

**ЗАМКНУТЫЙ ТОПЛИВНЫЙ
ЦИКЛ
И РЕАКТОРЫ НА БЫСТРЫХ
НЕЙТРОНАХ**

Дефект массы

$$\Delta M = M_{\text{исх}} - M_{\text{прод}},$$

$$E = mc^2$$

1 акт деления \rightarrow 200 МэВ,
1 акт сгорания угля \rightarrow 4 эВ.
Разница = 50 млн.

1 г U \approx 600 кг угля.

Ядерное топливо и сырьё воспроизводства

^{238}U – 99,282 %, 

^{235}U – 0,712 %, 

^{234}U – 0,006 %.

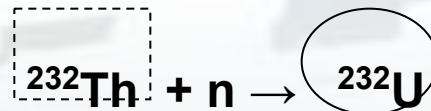
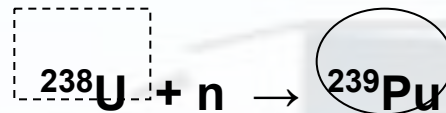
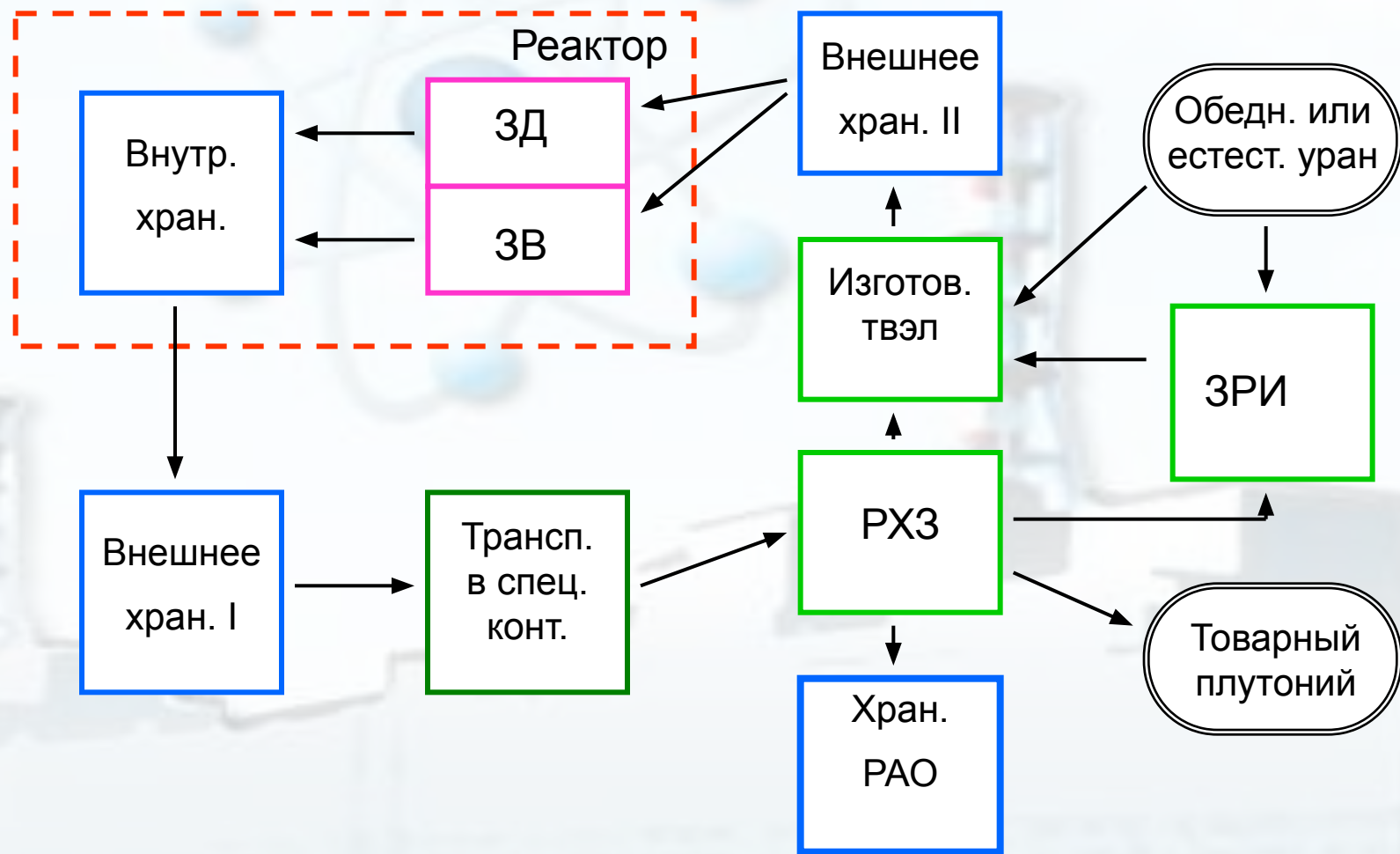
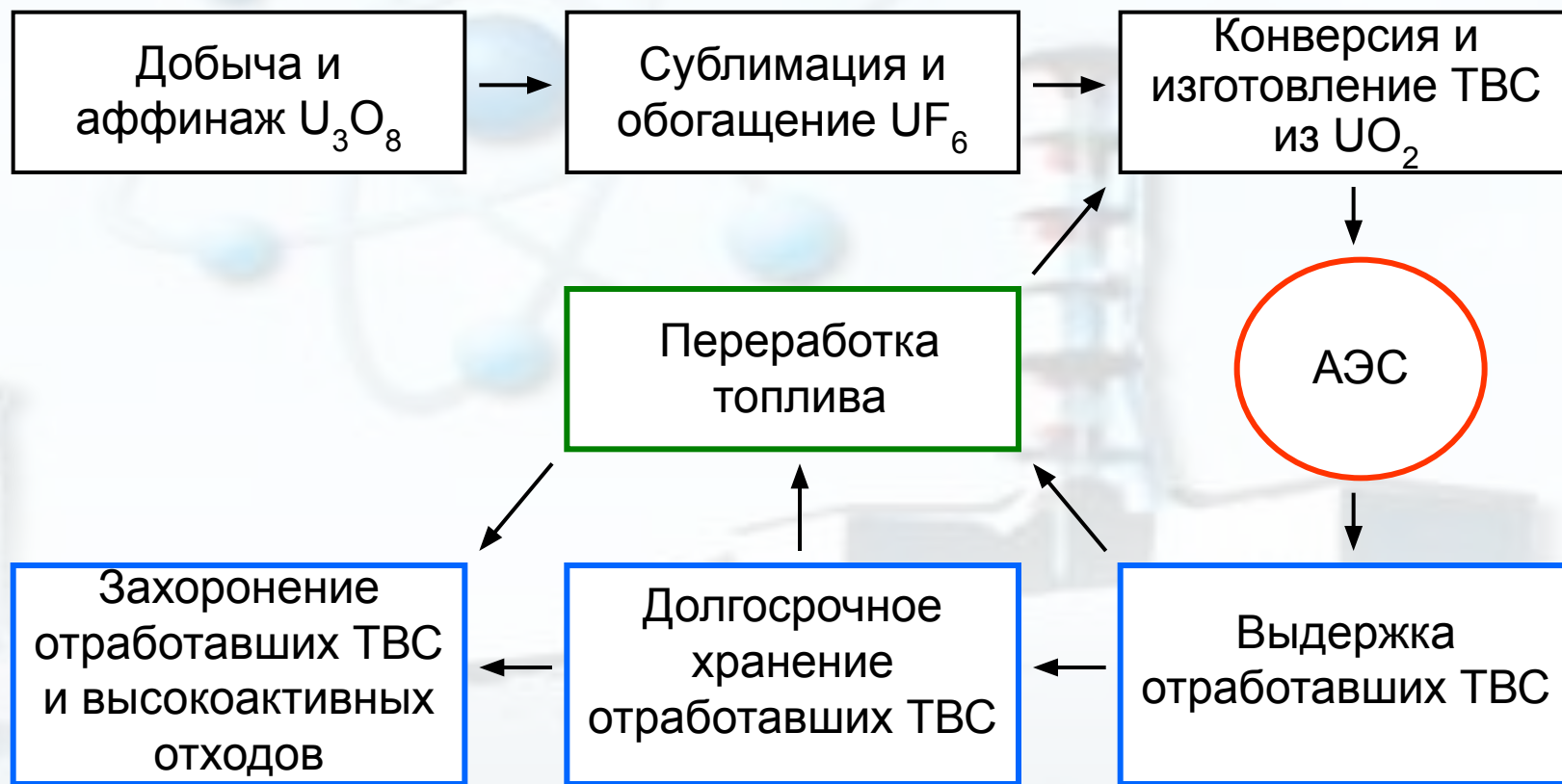


Схема движения топлива в замкнутом топливном цикле с быстрыми реакторами



Ядерный топливный цикл



Национальные ядерные топливные циклы

Страна	Добыча	Конверсия	Обогащение	Изготовление ТВС	Переработка отработавшего топлива
Россия	1, 2	1	1	1	1
США	1, 3	1, 3	1, 3	1, 2, 3	–
Франция	2, 3	1, 3	1	1, 2, 3	1
Канада	1	1	–	1	–
Великобритания	2, 3	1	1, 2	1, 3	1
Германия	–	–	1, 2	1, 2, 3	3
Япония	3	–	1, 3	1, 3	1, 2, 3
Южная Корея	3	1	3	1, 3	–
Украина	1	–	–	3	3
Индия	1	1	–	1	1

Примечание: 1 – собственное производство; 2 – предприятия на иностранной территории с полным или частичным владением; 3 – доставка из-за рубежа.

Обогащение урана

Страна	Фирма, организация	Метод	Производительность, млн е.р.р./год
США	USEC Inc.	Газодиффузионный	11,3
Франция	Евродиф	Газодиффузионный	10,8
Великобритания, Германия, Нидерланды	Urenco	Центробежный	5,85
Япония	JNFL	Центробежный	1,05
КНР	CNEIC	Газодиффузионный	0,6
		Центробежный	1,0
Бразилия	INB	Центробежный	0,1

Планы стран по развитию центрифужной технологии оборачивания урана

Страна	Фирма, организация	Год	Производительность, млн е.р.р./год
Россия	«Росатом»	2010	Увеличение на 30%
США	USEC Inc. LES	2010	3,5
		2008	1
		2012	3
Франция	«Кожема»	2007	3
Великобритания, Германия, Нидерланды	Urenco	2006	Увеличение на 1,15
Япония	JNFL	после 2005	То же на 0,45
КНР	CNEIC	2005-2010	То же на 1
Бразилия	INB	2005-2010	то же на 1

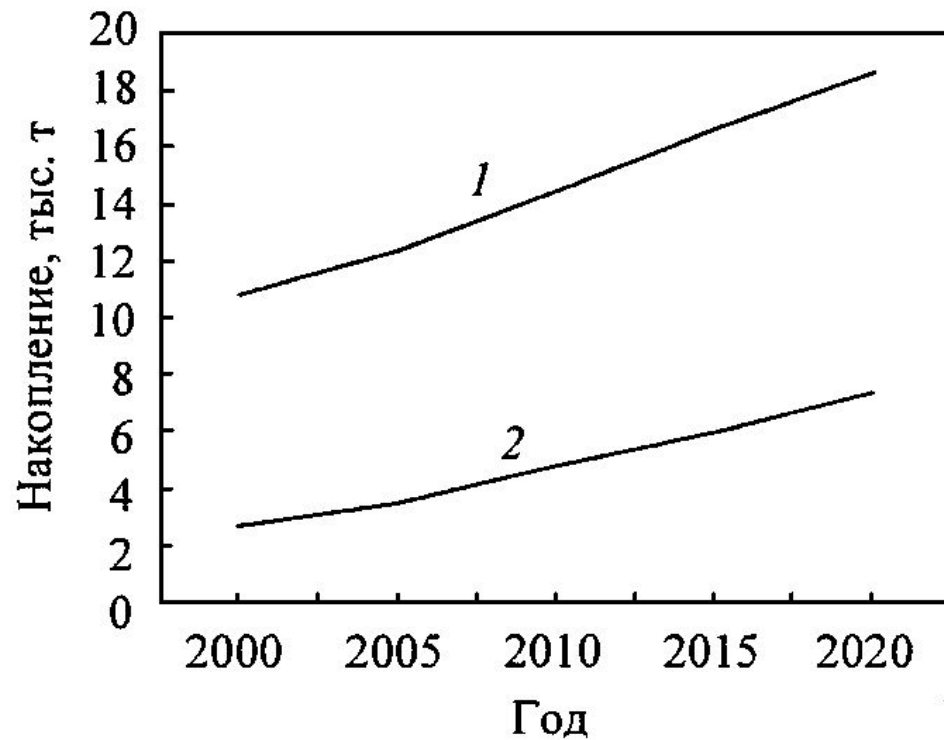
Лучшие мировые и российские показатели топливоиспользования

Параметр	Зарубежные АЭС		Российские АЭС с ВВЭР-1000	
	CANDU (Канада)	PWR-4 (Франция)	Кампания 4 года*	Кампания 5 лет**
Расход природного урана, кг/(МВт·сут)	0,179	0,195	0,198	0,193
Среднее выгорание, МВт·сут/кг	8,3	52	49	56

* Начато промышленное внедрение.

** Технический проект.

Накопление отработавшего ядерного топлива РБМК (1) и ВВЭР-1000 (2)



Состояние и перспективы переработки отработавшего ядерного топлива

Страна	Реактор	Мощность, т тяж. мет. в год	Перспективы
Великобритания	Магноксовый	1500	Закрытие в 2010-2015 гг. после остановки последнего реактора
Франция	LWR, ACR LWR	1200 1600	Обсуждается закрытие в 2010 г. Повышение производительности до 1700 т без дальнейшего наращивания мощности
Россия	ВВЭР, БН-600, транспортные, исследовательские реакторы	400	Снижение объёмов переработки в последние годы
Япония	LWR	90	Строительство завода к 2010 г. мощностью 800 т
Индия	PHWR, исследовательские реакторы	260	Планы по расширению мощностей отсутствуют

Образование отходов на стадиях ЯТЦ

Стадия ЯТЦ	Образующиеся отходы	
	Категории	Объём, м ³ /год на 1 ГВт
Добыча и обработка руды	Урановые хвосты и низкоактивные отходы	254-300 м ³ на 1 т U ₃ O ₈
Конверсия	Низкоактивные отходы	33-112
Обогащение	Низкоактивные отходы	39
Изготовление топлива	Низкоактивные отходы	3-9
Эксплуатация реактора	Низкоактивные отходы	86-130
	Среднеактивные отходы	22-33
Промежуточное хранение топлива и перевод на сухое хранение	Низкоактивные отходы	2
	Среднеактивные отходы	0,2
Переработка топлива с удалением отходов (замкнутый ЯТЦ)	Низкоактивные отходы	70-95
	Среднеактивные отходы	20-32
	Высокоактивные отходы	3-4
Капсулирование и окончательное удаление топлива (открытый ЯТЦ)	Низкоактивные отходы	0,01 м ³ /т
	Среднеактивные отходы	0,2 м ³ /т
	Высокоактивные отходы	1,5 м ³ /т
Вывод из эксплуатации:		
установок по конверсии	Низкоактивные отходы	92
установок по обогащению	Низкоактивные отходы	5
линий по производству ТВС реактора	Низкоактивные отходы	6
	Низкоактивные отходы	175-230
установок по переработке топлива и остекловыванию отходов	Среднеактивные отходы	9
	Низкоактивные отходы	5
	Среднеактивные отходы	0,8



Спасибо за внимание!