

**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.

---

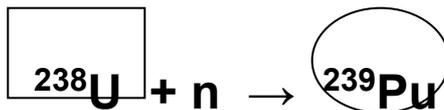
1 г U  $\approx$  600 кг угля.

# Ядерное топливо и сырьё воспроизводства

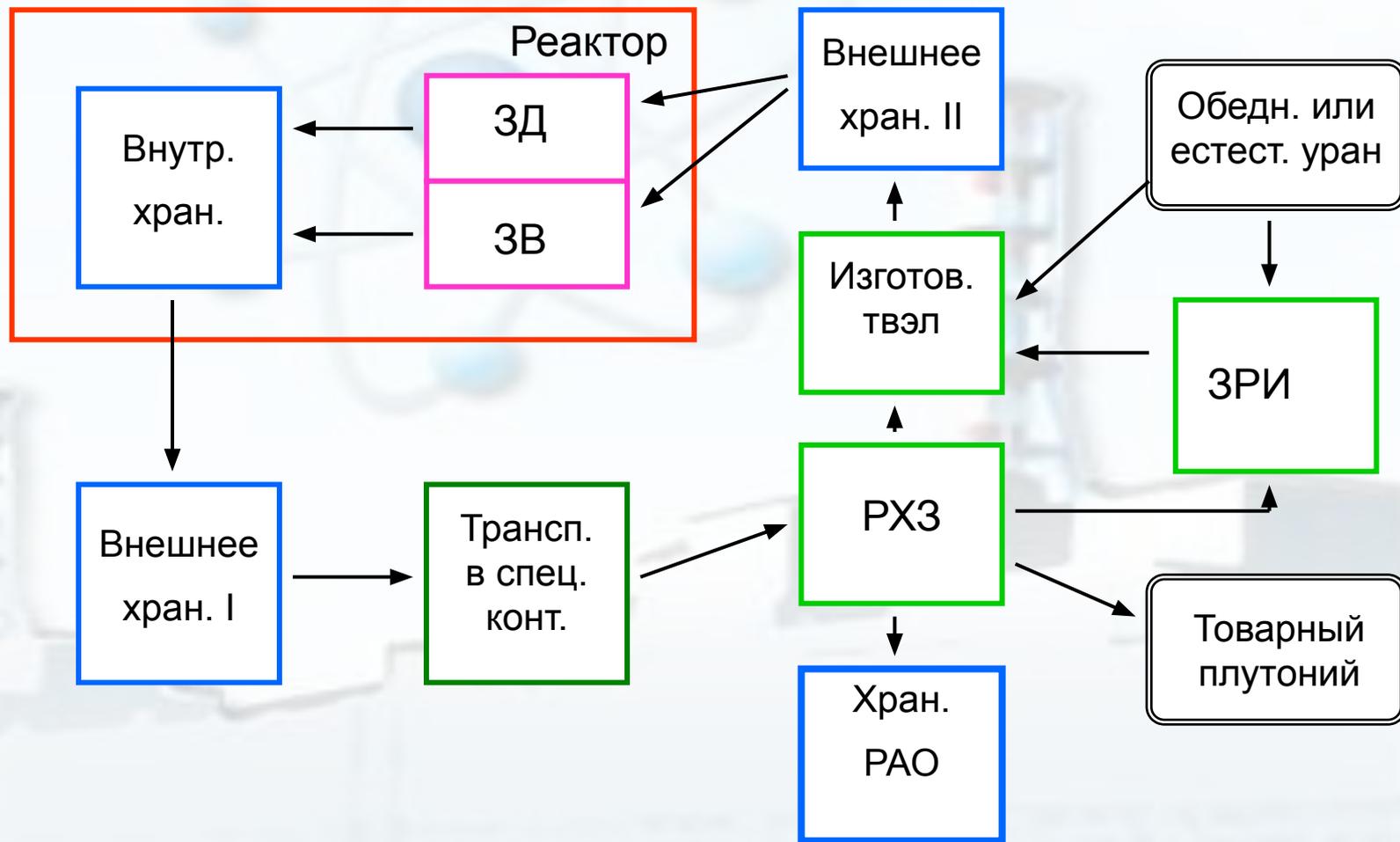
$^{238}\text{U}$  – 99,282 %,  $^{238}\text{U}$

$^{235}\text{U}$  – 0,712 %,  $^{235}\text{U}$

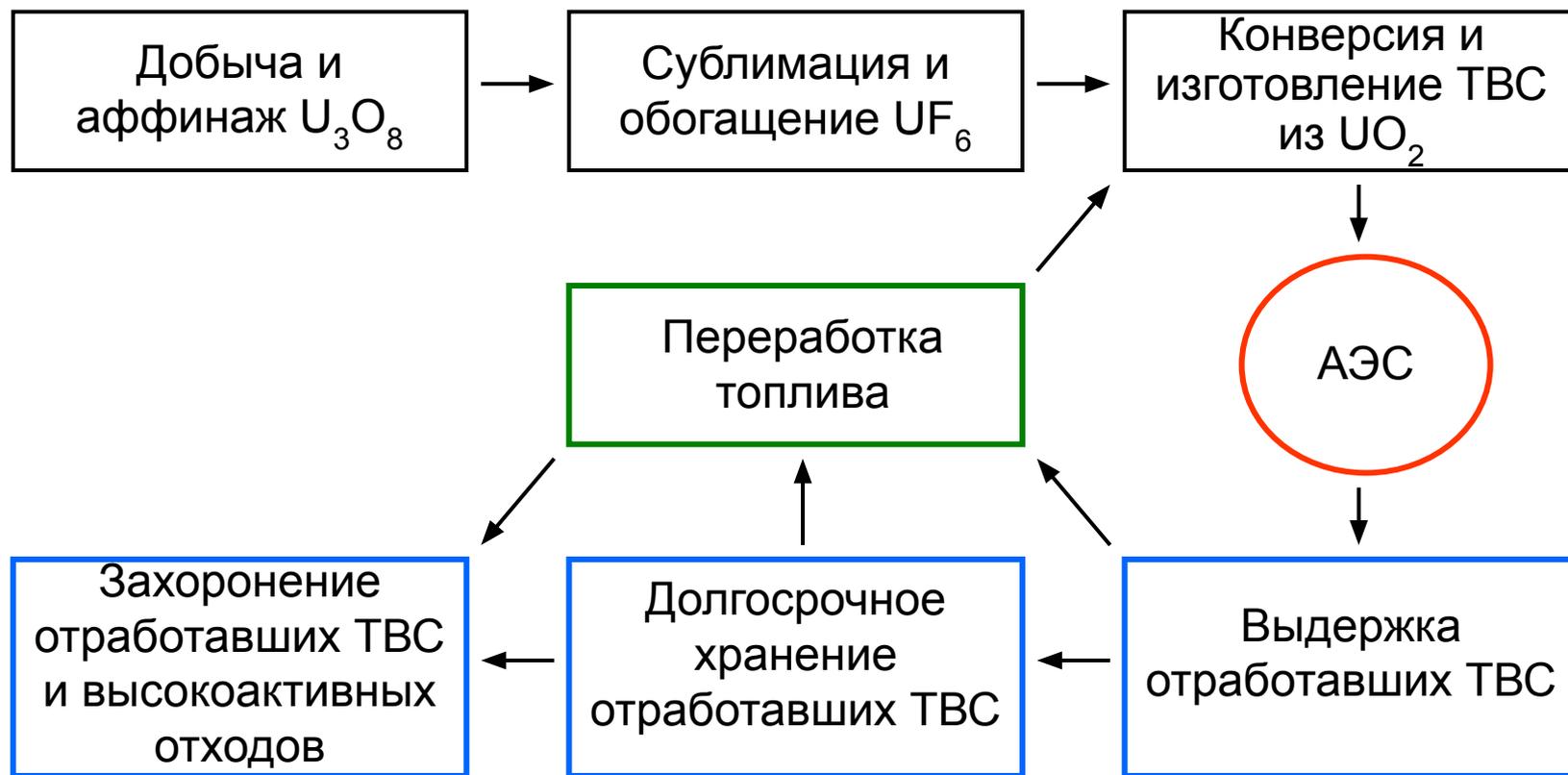
$^{234}\text{U}$  – 0,006 %.



# 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

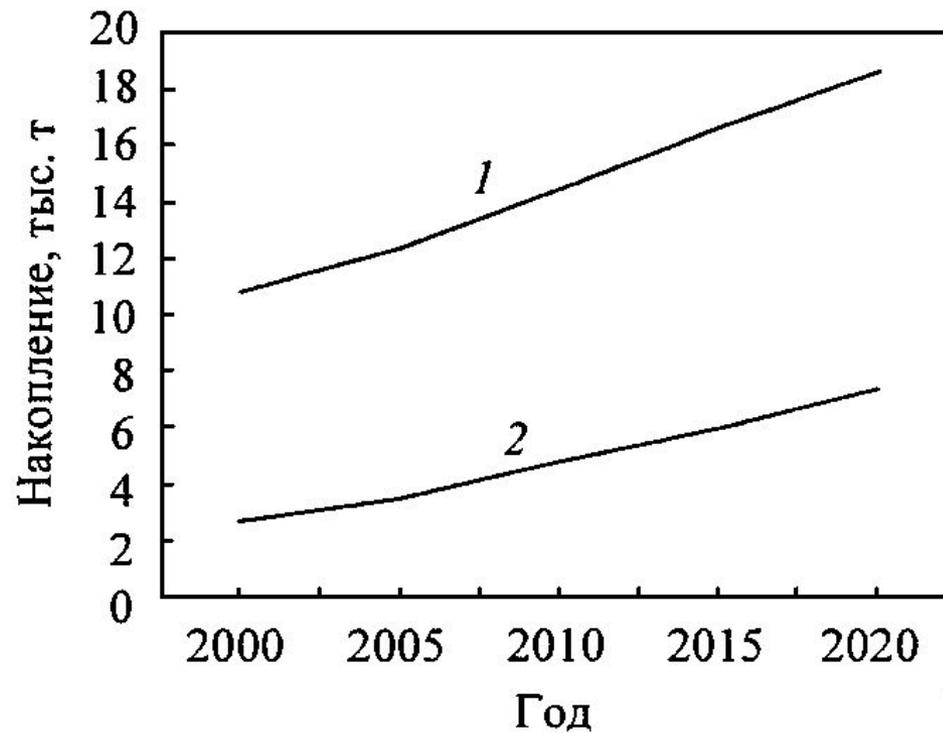
# Лучшие мировые и российские показатели топливоиспользования

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	Заккрытие 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	Объем, м <sup>3</sup> /год на 1 ГВт
Добыча и обработка руды	Урановые хвосты и низкоактивные отходы	254-300 м <sup>3</sup> на 1 т U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
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 <sup>3</sup> /т
	Среднеактивные отходы	0,2 м <sup>3</sup> /т
	Высокоактивные отходы	1,5 м <sup>3</sup> /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	175-230
	Среднеактивные отходы	9
установок по переработке топлива и остекловыванию отходов	Низкоактивные отходы	5
	Среднеактивные отходы	0,8



**Спасибо за внимание!**