

**ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Кафедра Промышленной теплоэнергетики**

**ПРОИЗВОДСТВО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА.  
ОБОГАЩЕНИЕ УРАНА.**

Студент группы М-ТЭ-18-1

Горбатовых Екатерина

Липецк 2019 г.

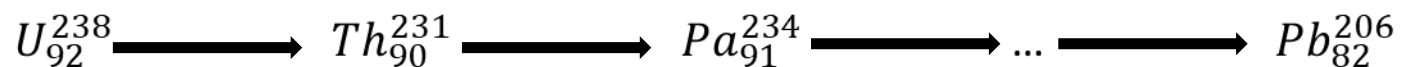
<b>U</b>	<b>92</b>
УРАН	2
238,029	9
	21
	32
	18
	8
$5f^3 6d^1 7s^2$	2

**Уран** – химический элемент с атомным номером 92 в периодической системе, атомная масса – 238,029.

Состав природного урана:

$^{238}\text{U}$  - 99,28%;  $^{235}\text{U}$  - 0,714%;  $^{234}\text{U}$  - 0,006%

Радиоактивное семейство урана:



Немецкий химик  
Мартин Генрих Клапрот





# ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ



Последовательность всех технологических процессов, связанных с получением энергии в ядерных реакторах. От добычи урана до захоронения радиоактивных отходов.



Добыча урановой руды  
(получение сухого уранового концентрата – «желтого кека»)



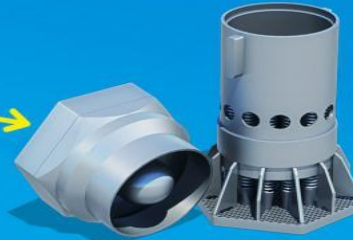
Очистка от примесей (аффинаж)



Конверсия урана



Обогащение урана



Производство ядерного топлива



Производство MOX-топлива

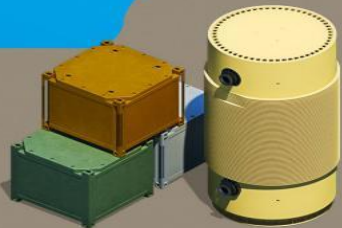
MOX топливо – это смешанное ядерное топливо (уран и оксид плутония).

Его можно получить путем переработки отработанного ядерного топлива.

## ЗАКРЫТЫЙ топливный цикл

ОТРАБОТАВШЕЕ ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО ПЕРЕРАБАТЫВАЕТСЯ И ВОЗВРАЩАЕТСЯ НА АЭС.

Он экономически выгоден, так как можно использовать уже отработанное ядерное топливо. К тому же при нем образуется значительно меньше радиоактивных отходов, что повышает безопасность в работе с ядерными отходами.



Захоронение отработанного ядерного топлива



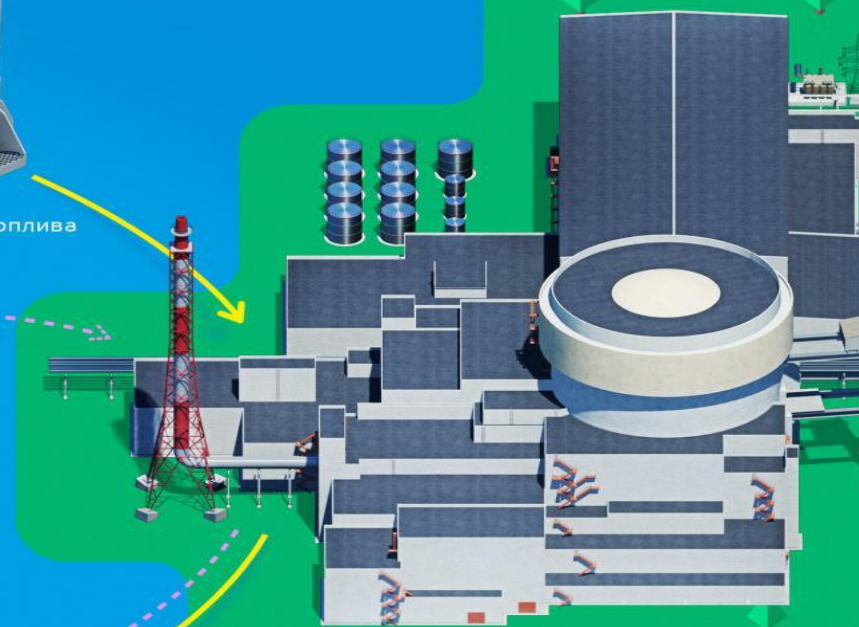
Выдержка отработанного ядерного топлива в бассейнах и его переработка



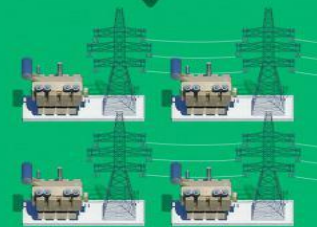
Сервис и обслуживание оборудования АЭС

## ОТКРЫТЫЙ топливный цикл

ОТРАБОТАВШЕЕ ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ПОВТОРНО, А ЗАХОРАНИВАЕТСЯ. Его преимущество – безопасность, так как радиоактивные вещества находятся в твердом состоянии, и нет риска при производстве MOX-топлива на радиохимическом заводе.



ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (АЭС)



Передача электроэнергии

## Добыча урановой руды



Необработанная  
урановая руда

Способы добычи урановой руды:

- подземная (шахтная добыча);
- открытая (карьерная) добыча;
- подземное выщелачивание;
- добыча из морской воды

На первом месте по добыче урановой руды – Казахстан (19500 т/год), Россия лишь на 6-ом месте – (2900 т/год).

Содержание урана в рудах месторождений, находящихся в странах СНГ – 0,05-1%.

На территории России имеются два района, где разрабатываются урановые месторождения:

- Стрельцовский (Читинская область);
- Ставропольский



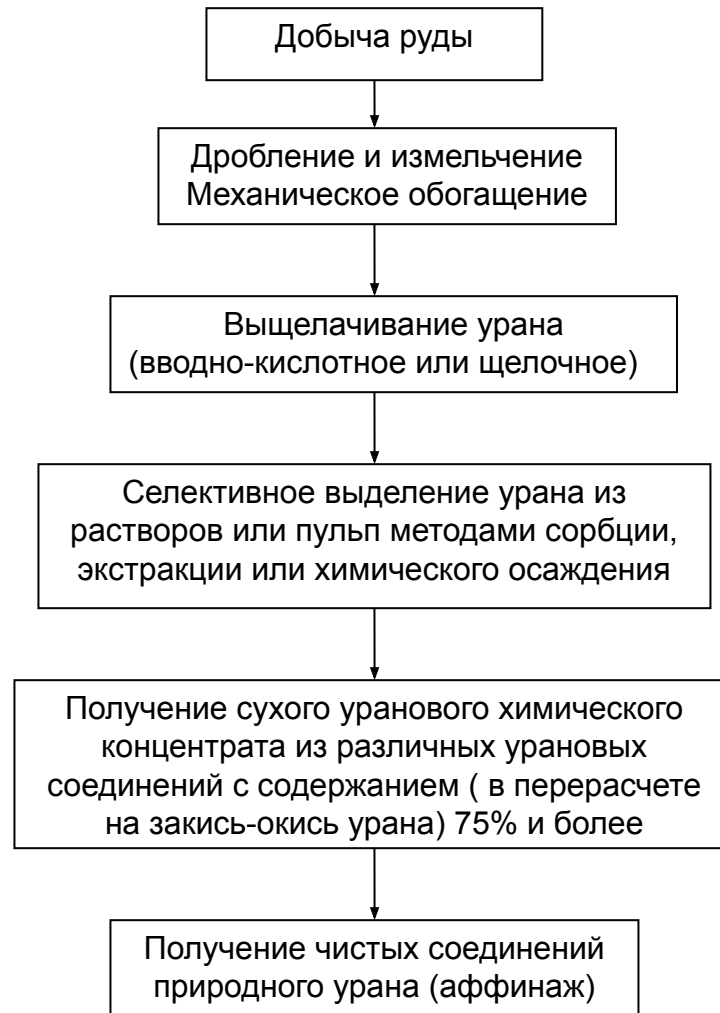
Карьерный способ добычи  
урановой руды



# Гидрометаллургические процессы



Цех измельчения руды

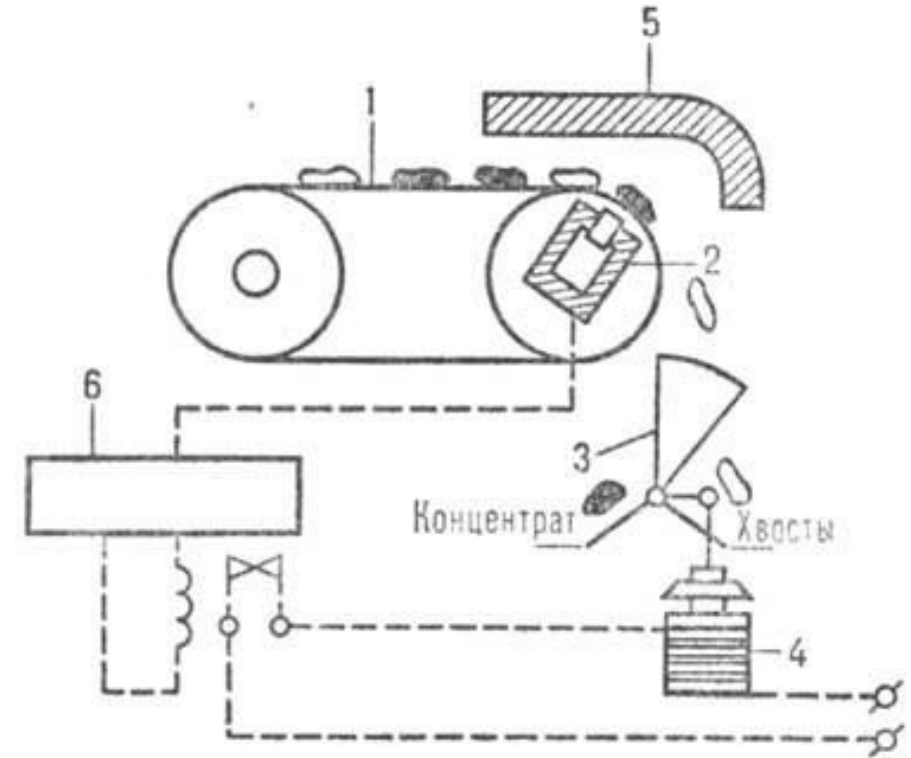


Закись-окись урана



## Методы механического обогащения руд

- **Радиометрическое обогащение** основано на использовании специфического свойства урановых руд – радиоактивности.

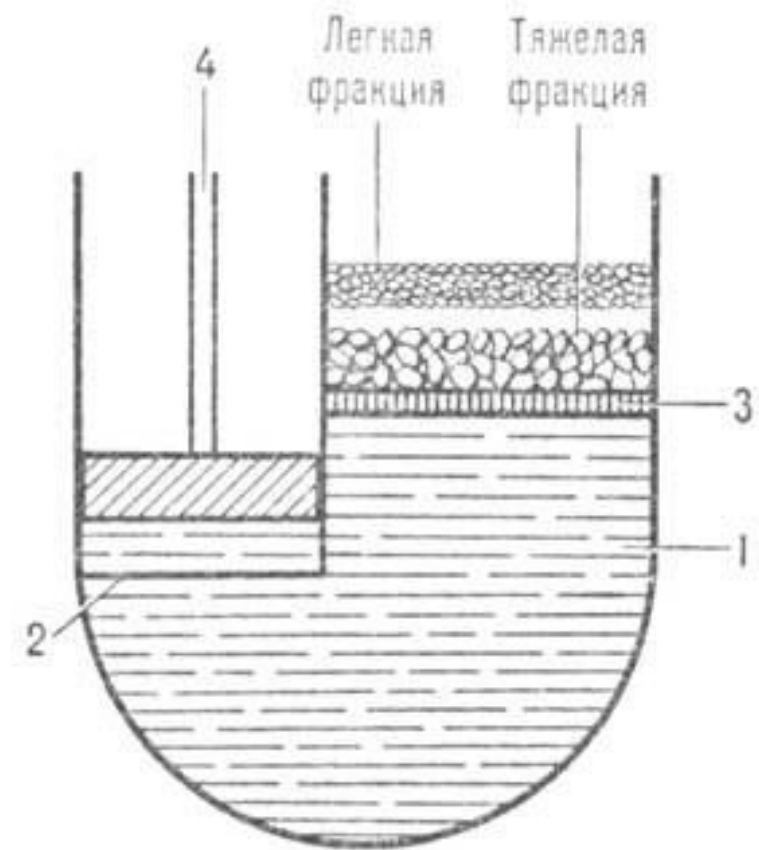


Радиометрический сепаратор:

- 1 - ленточный конвейер; 2-датчик радиометра;
- 3-разделяющий шиберный механизм;
- 4 - электромагнит, поворачивающий шибер;
- 5-экрап; 6-радиометр.

## Методы механического обогащения руд

- **Гравитационной обогащение** основано на разнице плотности урановых материалов ( $6,5-10,5 \text{ г/см}^3$ ) и минералов пустой породы ( $2,5-2,7 \text{ г/см}^3$ ).



Гидравлическая отсадочная машина:  
1 - резервуар (камера); 2 - перегородка;  
3 - решето; 4 - шток с поршнем.

## Методы механического обогащения руд

- **Флотационное обогащение** основано на различии смачиваемости минеральных частиц измельченной руды.

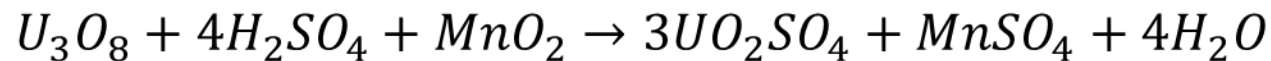
В практике флотации используются следующие типы флотореагентов:

- **Вспениватели**, создающие устойчивую пену.
- **Коллекторы** (собиратели) – вещества, создающие несмачиваемость минерала, они способствуют созданию на поверхности флотируемых минералов гидрофобных пленок.
- **Депрессоры** – вещества, подавляющие флотируемость отдельных минералов, они покрывают поверхность минерала гидрофильной пленкой и препятствуют взаимодействию коллектора с минералом.
- **Активаторы** – вещества, подготавливающие поверхность минерала к взаимодействию с коллектором.
- **Регуляторы среды** – вещества, с помощью которых устанавливают оптимальное значение рН среды: это могут быть сода, известь, щелочи, серная, соляная и другие кислоты.

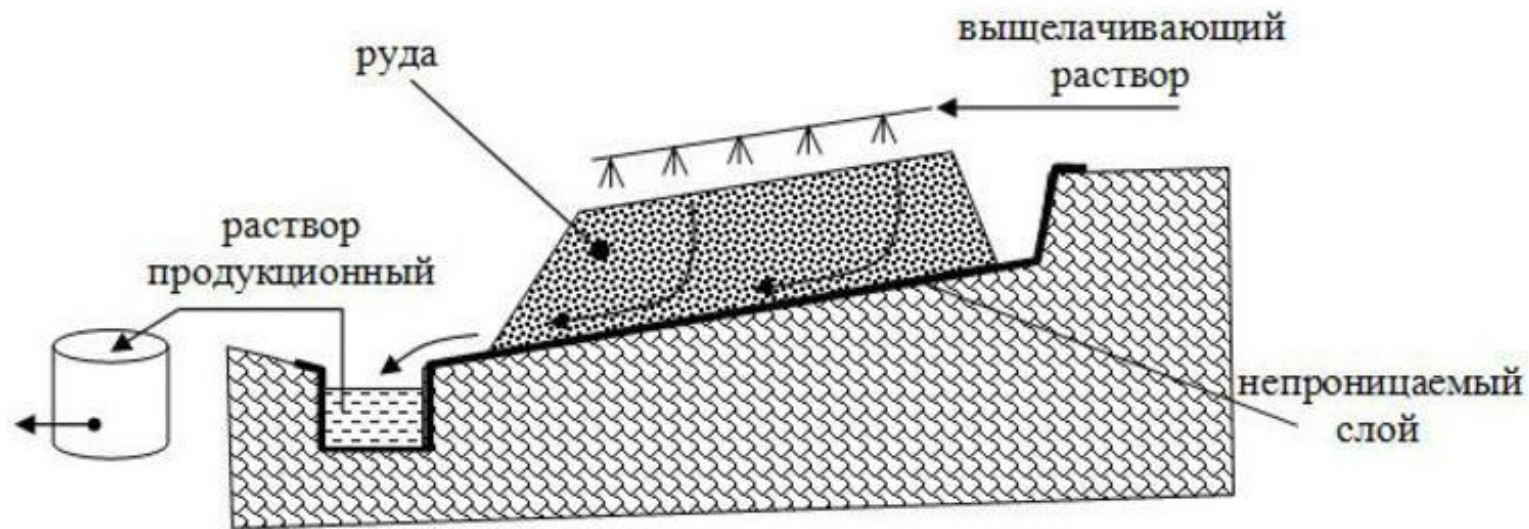


# Выщелачивание урана

Главная цель – селективно (избирательно) вскрыть урановые минералы и получить глубокое извлечение урана из обогащенной руды.



- Перколяционный способ
- Агитационный способ



Перколяционный способ выщелачивания урана

Продуктом выщелачивания урана из руды является раствор или пульпа с более некоторой концентрацией урана.

# Селективное извлечение урановых соединений из растворов или пульп

Осветление растворов:

- ✓ отстаиванием в больших резервуарах;
- ✓ фильтрацией отстоянного раствора через слой песка, силикагеля, активированного угля

- **Сорбция на органических ионообменных смолах**

*СОРБЦИЯ – поглощение твердым телом или жидкостью какого-либо вещества из окружающей среды.*

На поверхности сферических гранул смолы сорбируются преимущественно урановые соединения.

*ДЕСОРБЦИЯ – удаление из жидкостей и твердых тел веществ, поглощенных при сорбции.*

Процесс смывания урана с поверхности смолы называется десорбцией. В качестве промывочной жидкости используют нейтральные или щелочные содовые растворы.



Сорбционный каскад

# Селективное извлечение урановых соединений из растворов или пульп

- **Экстракция органической жидкостью, не смешивающейся с водой**

ЭКСТРАКЦИЯ основана на свойстве некоторых органических растворителей, не смешивающихся с водой, образовывать с солями урана комплексные химические соединения.

РЕЭКСТРАКЦИЯ – растворение комплексных ураносодержащих химических соединений в избытке растворителя и получение концентрированного уранового раствора.

- **Химическое осаждение из растворов**

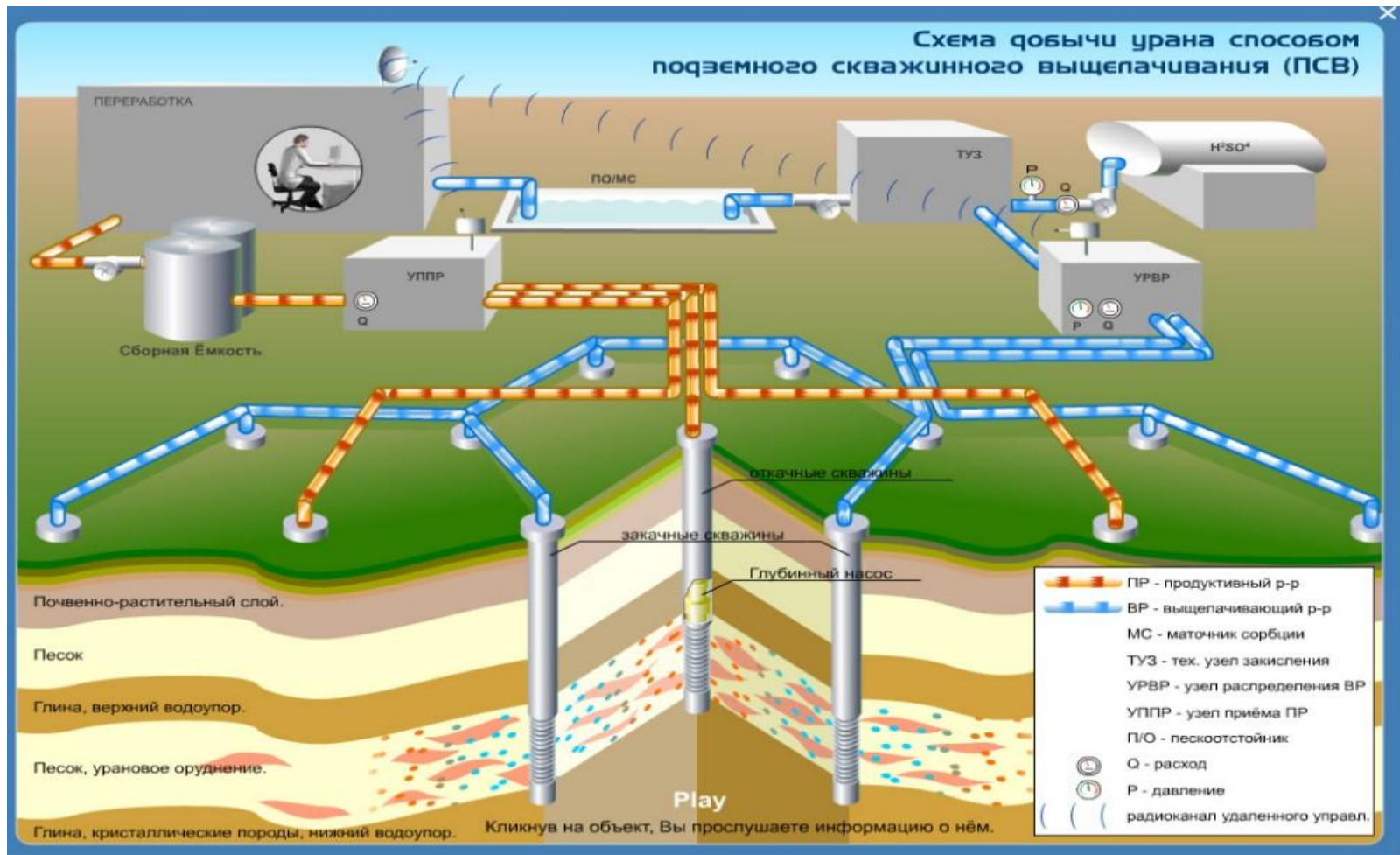
Осаждение химических соединений урана из раствора осуществляется добавлением в него соответствующих реагентов ( $H_2O_2$ ,  $NH_4OH$ ,  $NaOH$ ,  $MgO$ ).

В результате образуются малорастворимые гидраты оксидов урана  $(UO_x) \cdot nH_2O$ , которые выпадают в осадок на дно резервуара и могут быть отделены от жидкой фазы.

# Подземное выщелачивание урана

Подземное выщелачивание предполагает:

1. бурение системы закачных и откачных скважин в рудные тела урановых месторождений
2. закачивание в пласты урановых руд жидких реагентов для растворения урановых соединений
3. откачивание полученных растворов через откачные скважины после определенной выдержки
4. переработка урановых растворов (сорбция-десорбция, экстракция-реэкстракция, химическое осаждение)



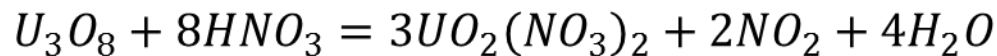


# Аффинаж и получение из концентратов ядерно-чистого урана

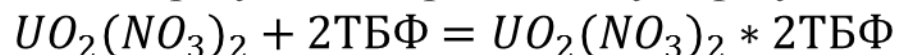
## • Экстракционная очистка

Экстрагент – *титробутилфосфат* (ТБФ)  $(C_4H_9O_3)_3PO$

Сухие химические концентраты урана растворяются в водном растворе азотной кислоты:



Подкисленный водный раствор уранилнитрата смешивается с разбавленным ТБФ, образующим органическую фазу для экстракции:



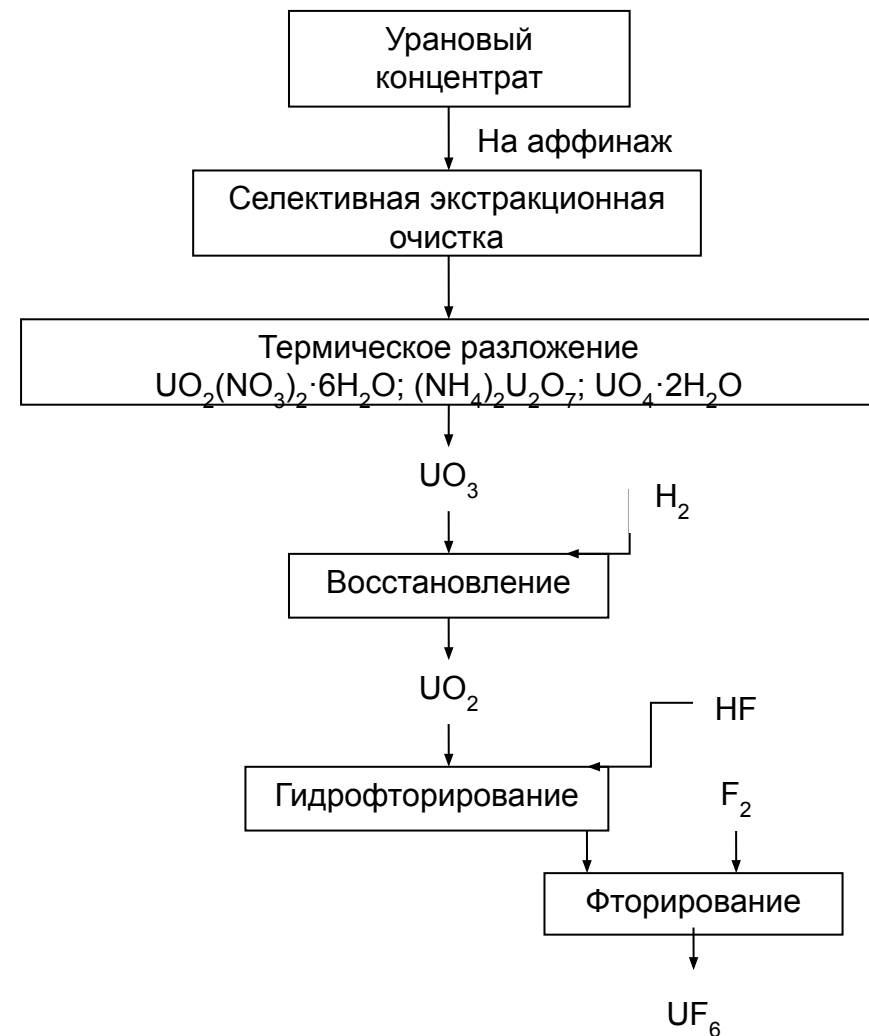
Для тонкой очистки применяется осаждение  $H_2O_2$ , в результате образуется  $UO_4 * 2H_2O$ .

Гексафторид урана  
в твердой фазе



## • Очистка с применением $NH_4HCO_3$

Растворение в бикарбонате аммония и последующее осаждение в виде аммонийуранилтрикарбоната урана. Из этого вещества при прокаливании получают:  $UO_3$ ,  $U_3O_8$  и  $UO_2$ .



# Разделение изотопов

- Метод газовой диффузии

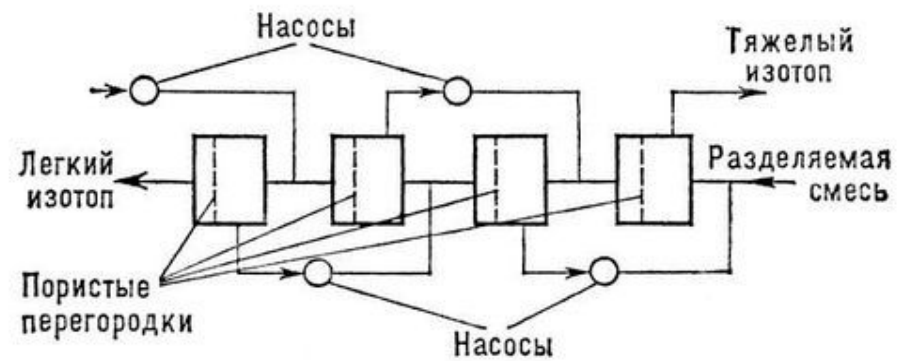
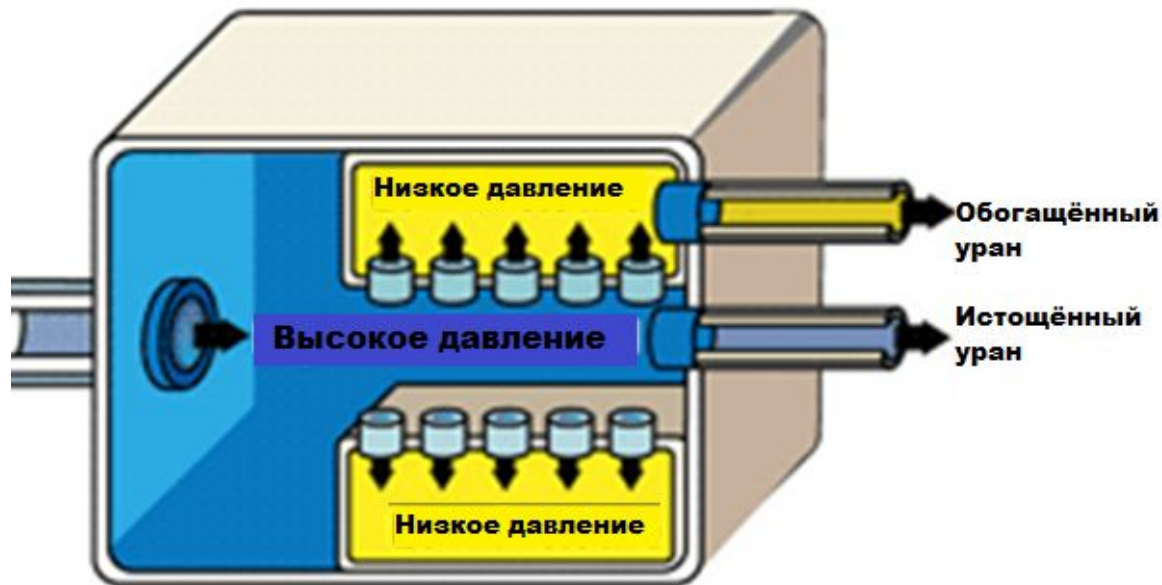
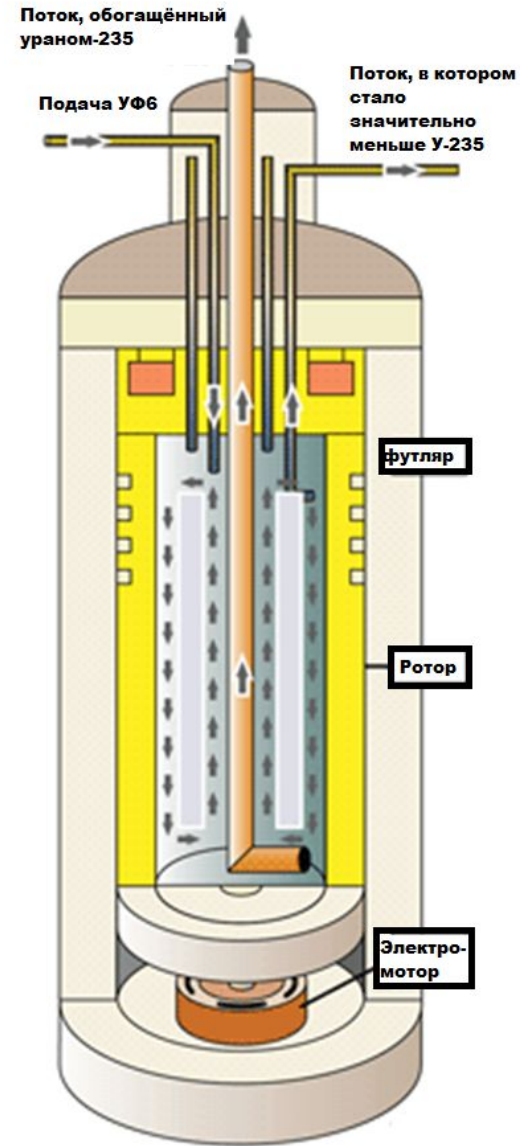


Схема противоточного каскада

# Разделение изотопов

- Центрифугирование



# Производство тепловыделяющих сборок (ТВС)



Урановые таблетки



Тепловыделяющая сборка