ЗАМКНУТЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ И РЕАКТОРЫ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Дефект массы

$$\Delta M = M_{исх} - M_{прод},$$

$$E = mC^2$$

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

---

1 г U ≃ 600 кг угля.

Ядерное топливо и сырьё воспроизводства

^{238}U – 99,282 %,

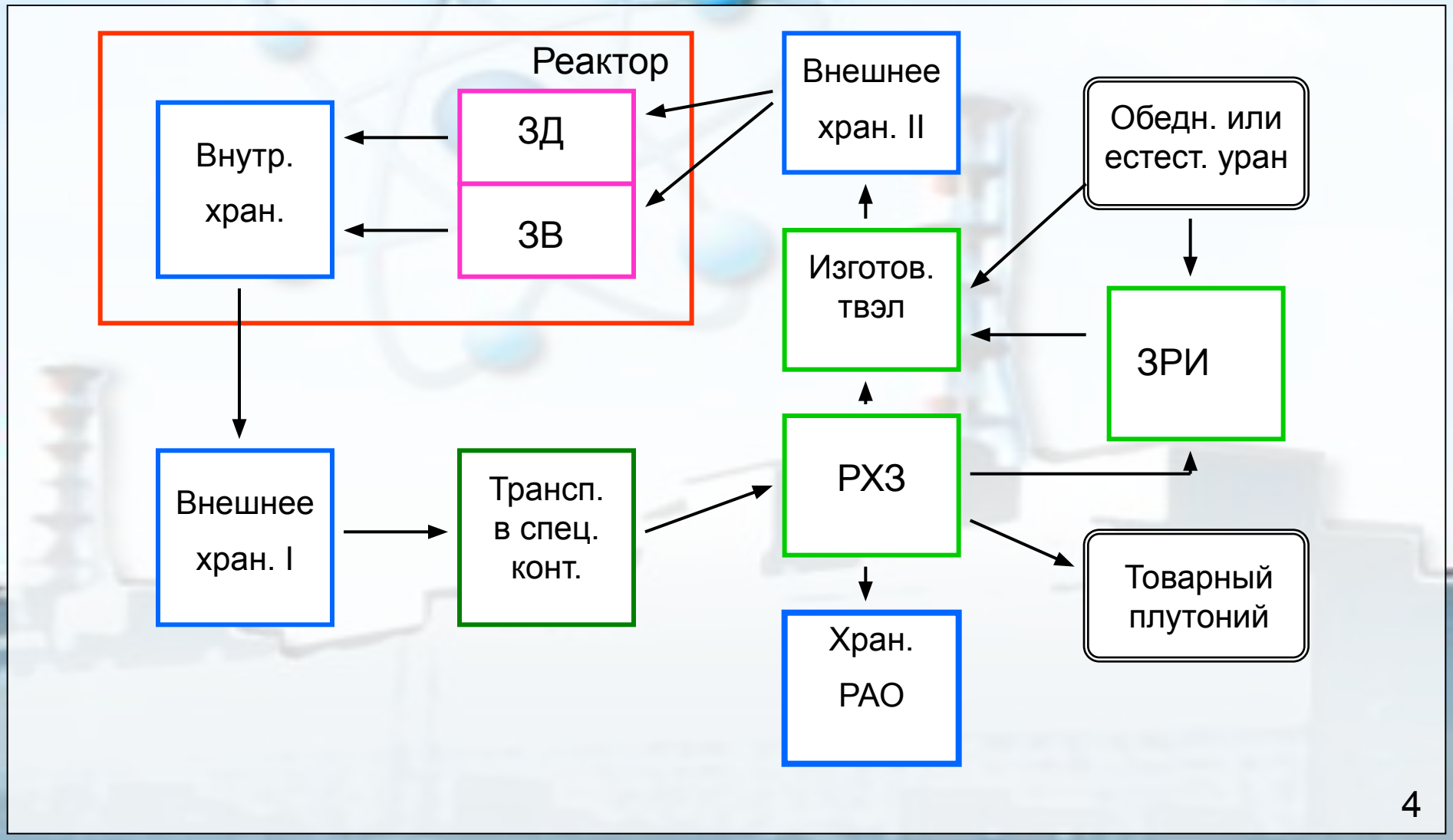
^{235}U – 0,712 %,

^{234}U – 0,006 %.

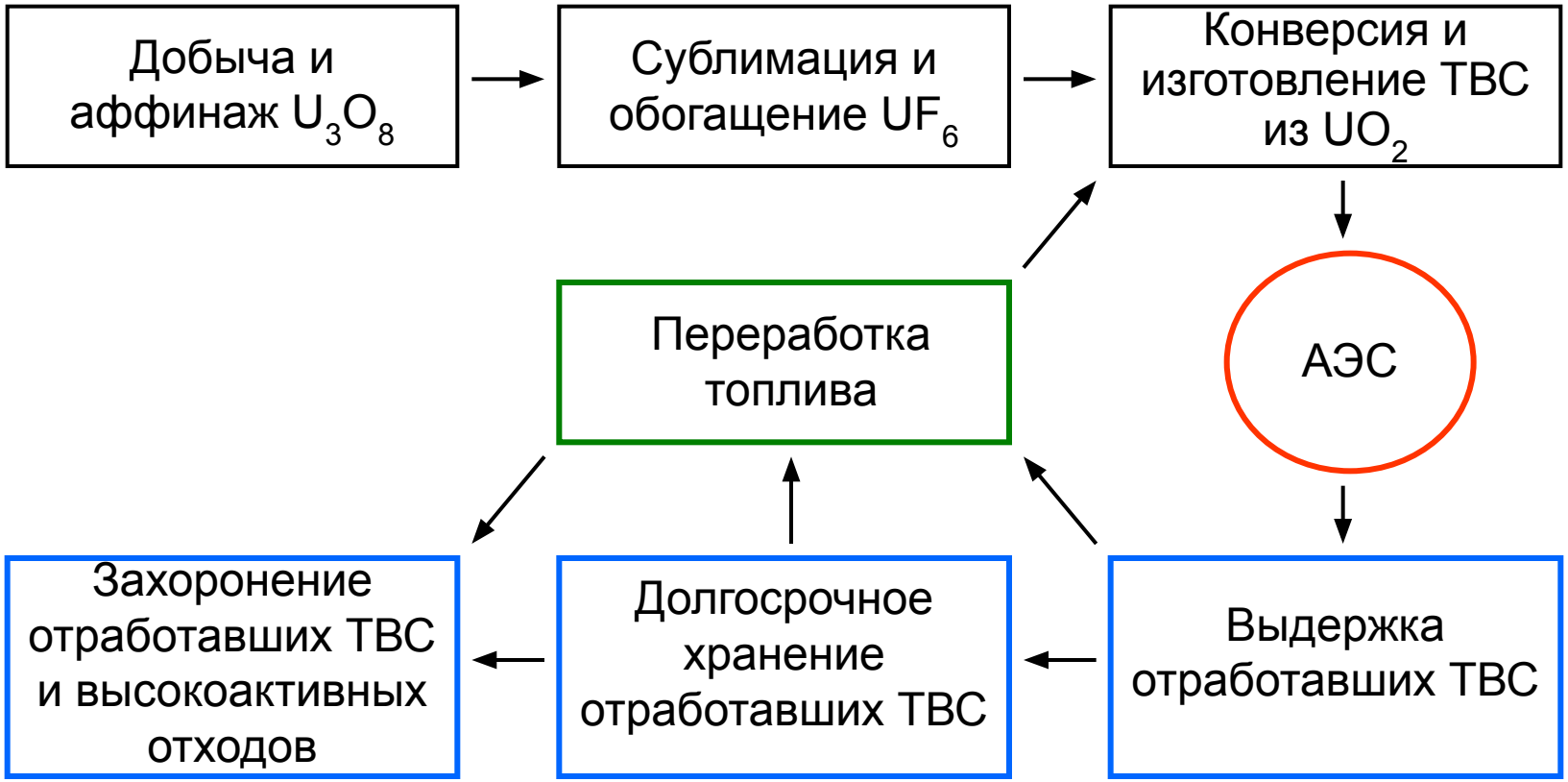
$^{238}U + n \rightarrow {}^{239}Pu$

$^{232}Th + n \rightarrow {}^{232}U$

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	Urenko	Центробежный	5,85
Япония	JNFL	Центробежный	1,05
КНР	CNEIC	Газодиффузионный Центробежный	0,6 1,0
Бразилия	INB	Центробежный	0,1

Планы стран по развитию центрифужной технологии оборащения урана

Страна	Фирма, организация	Год	Производительность, млн е.р.р./год
Россия	«Росатом»	2010	Увеличение на 30%
США	USEC Inc. LES	2010 2008 2012	3,5 1 3
Франция	«Кожема»	2007	3
Великобритания, Германия, Нидерланды	Urenko	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

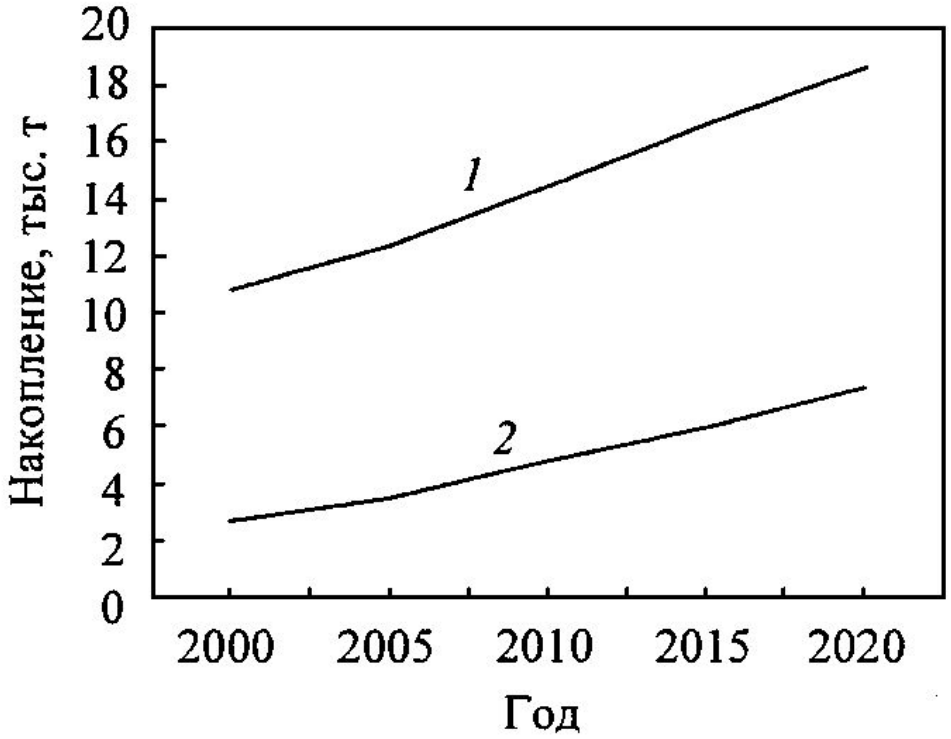
Лучшие мировые и российские показатели топливоиспользования

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 производительнос-ти до 1700 т без дальнейшего наращивания мощности
Россия	ВВЭР, БН-600, транспортные, исследовательские реакторы	400	Снижение6 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_3O_8
Конверсия	Низкоактивные отходы	33-112
Обогащение	Низкоактивные отходы	39
Изготовление топлива	Низкоактивные отходы	3-9
Эксплуатация реактора	Низкоактивные отходы Среднеактивные отходы	86-130 22-33
Промежуточное хранение топлива и перевод на сухое хранение	Низкоактивные отходы Среднеактивные отходы	2 0,2
Переработка топлива с удалением отходов (замкнутый ЯТЦ)	Низкоактивные отходы Среднеактивные отходы Высокоактивные отходы	70-95 20-32 3-4
Капсулирование и окончательное удаление топлива (открытый ЯТЦ)	Низкоактивные отходы Среднеактивные отходы Высокоактивные отходы	0,01 $м^3$/т 0,2 $м^3$/т 1,5 $м^3$/т
Вывод из эксплуатации:		
установок по конверсии	Низкоактивные отходы	92
установок по обогащению	Низкоактивные отходы	5
линий по производству ТВС	Низкоактивные отходы	6
реактора	Низкоактивные отходы Среднеактивные отходы	175-230 9
установок по переработке топлива и остекловыванию отходов	Низкоактивные отходы Среднеактивные отходы	5 0,8

Спасибо за внимание!

Спасибо за внимание!