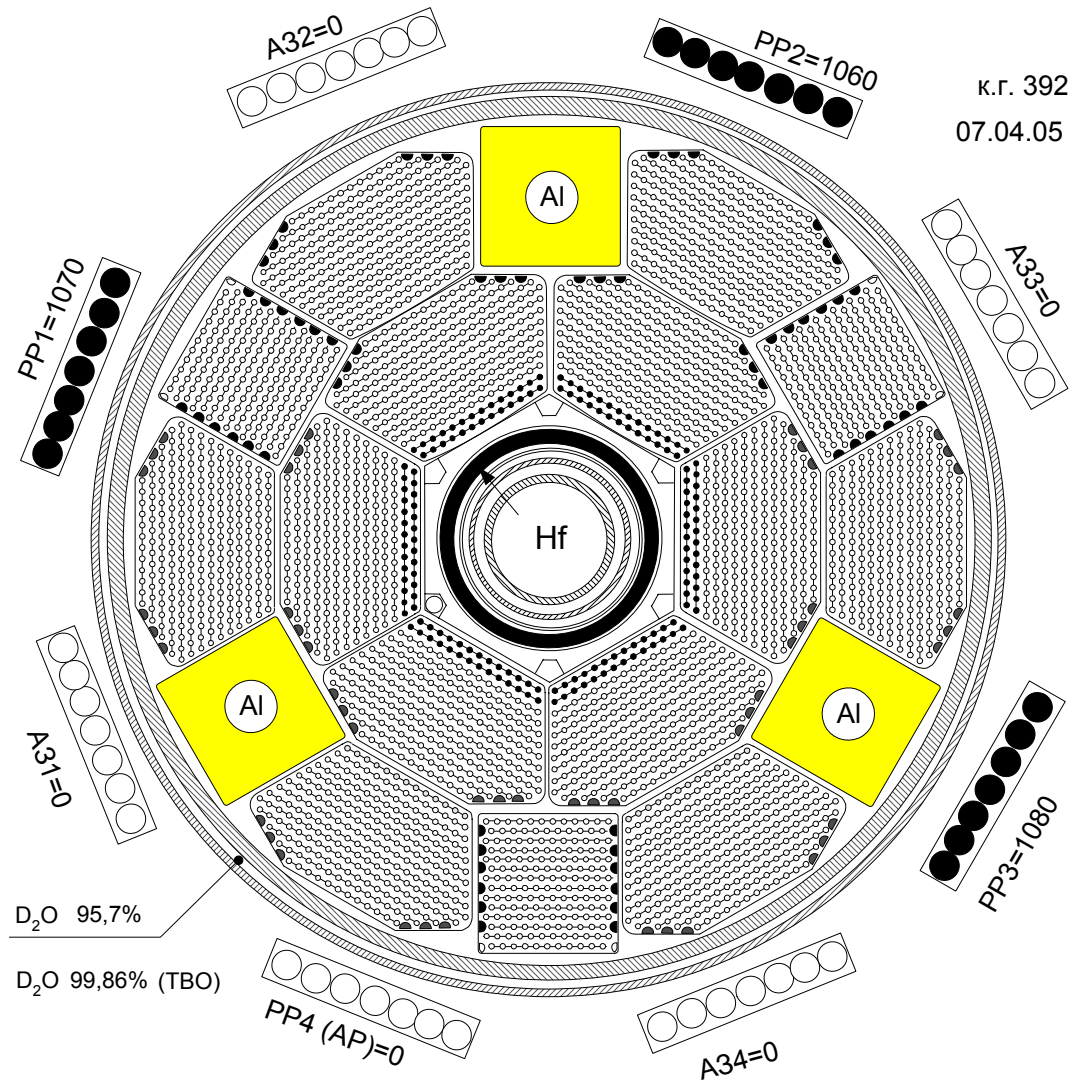


Рис. 5. Активная зона с тремя наружными вытеснителями. Шторки из гафния
шторки $H=271$ мм ($\Delta H=70$ мм) $K_{эфф}=0,99828(30)$

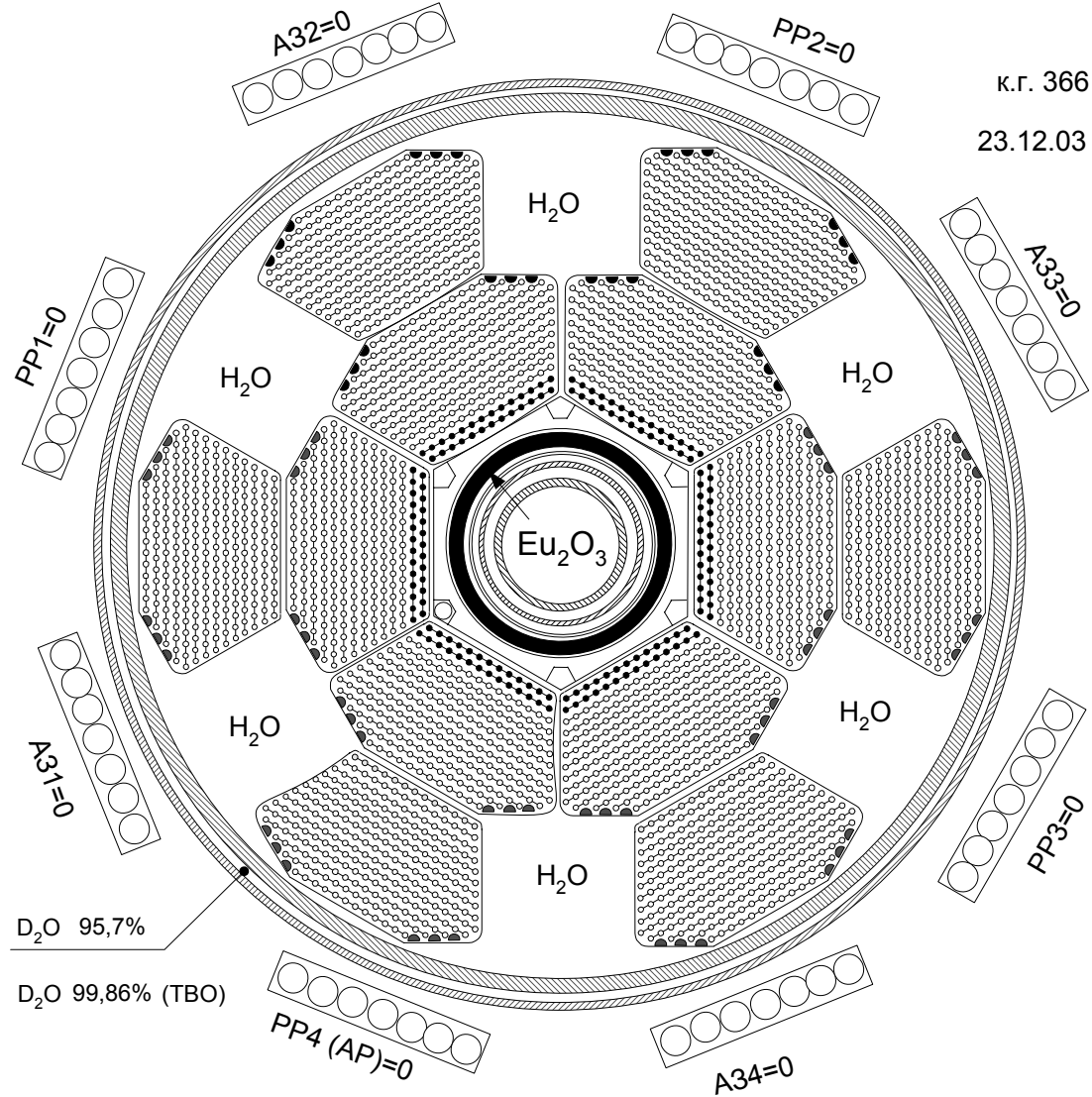


Рис. 6. Активная зона до загрузки наружных вытеснителей. Шторки на основе Eu_2O_3
шторки $H=201$ мм ($\Delta H=223$ мм). $K_{эфф}=0,99732(30)$

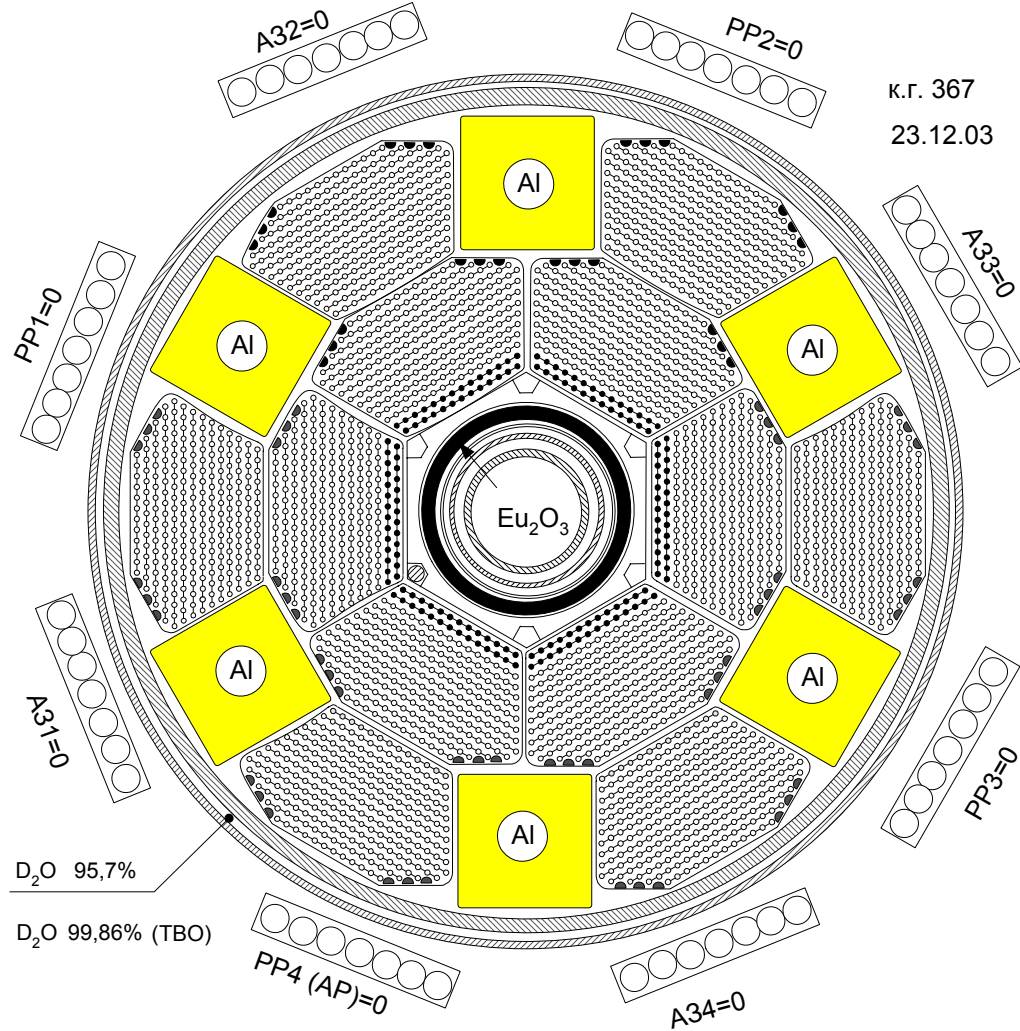
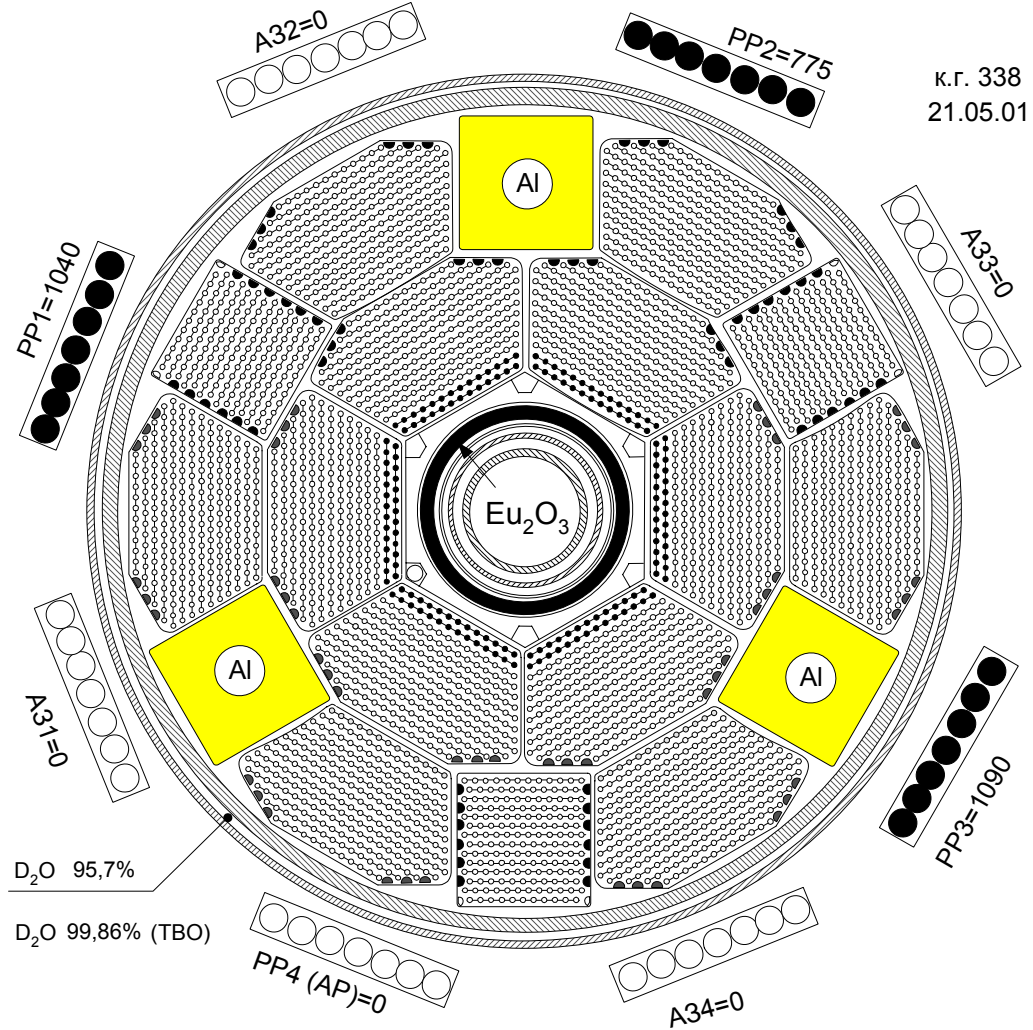


Рис. 7. Активная зона с шестью наружными вытеснителями. Шторки на основе Eu_2O_3
шторки $H=173$ мм ($\Delta H=279$ мм). $K_{эфф}=0,99864(29)$



к.г. 338
21.05.01

Рис. 8. Активная зона с тремя наружными вытеснителями. Шторки на основе Eu_2O_3
шторки $H=271$ мм ($\Delta H=83$ мм) $K_{эфф}=0,99683(30)$

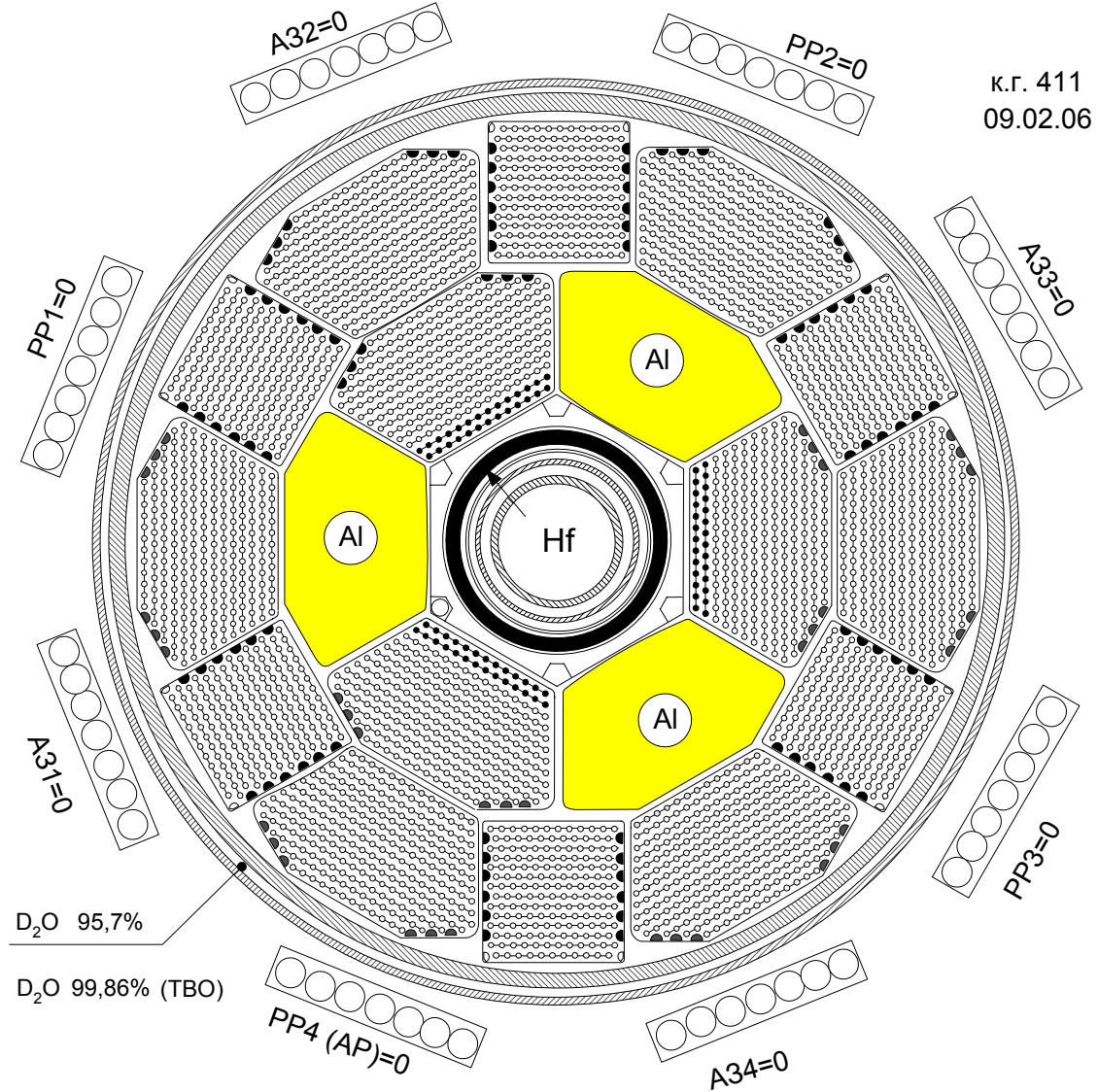


Рис. 9. Активная зона с тремя внутренними вытеснителями. Шторки из гафния
шторки $H=215$ мм ($\Delta H=182$ мм). $K_{эфф}=1,00075(29)$

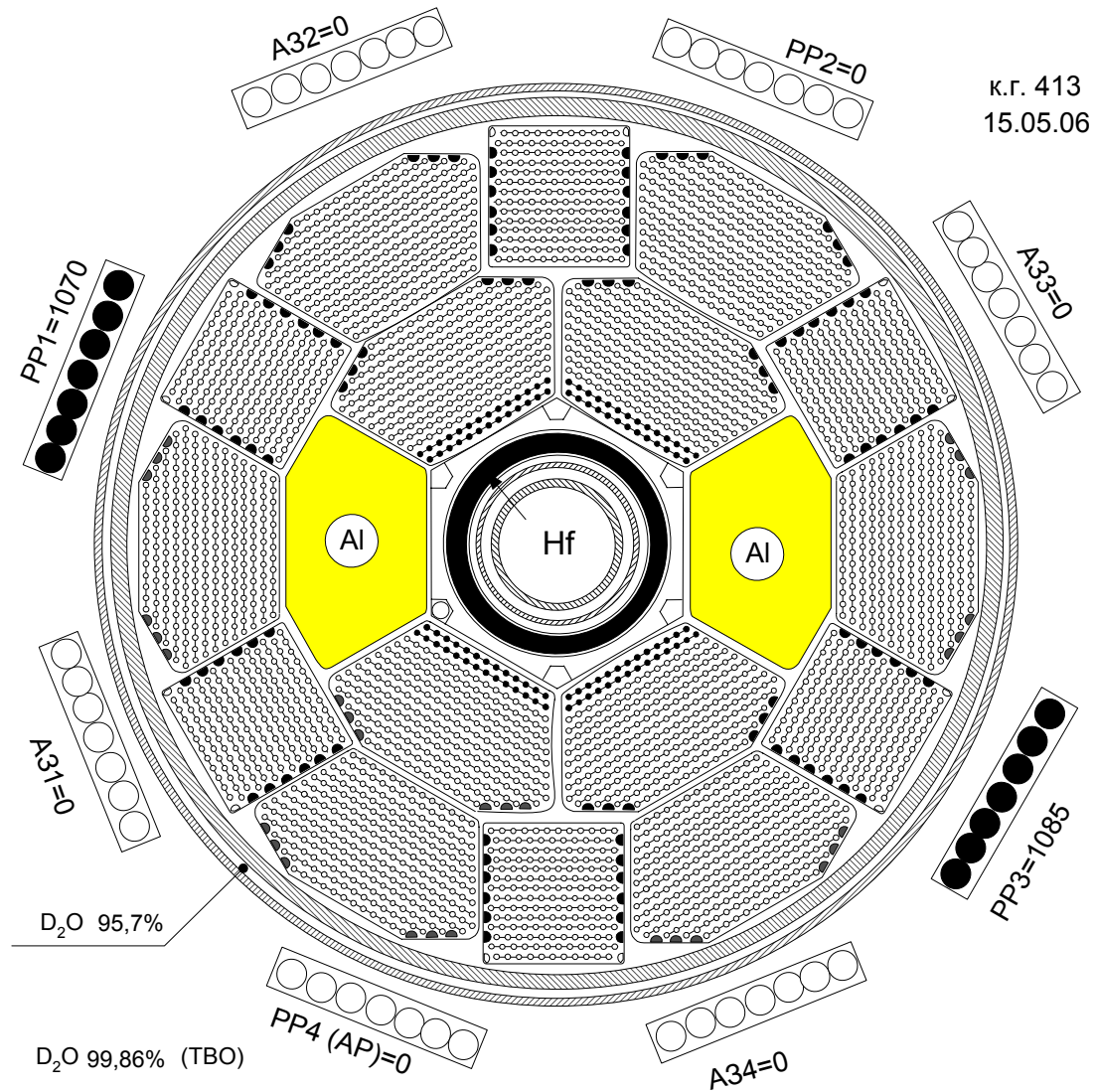


Рис. 10. Активная зона с двумя внутренними вытеснителями. Шторки из гафния
шторки $H=269$ мм ($\Delta H=74$ мм). $K_{эфф}=1,0002(3)$

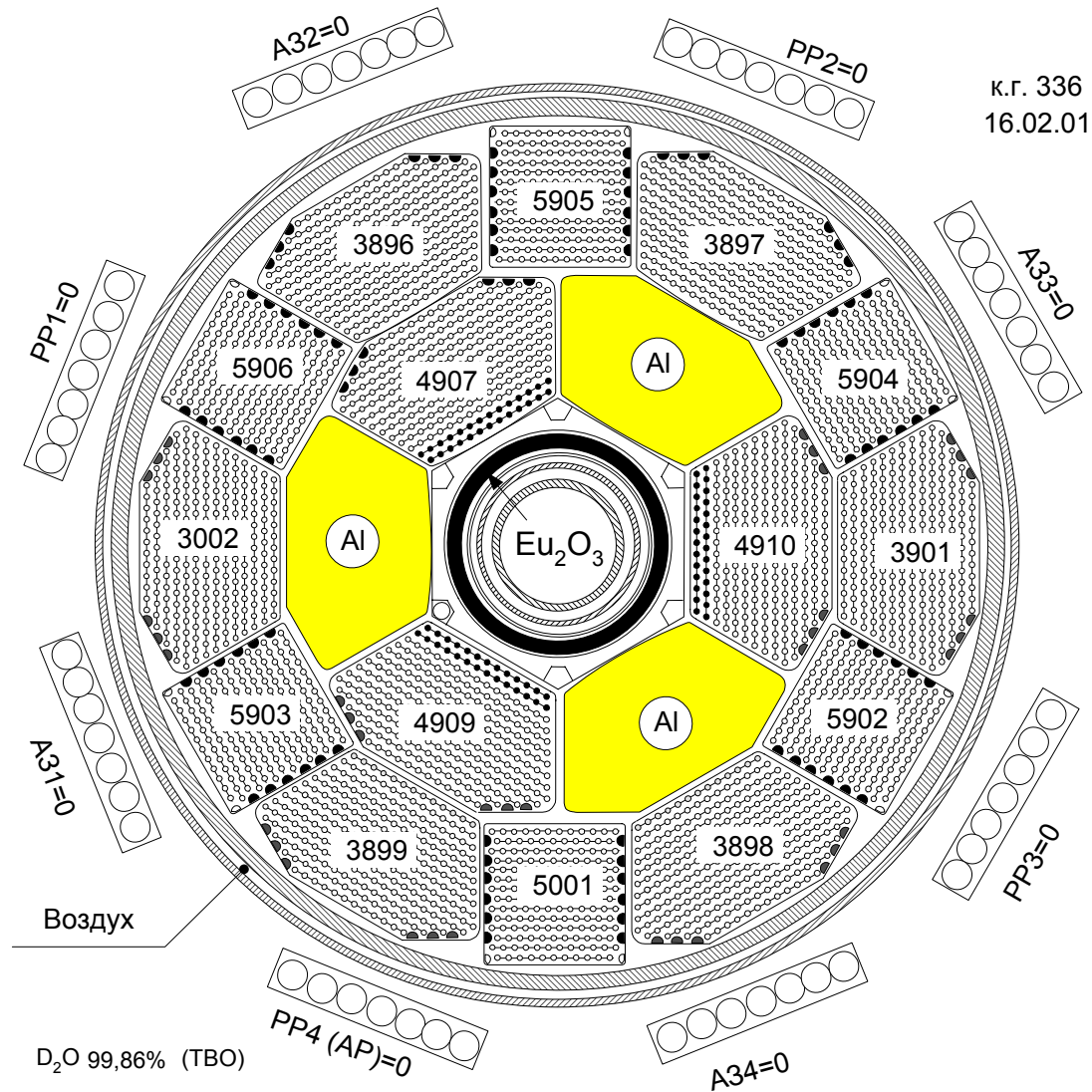


Рис. 11. Активная зона с тремя внутренними вытеснителями. Шторки на основе Eu_2O_3
шторки $H=188$ мм ($\Delta H=249$ мм) $K_{эфф}=1,0030(3)$

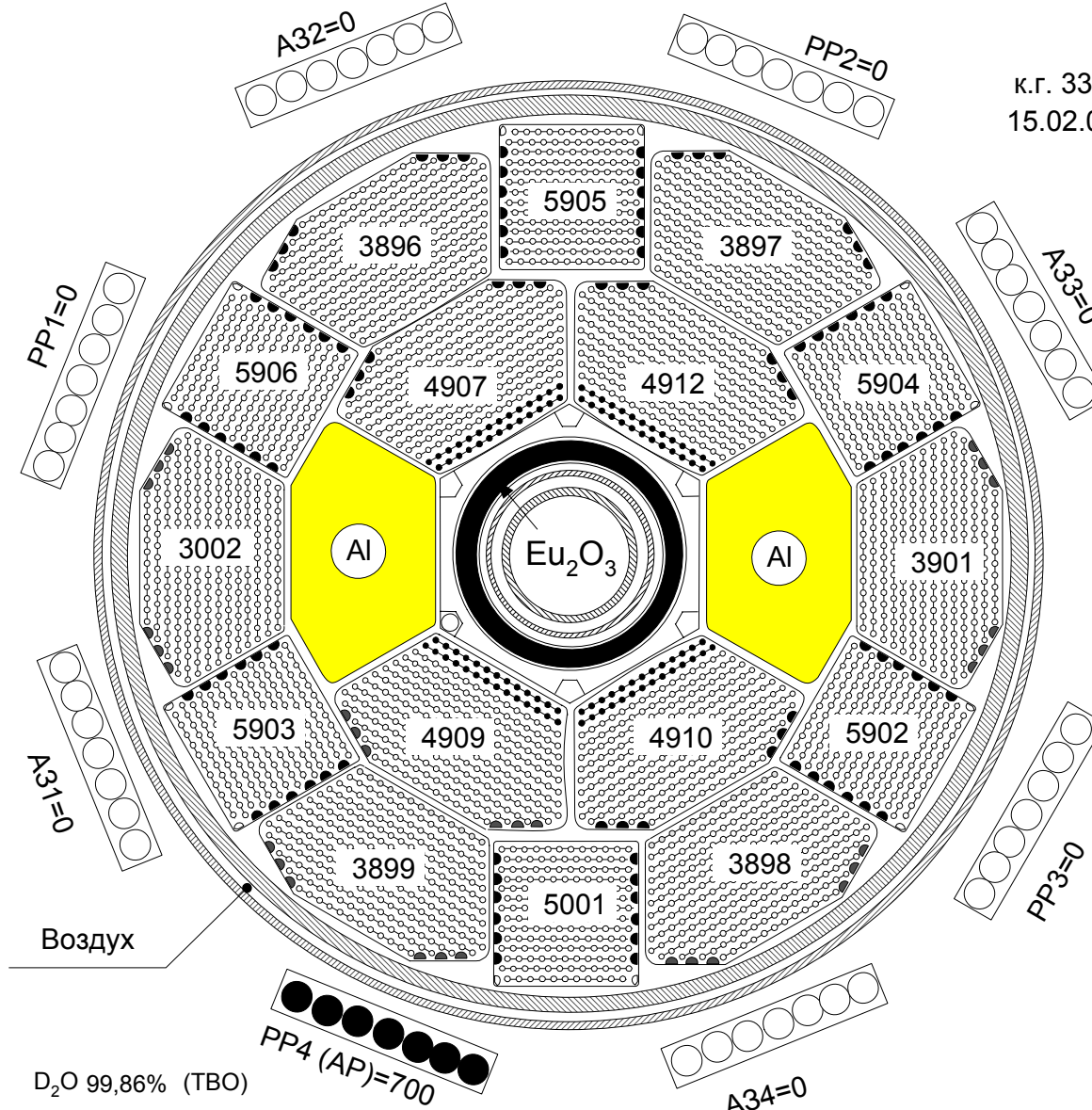


Рис. 12. Активная зона с двумя внутренними вытеснителями. Шторки на основе Eu_2O_3
шторки $H=264$ мм ($\Delta H=97$ мм), $K_{эфф}=1,00346(29)$

Таблица 5. Результаты расчета $K_{эфф}$

Тип ТВС	Поглотитель шторок	Вытеснители	$K_{эфф}$ (расчет)	$K_{эфф}$ (эксперимент)	Погрешность расчета, %
ФМ	Hf	H ₂ O	0,99735±0,00030	1,0000±0,0013	-0,27±0,13
ФМ	Hf	6 внешних	0,99891±0,00029	1,0000±0,0013	-0,11±0,13
ФМ	Hf	3 внешних	0,99828±0,00030	1,0000±0,0013	-0,17±0,13
ФМ	Eu ₂ O ₃	H ₂ O	0,99732±0,0003	1,0000±0,0013	-0,27±0,13
ФМ	Eu ₂ O ₃	6 внешних	0,99864±0,00029	1,0000±0,0013	-0,14±0,13
ФМ	Eu ₂ O ₃	3 внешних	0,99683±0,0003	1,0000±0,0013	-0,32±0,13
ФМ	Eu ₂ O ₃	3 внутренних	1,00075±0,00029	1,0000±0,0013	0,08±0,13
ФМ	Hf	2 внутренних	1,0002±0,0003	1,0000±0,0013	0,02±0,13
ПИК	Eu ₂ O ₃	3 внутренних	1,0030±0,0003	1,000±0,002	0,30±0,20
ПИК	Eu ₂ O ₃	2 внутренних	1,00346±0,00029	1,000±0,002	0,35±0,20

Таблица 6. Эффективность стержней в отражателе

№	РО СУЗ	Эффективность, % (расчет)	Эффективность, $\beta_{эфф}$ (эксперимент)	Эффективность, % (эксперимент) $\beta_{эфф}=0,767\%$
1	РР1	0,48(4)	0,69(5)	0,53(4)
2	РР2	0,42(4)	0,59(5)	0,45(4)
3	РР3	0,50(4)	0,68(4)	0,52(4)
4	РР4	0,40(4)	0,60(4)	0,46(4)
5	А31	0,42(4)	0,53(5)	0,41(4)
6	А32	0,45(4)	0,55(5)	0,42(4)
7	А33	0,45(4)	0,53(5)	0,41(4)
8	А34	0,46(4)	0,61(5)	0,47(4)
9	Группа из 6 стержней (РР1-РР4, А32, А33)	2,56(4)		2,55(4)*

№	Описание состояния	ρ , % MCNP, Hf	ρ , % MCNP, Eu ₂ O ₃	$\Delta\rho$, % MCNP, Hf	$\Delta\rho$, % MCNP, Eu ₂ O ₃	$\Delta\rho$, % MCU, Eu ₂ O ₃	$\Delta\rho$, % эксперимент (оценка по результатам сброса, Hf)
	15 ТВС ПИК, 3 квадратных внешних вытеснителя. H_{шт}=300 мм	-0,17(3)	-0,72(3)	7,16(4)	7,70(4)	7,48(4)	6,9(4)
	15 ТВС ПИК, 3 квадратных внешних вытеснителя. H_{шт}=0 мм	6,99(3)	6,98(2)				
	15 ТВС ФМ, 3 шестигранных внутренних вытеснителя. H_{шт}=300 мм	-3,21(3)	-3,83(3)	6,72(4)	7,39(5)	—	6,1(4)
	15 ТВС ФМ, 3 шестигранных внутренних вытеснителя. H_{шт}=0 мм	3,51(3)	3,56(4)				