



# Эксплуатация и ремонт оборудования предприятий атомной промышленности

## Лекция 18

- Оборудование ядерного цикла

Гр 0491-0492

Преподаватель: доцент, к.т.н. Ворошилов Федор Анатольевич

Томск 2024

# ЯЭК: Ядерно-топливный цикл



## Основные стадии ЯТЦ

1. Добыча урановой руды и извлечение из нее урана.
2. Изготовление ядерного топлива:
  - а) получение уранового концентрата в виде  $U_3O_8$  (окта-оксид урана);
  - б) конверсия  $U_3O_8$  в  $UF_6$  (гексафторид урана);
  - в) обогащение урана изотопом  $^{235}U$ ;
  - г) изготовление твэлов и ТВС.
3. Использование ядерного топлива в ядерных реакторах различного типа (промышленных, энергетических, исследовательских).
4. Временное хранение облученных ТВС (ОТВС) на АЭС.
- 5а. Открытый ЯТЦ: Транспортировка и захоронение ОТВС в геологических формациях.
- 5б. Замкнутый ЯТЦ: Транспортировка и химическая переработка ОТВС.
6. Выделение радиоактивных отходов (РАО), их переработка и захоронение.
7. Многократный возврат (рецикл) регенерированного урана и вторичного ядерного топлива на стадию изготовления твэлов и ТВС.

# Нормы и правила

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору постановляет:

- Утвердить и ввести в действие с 1 декабря 2006 г. прилагаемые федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии "Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов объектов ядерного топливного цикла" (НП-070-06).
- Оборудование и трубопроводы ОЯТЦ должны быть классифицированы на группы в соответствии с классами безопасности. Первая группа соответствует 1 классу безопасности, вторая группа - 2 классу, третья группа - 3 классу, четвертая группа - 4 классу.

# Нормы и правила

Предприятия ядерно-топливного цикла предназначены для переработки и обработки радиоактивных и делящихся материалов, предъявляет особые требования к проведению монтажа, эксплуатации и ремонта оборудования, как в части организации работ, так и в части их исполнения.

«Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009) и «Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» (ОСП 72/87), «Основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ 99/2010). Эти документы устанавливают нормы и правила, регламентирующие эксплуатацию предприятий и действий персонала.

Проектирование оборудования ведут в соответствии с требованиями ОСТ 95.10439-2002 «Оборудование для работы с радиоактивными средами. Общие технические требования. Приёмка. Эксплуатация и ремонт» ОСТ 95.10440-2002 «Оборудование для работы с радиоактивными средами. Сварные соединения. Типы, конструктивные элементы и размеры», ОСТ 95.10441-2002 «Оборудование для работы с радиоактивными средами. Сварка. Основные положения», ОСТ 95.39-2002 «Оборудование для работы с радиоактивными средами. Сварные соединения. Правила контроля».

# Классификация оборудования и транспортных установок

Оборудование, в котором перерабатывается ядерно-опасный делящийся материал, разделяется на три категории:

- Безопасное оборудование – Б, конструкция которого исключает возможность возникновения самопроизвольной цепной реакции (СЦР) при любых предвидимых условиях.
- Опасное оборудование (О), конструкция которого не исключает возможности возникновения СЦР при нарушении установленных нормативных параметров ядерной безопасности, в основе которых лежит количество или концентрация ядерно-опасного делящегося материала.
- Оборудование с повышенным коэффициентом запаса (ПКЗ).

## Безопасность в аппаратах, содержащих ядерно-опасные делящиеся материалы, обеспечивается:

- - геометрической формой аппарата и его размерами;
- - ограничением количества ядерно-опасных делящихся нуклидов в аппарате;
- - ограничением концентрации ядерно-опасных делящихся нуклидов в аппарате;
- - использованием гомогенных или гетерогенных поглотителей нейтронов;
- - ограничением изотопного или нуклидного состава ядерно-опасного делящегося материала;
- - ограничением количества замедлителя;
- - ограничением, налагаемым на отражатель;
- - комбинацией приведённых выше способов и ограничений;
- - использованием технических мер контроля параметров, влияющих на ядерную безопасность.

В опасных и с повышенным коэффициентом запаса аппаратах ядерная безопасность обеспечивается (класс оборудования О и ПКЗ):

- - в опасных аппаратах (О) установлением норм загрузки (накопления) с одновременным ограничением концентрации ядерно-опасного делящегося нуклида, если норма загрузки (накопления) установлена исходя из допустимого количества. Если норма загрузки (накопления) установлена исходя из безопасного количества, то концентрация ядерно-опасного делящегося нуклида не регламентируется;
- - в аппаратах с повышенным коэффициентом запаса (ПКЗ) установлением нормы загрузки (накопления) ядерно-опасного делящегося материала исходя из безопасного количества;
- - в опасных и с повышенным коэффициентом запаса аппаратах установлением нормы концентрации ядерно-опасных делящихся нуклидов (норма загрузки (накопления) при этом не устанавливается).

Ядерная безопасность может обеспечиваться техническими и административными мерами.

- **Под техническими мерами** следует понимать меры, действие которых происходит независимо от воли человека (например, автоматическое закрытие клапана на линии подачи раствора ядерно-опасного делящегося материала при достижении заданного уровня раствора в ёмкости).
- **Под административными мерами** следует понимать меры, принимаемые руководством и обслуживающим персоналом предприятия. Например, администрация обязана проводить периодическую аттестацию работников, работающих с делящимися материалами, а персонал должен выполнять правила ядерной безопасности и требования технических регламентов
- При обеспечении ядерной безопасности **приоритет** должен отдаваться **техническим мерам**.

Таблица 10.1: Критические параметры делящихся веществ в виде металлов

Критический параметр	U <sup>235</sup>	U <sup>233</sup>	Pu <sup>239</sup>
Масса сферы, кг	22,8	7,5	5,6
Диаметр бесконечного цилиндра, см	7,8	4,8	4,3
Толщина бесконечной пластины, см	1,5	0,7	0,6

Критмасса 100% <sup>235</sup>U – 50 кг.

Критмасса 100% <sup>239</sup>Pu – 15 кг.

Критмасса 100% <sup>233</sup>U – 17 кг.

Эти критмассы получены для металлической сферы без отражателя.

Отражатель снижает критмассу примерно в 2 раза. Критическая масса урана, обогащенного до 20%, составляет ~830 кг.

Критмасса оксидов урана и плутония примерно в 1.5 раза выше критмассы металлов.

# Для растворов

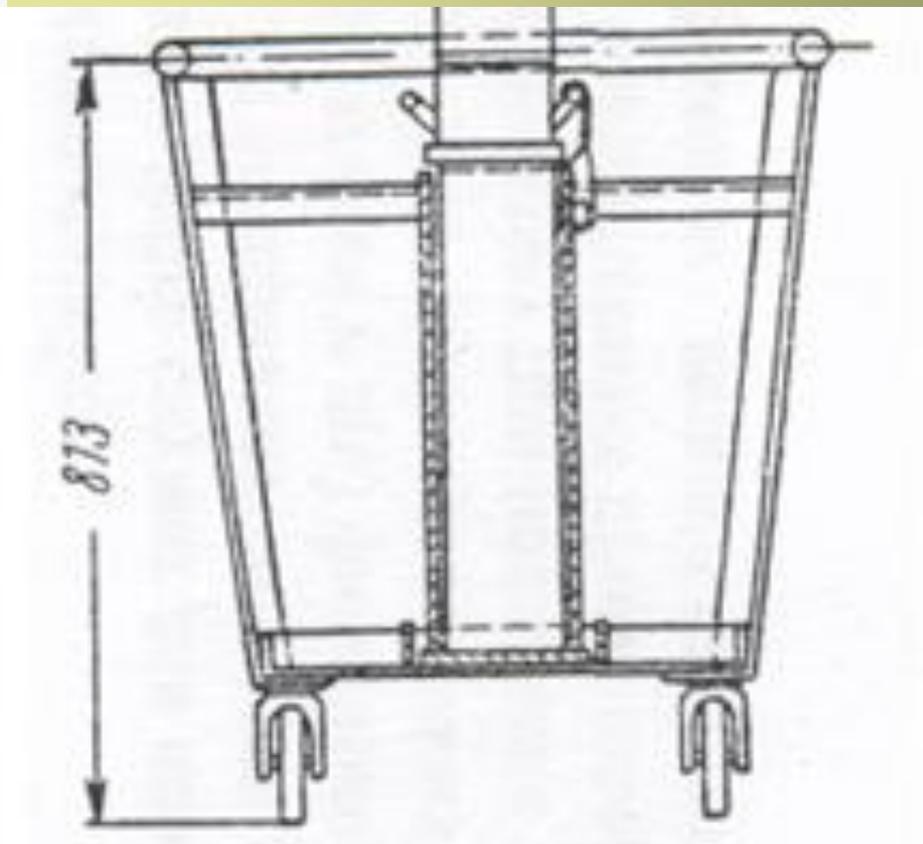
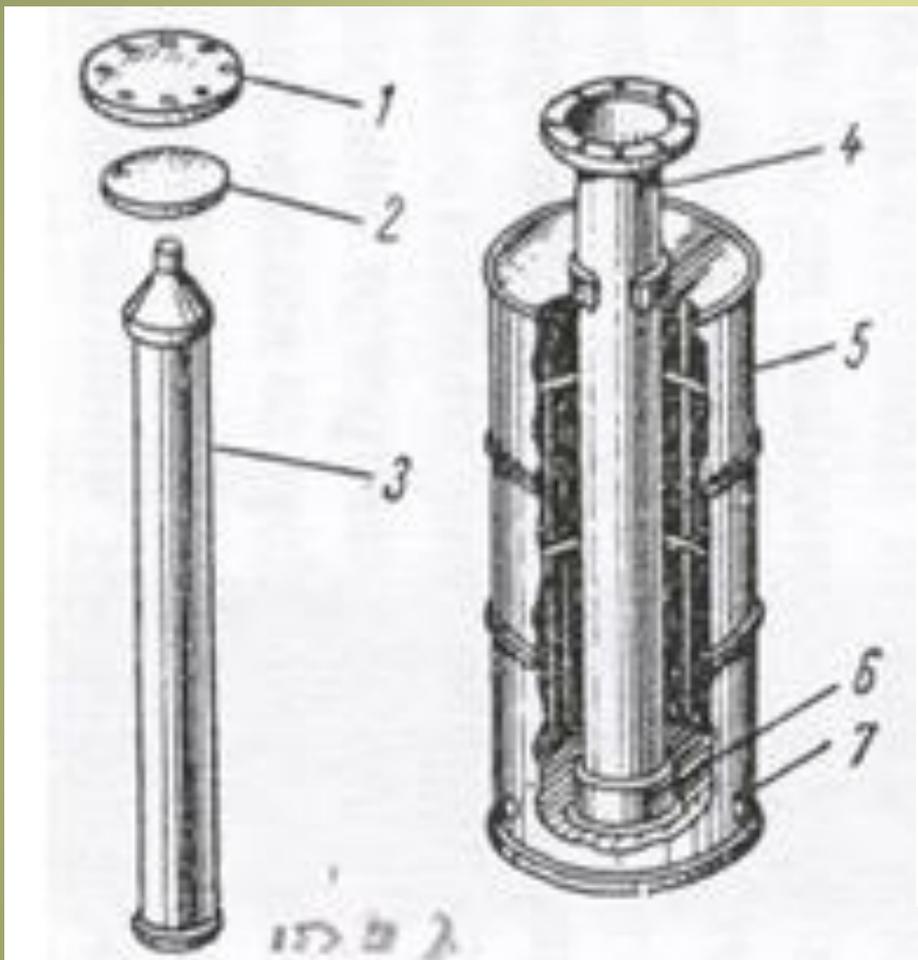
Критические параметры растворов делящихся веществ

Критический параметр	$U^{235}$	$U^{233}$	$Pu^{239}$
Критическая масса, кг	0,82	0,59	0,51
Диаметр бесконечного цилиндра, см	13,7	11,2	12,4
Толщина бесконечной плиты, см	4,3	3,0	3,3
Критический объем, л	6,3	3,3	4,5

# Распределение отказов по типу оборудования на предприятиях ЯТЦ России.

ТИП ОБОРУДОВАНИЯ	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Электро-техническое (ЭТО)	48	50	33	24	23	22	25	31	8
Тепломеханическое (ТМО)	75	92	46	45	84	34	53	46	33
Электронное (ЭЛО)	55	15	23	8	11	8	2	11	10
Контрольно-измерительное (КИП)	17	8	19	12	8	1	4	5	2
Прочие	11	4	19	10	8	4	7	9	-

# Транспортная емкость для растворов урана



максимальный внутренний диаметр для концентрации урана менее 200 г/л – 133 мм, для концентрации более 200 г/л – 127 мм; максимальный объём контейнера 15 л труба длина – 1,27 м, бочка 206 л

# Транспортная емкость для растворов РАО, тип 30В



Нетто – 3000 кг,  
объем - 2,0 м3.

Производство ЗАО «ЭКОМЕТ-С», (г. Санкт-Петербург).

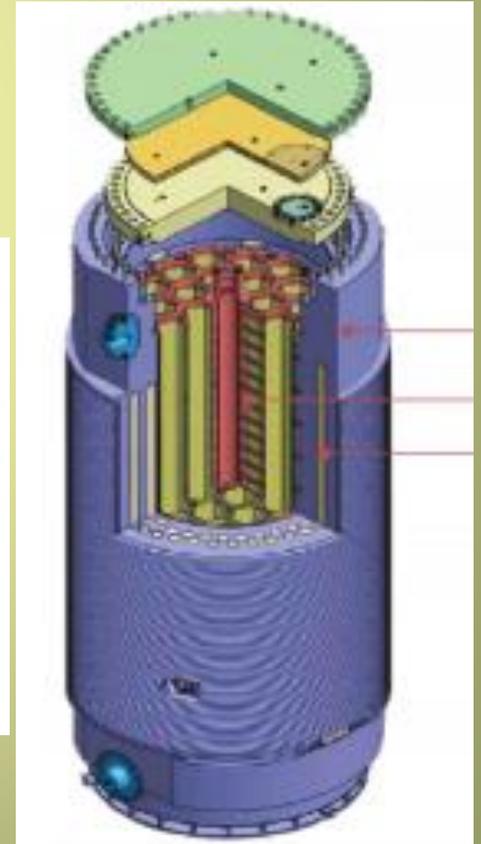
# Транспортный контейнер для урана ТУК-44/4



ТУК-44/4 (Контейнер–бочка V = 200 л) предназначен для хранения и транспортирования концентрата природного урана, в виде порошка закиси-оксида ( $U_3O_8$ ), двуоксида ( $UO_2$ ), тетрафторида ( $UF_4$ ) урана, изготовленного из природного урана с содержанием менее 1 %

## ТУК-141, ТУК-146, ТУК-151

Вместимость по ОТВС, шт.	18
Срок службы ТУК, лет	60
Длительность хранения ОЯТ, лет	60
Диапазон температуры при эксплуатации ТУК, °С	От - 40°С до +38°С (нормативный диапазон) От - 60°С до +50°С (исследованный диапазон)
Полная масса (с ОТВС) ТУК с демпферами, т	До 125
Масса порожнего ТУК с демпферами, т	98
Макс. высота с демпферами (без демпферов), мм	7120 (5860)
Макс. диаметр с демпферами (без демпферов), мм	3120 (2770)



# Оборудование для перевозки по ж/д



Согласно нормативным документам России перевозки материалов с удельной активностью выше, чем 2 мКи/кг, являются радиационными перевозками. Удельная активность ОЯТ ~ 103 Ки/кг.

В процессе транспортирования содержимое нагревается до 200°C

Срок службы контейнеров 20-30 лет

# Перевозка ОЯТ

## Контейнеры для транспортировки ТВС легководных реакторов

Тип реактора	Форма	Масса, т	Диаметр, высота, м	Защита	Масса топлива, т	Число ТВС	Теплоноситель
ВВЭР-440	Вертикальный цилиндр	90	2,3 4,4	Сталь, 40 см	3,8	30	Вода, гелий
ВВЭР-1000	Горизонтальный цилиндр	110	2,1 6,1	Сталь, 41 см	3,0	6	Вода
PWR BWR	-"-	70	1,5 5,4	Сталь, UO <sub>2</sub>	4,0	7(PWR) 18(BWR)	Вода

# Радионуклидный состав сырья марки «РХ»

Наименование изотопа	Вид излучения	Период полураспада, $T_{1/2}$	Мах энергия $\beta$ -излучения, МэВ.	Мах энергия $\gamma$ -излучения, МэВ.
Zr <sup>95</sup>	$\beta$ ; $\gamma$	65 дн.	0,91	0,76
Nb <sup>95</sup>	$\beta$ ; $\gamma$	35 дн.	0,148	0,768
Ru <sup>106</sup>	$\beta$	290 дн.	0,039	-
Rh <sup>106</sup>	$\beta$ ; $\gamma$	30 сек.	3,51	1,54
Ce <sup>144</sup>	$\beta$ ; $\gamma$	282 дн.	0,446	0,231
Pr <sup>144</sup>	$\beta$ ; $\gamma$	17,5 мин.	2,95	0,218
Pm <sup>147</sup>	$\beta$	2,26 года	0,223	-
Sm <sup>147</sup>	$\alpha$	$0,7 \cdot 10^{11}$ лет.	-	-
Sr <sup>90</sup>	$\beta$	19,9 лет.	2,27	-
I <sup>90</sup>	$\beta$	2,54 дн.	2,27	-
Cs <sup>137</sup>	$\beta$ ; $\gamma$	33 года	1,18	0,66
Pu <sup>239</sup>	$\alpha$ ; $\gamma$	$2,4 \cdot 10^4$ лет.	-	0,38
Th <sup>234</sup>	$\beta$ ; $\gamma$	24,1 дн.	0,193	0,09
Pa <sup>234</sup>	$\beta$ ; $\gamma$	1,2 дн.	2,32	0,817

Для оборудования радиохимического производства перед ремонтом дезактивация ведется в течение одного месяца и более.

# Методы переработки ОЯТ

Основные стадии водной экстракционной технологии переработки ОЯТ (технология PUREX)

- Разборка ОТВС и резка ТВЭЛов.
- Предварительное окисление ОЯТ (волоксидация).
- Растворение твэлов и подготовка раствора к экстракции.
- Экстракционная переработка (циклы «экстракция–реэкстракция»).

# Неводная («сухая») технология переработки ОЯТ

- термическое оплавление оболочек твэлов
- фторирование топлива в смеси фтора с азотом
- вымораживание фторидов ПД в фор-конденсаторе
- сорбция на фториде натрия NaF
- десорбция гексафторидов урана  $UF_6$  и плутония  $PuF_6$

## Классификация жидких и газообразных РАО

Категория	Удельная активность, Ки/л	
	Жидкие	Газообразные
Низкоактивные	$\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-13}$
Среднеактивные	$10^{-5} - 1$	$10^{-13} - 10^{-9}$
Высокоактивные	$> 1$	$> 10^{-9}$

## Классификация твердых РАО

Категория	Мощность дозы*, Р/ч	Вид излучения		
		$\alpha$ , Ки/кг	$\beta$ , Ки/кг	$\gamma$ , Гр/ч**
Низкоактивные	$< 0,2$	$2 \cdot 10^{-7} - 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6} - 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-4}$
Среднеактивные	$0,2 - 2$	$10^{-5} - 10^{-2}$	$10^{-4} - 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-4} - 10^{-2}$
Высокоактивные	$> 2$	$> 10^{-2}$	$> 10^{-1}$	$> 10^{-2}$

\* На поверхности.

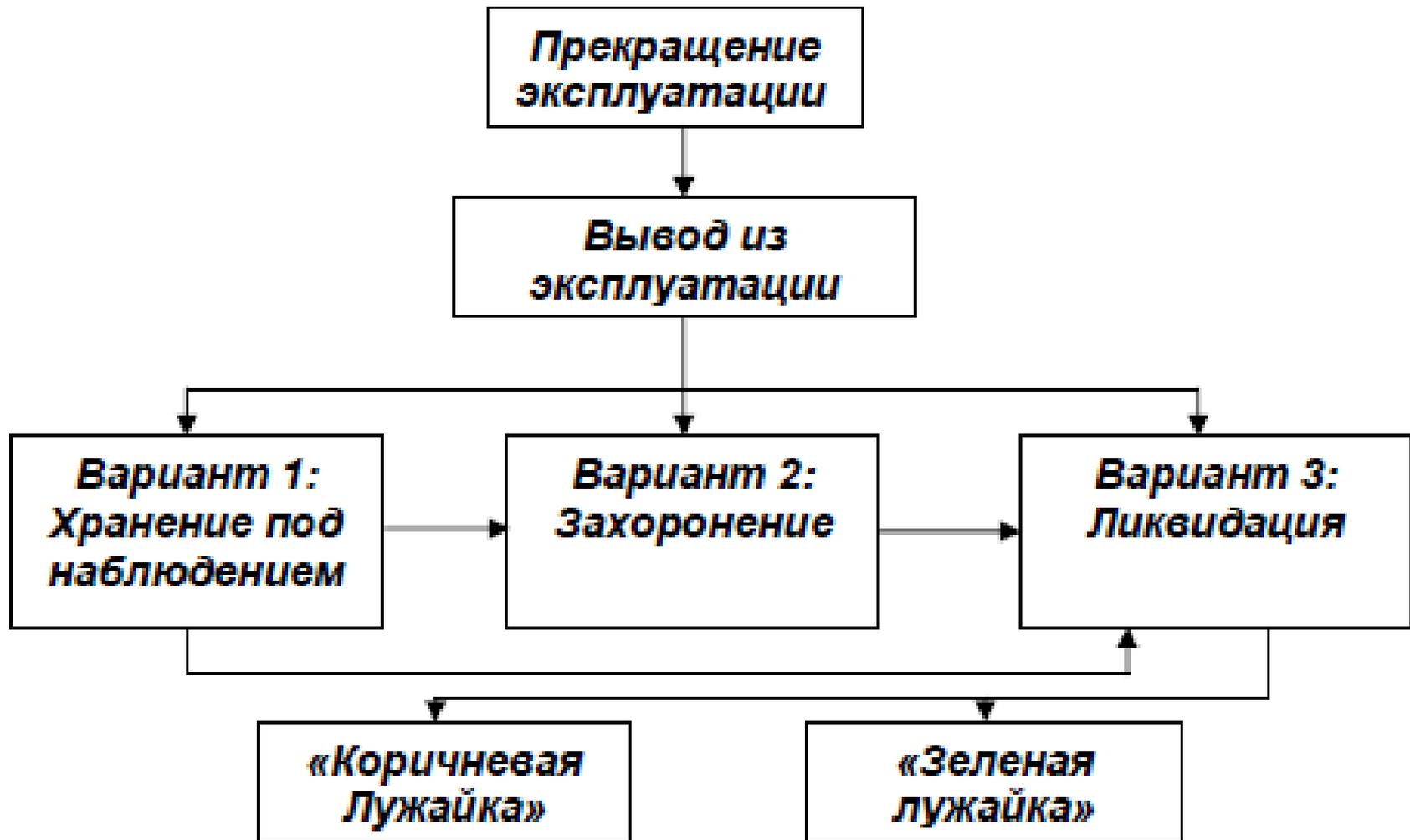
\*\* В 10 см над поверхностью.

# Переработка высокоактивных отходов(ВАО)

Существуют две основные формы ВАО:

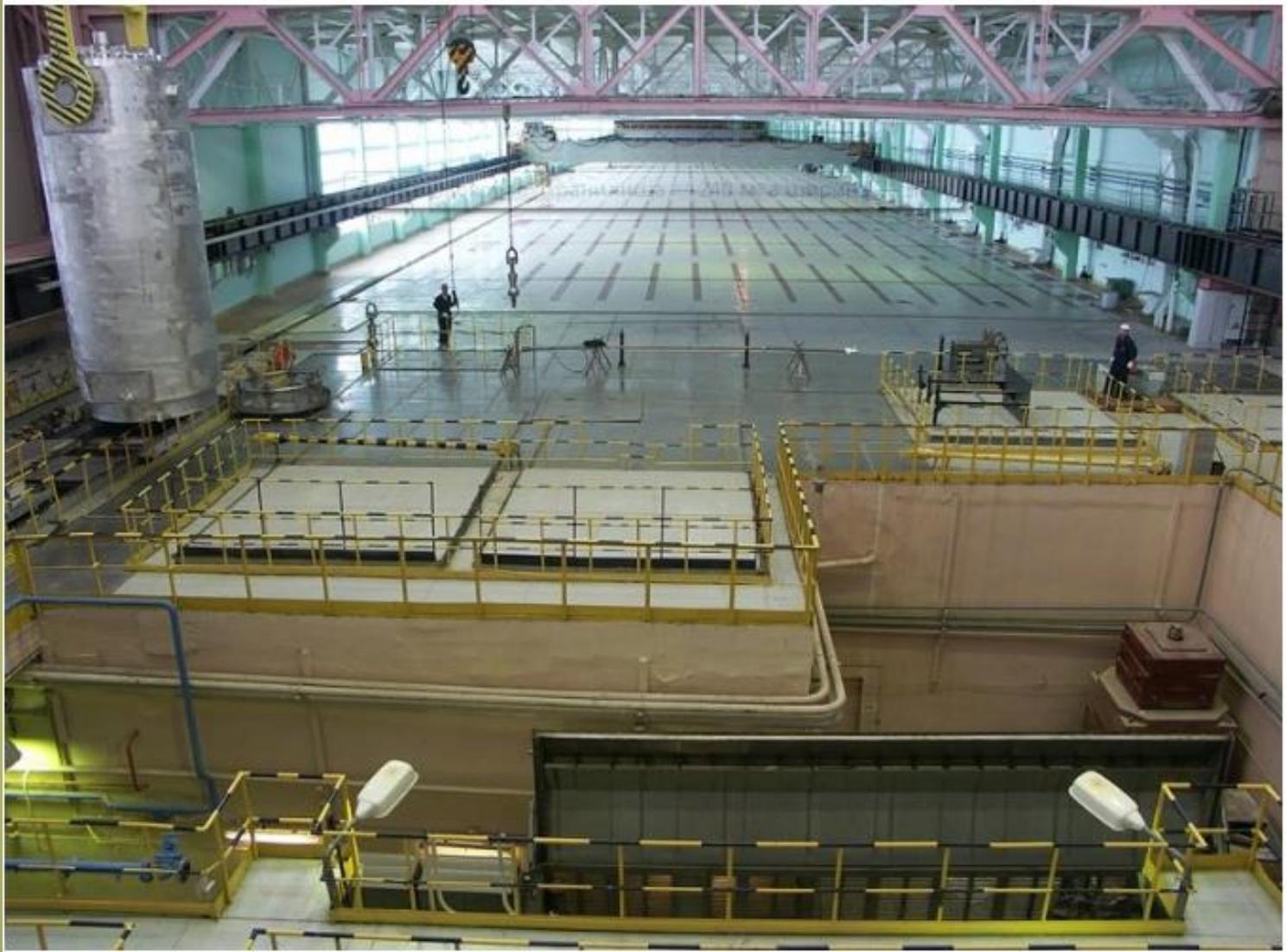
- ВАО химической переработки ОЯТ. Это, главным образом, жидкие отходы, так как промышленная переработка ОЯТ основана преимущественно на водной экстракционной технологии. Известно, что при переработке 1 т ОЯТ энергетических реакторов образуется примерно 45 м<sup>3</sup> жидких ВАО, 150 м<sup>3</sup> жидких среднеактивных отходов и до 2000 м<sup>3</sup> жидких низкоактивных отходов.
- Облученные ТВС (ОТВС) энергетических реакторов.

# Варианты вывода реакторных установок из эксплуатации



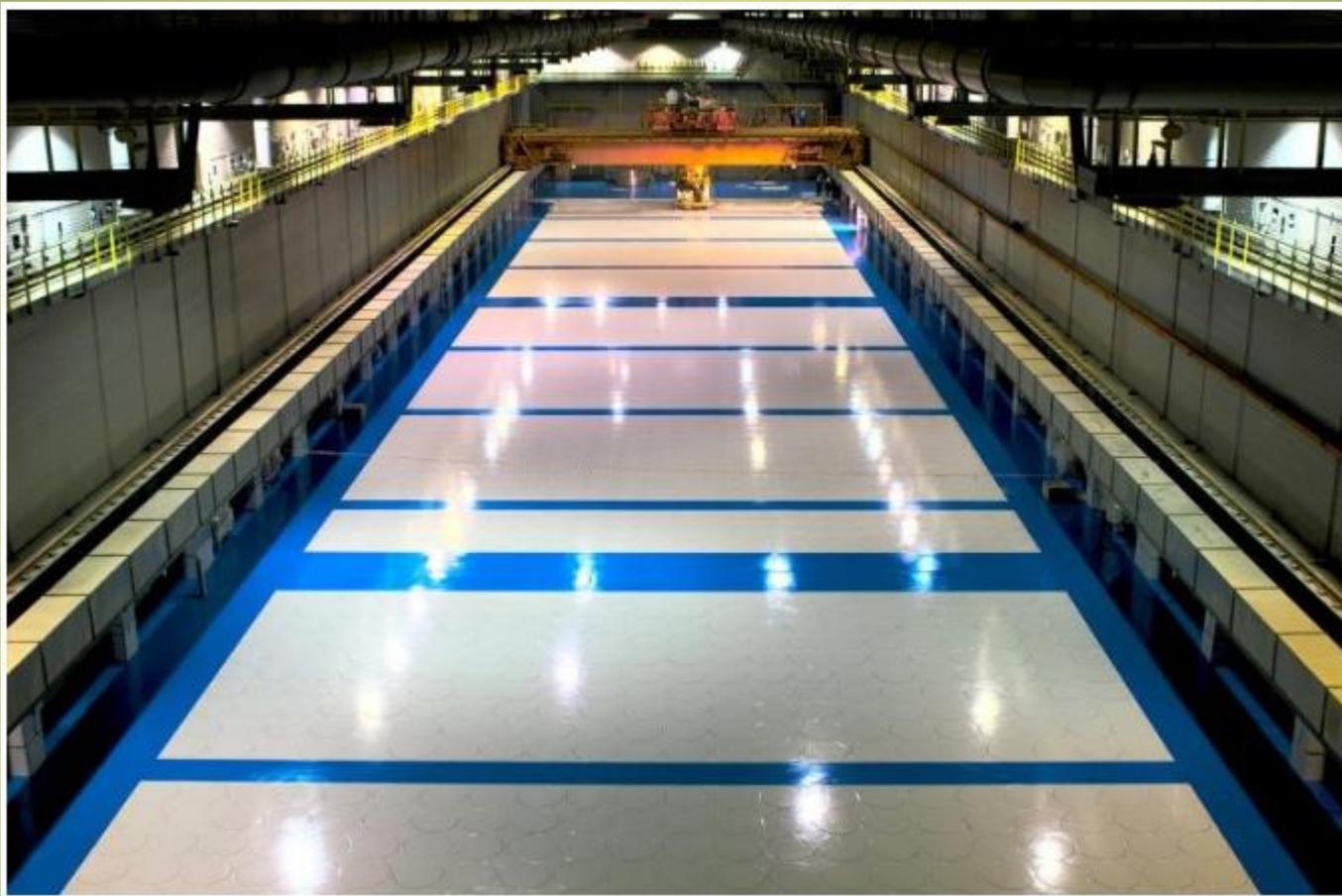
соответствует основным положениям концепции МАГАТЭ.

# Оборудование, ГХК



Мокрое хранилище, длина 240м и ширина 36 м.

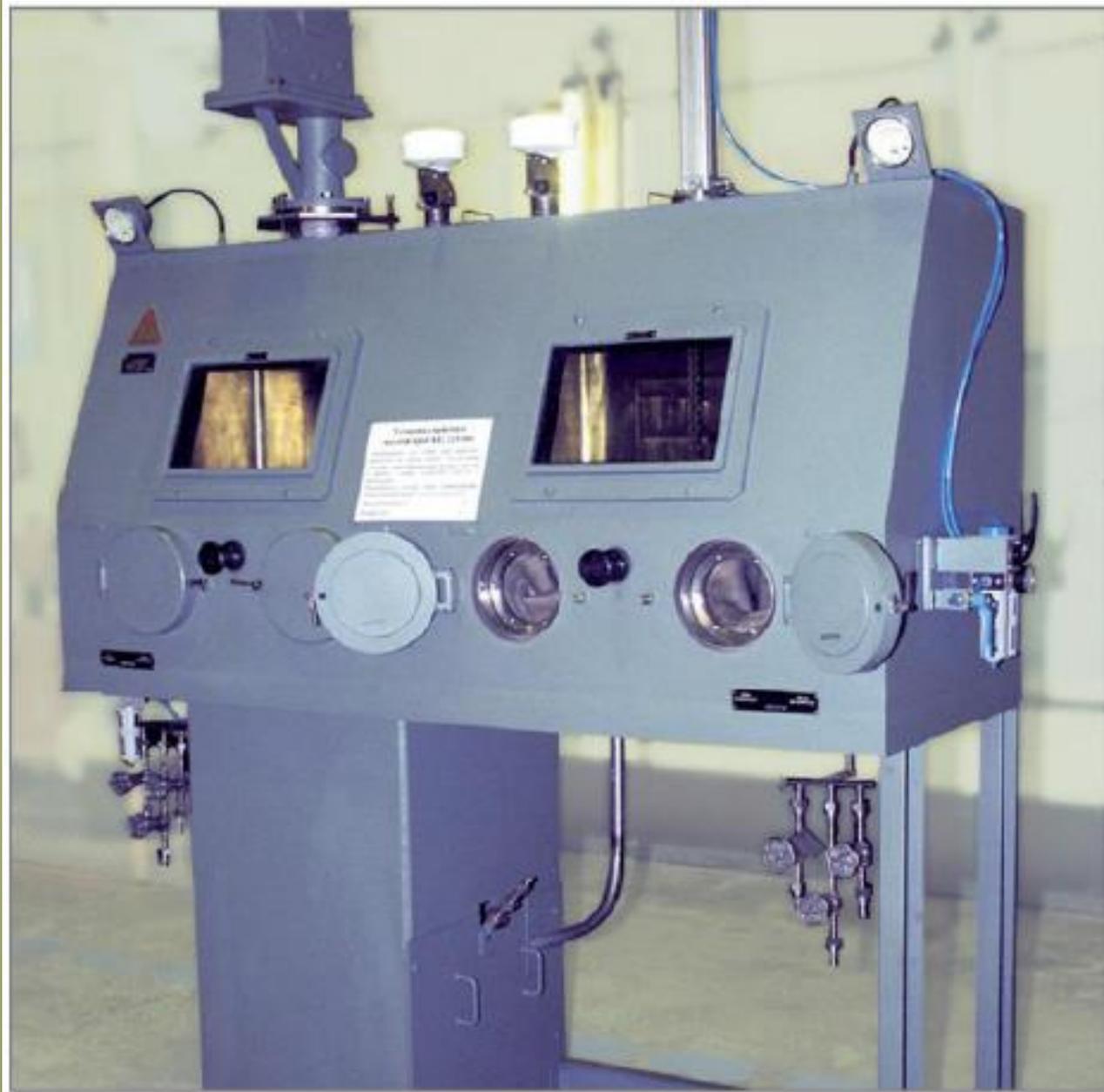
# Оборудование, ГХК



Сухое хранилище, длина 240м и ширина 36 м.

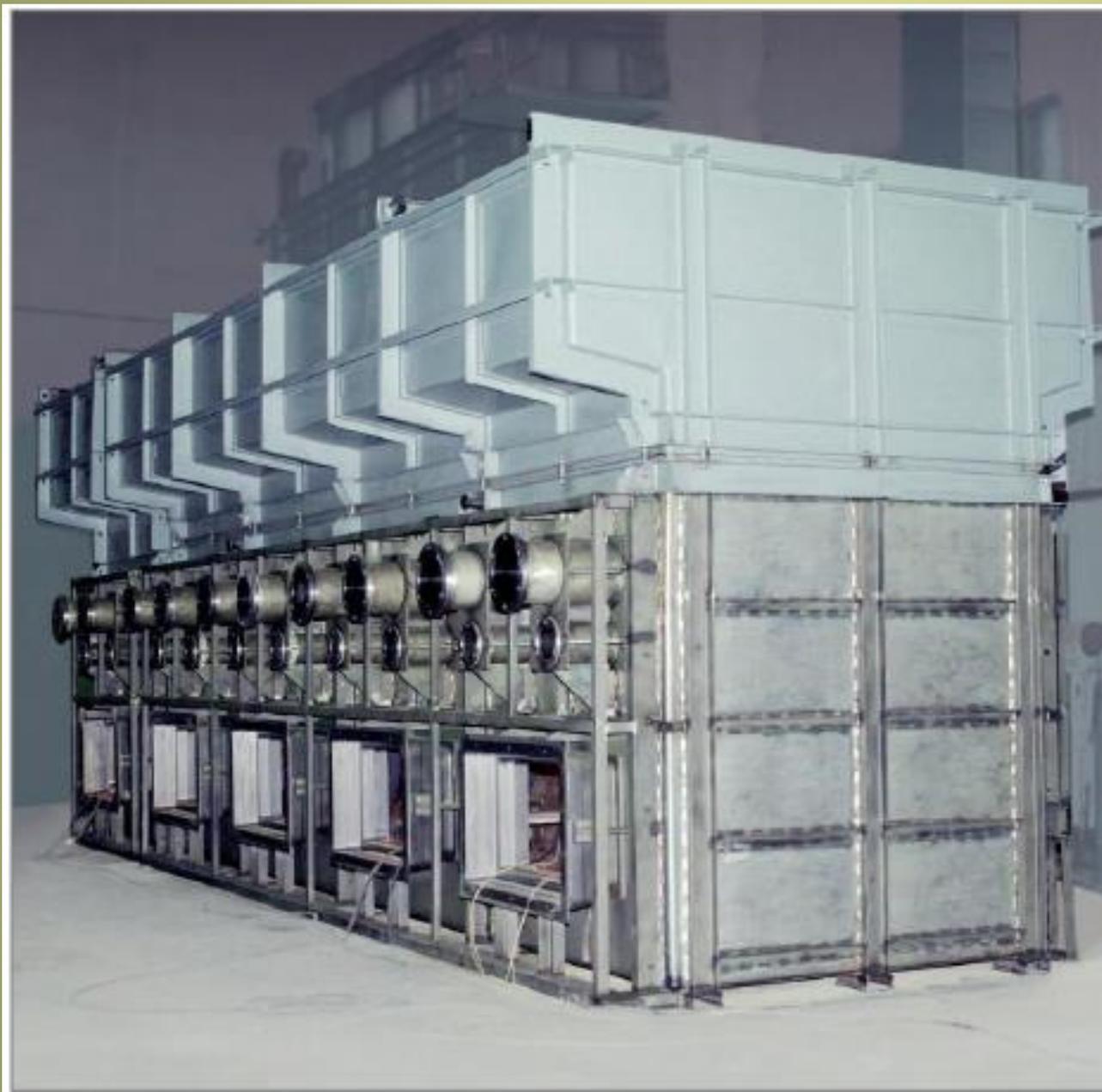
В зале хранения размещаются бетонные модули, а в них — герметичные пеналы с ОЯТ, заполненные азотно-гелиевой смесью. Охлаждает сборки наружный воздух, который самотеком поступает по воздуховодам.

# Бокс для переработки жидких и твердых ОЯТ



Воткинский завод

# Камера для изготовления МОКС топлива, ГХК



Дозирование и хранение порошка диоксида плутония и скрапа урана

# Установка вихревого размола, ГХК



Изготовление  
гомогенного  
пресспорошка  
 $UO_2$  и  $PuO_2$   
в условиях высоких  
радиационных полей

# Комплекс спекания таблеток, ГХК



Комплекс герметичных боксов, связанных между собой системой передачи. Предназначен для изготовления таблеток МОКС топлива

# Спеченное топливо, НЗХК



# Биконуса, НЗХК



Смешивание диоксида урана и пластификатора

# Пресс, НЗХК



# Оборудование, НЗХК



Водородная печь для спекания таблеток,  $T = 1750^{\circ}\text{C}$

# Оборудование, НЗХК

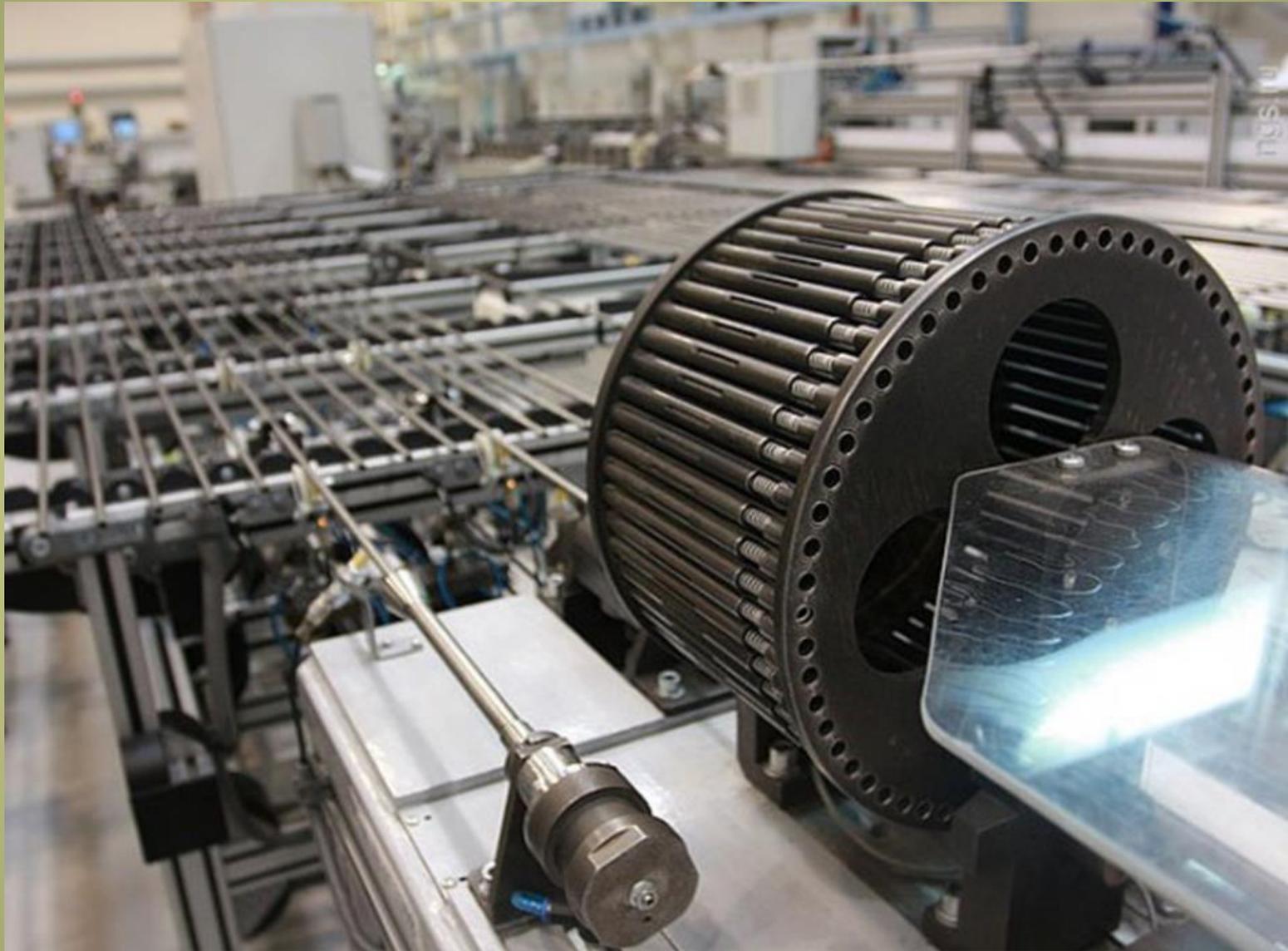


# Оборудование, НЗХК



Одна таблетка весом 4,5 г по энерговыделению эквивалентна 640 кг дров, 400 кг каменного угля, 360 куб. м газа, 350 кг нефти.

# Оборудование, НЗХК



Заполнение циркониевых трубок таблетками диоксида урана

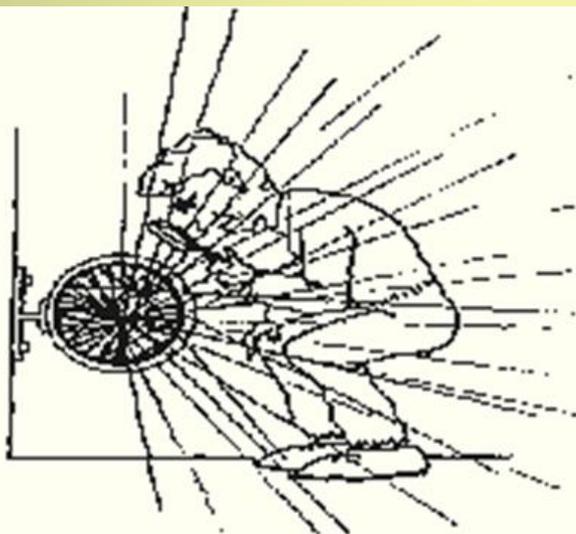
# Стратегии ремонта оборудования в ядерной отрасли.

- Исходя из приоритета безопасности стратегия регламентированного ремонта должна применяться для гарантированного поддержания исправности и работоспособности оборудования первого и второго классов безопасности. Такая позиция обусловлена существующим уровнем развития систем контроля целостности металла оборудования, некоторыми неопределенностями механизмов зарождения и скоростей развития дефектов в металле.
- Стратегия ремонта по техническому состоянию с применением средств технического диагностирования в основном должна распространяться на оборудование третьего и четвертого классов безопасности

Основными резервами для оптимизации ремонта оборудования первого и второго классов безопасности, а также оборудования третьего класса систем, важных для безопасности, являются:

- обоснование и внедрение в практику оптимальных сроков (периодичности) технического освидетельствования и эксплуатационного контроля за состоянием металла и сварных соединений, например увеличение сроков технического освидетельствования с 4 до 10 лет;
- оптимизация сроков проверок защитных и предохранительных устройств;
- совершенствование планирования ремонтов;
- эффективное использование рабочего времени путем сокращения времени на допуск персонала в зону контролируемого режима;
- учет при планировании ремонтов данных, полученных системами оперативного диагностирования и штатной системой тех. контроля;
- применение прогрессивных средств технологического оснащения ремонта (гайковертов, гидропрессов и т.д.).

# Правила осмотра оборудования



Осмотр незаполненной водой системы.

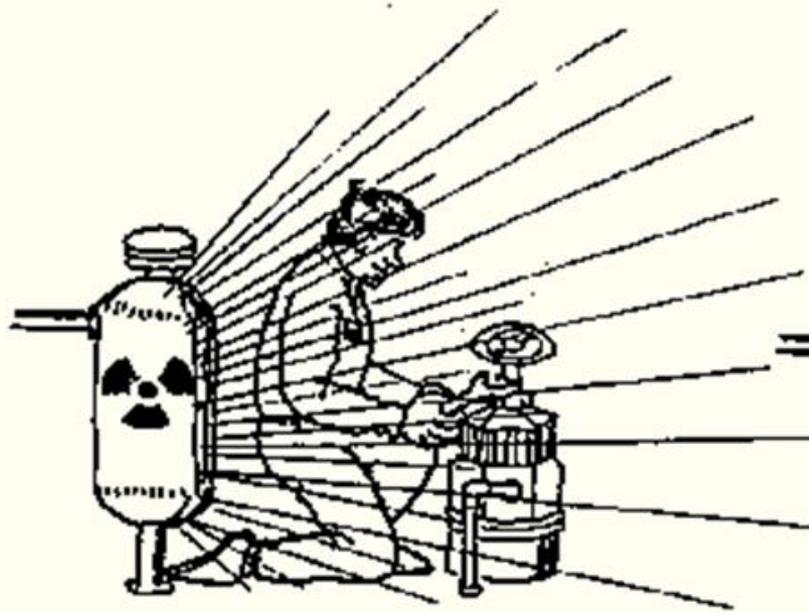
**НЕПРАВИЛЬНО!**



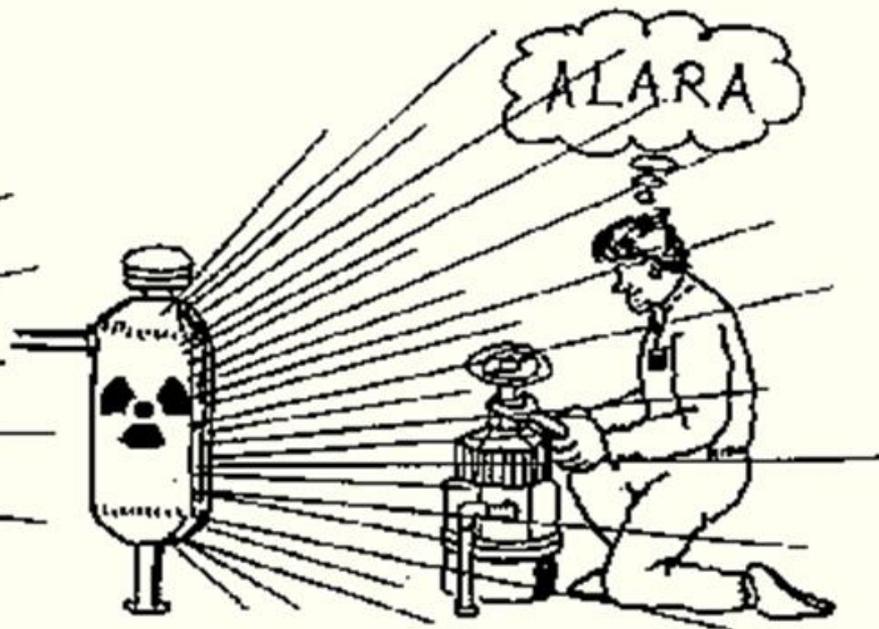
Осмотр заполненной водой системы.

**ПРАВИЛЬНО!**

# Правила осмотра оборудования



Расположение работающего вблизи источника излучения.  
**НЕПРАВИЛЬНО!**



Расположение работающего вдали от источника излучения.  
**ПРАВИЛЬНО!**

# Активация оборудования

- Активизация **за счет адсорбции** радиоактивных ионов на поверхности нержавеющей стали, не имеющей окисных пленок.
- Активизация **за счет сорбции** активных частиц на пленках продуктов коррозии и осаждения труднорастворимых осадков, образующихся в технологическом процессе.
- Активизация **за счет диффузионного проникновения** активных частиц в глубь металла.

Количественная оценка рассмотренных путей активизации показала, что на пленках продуктов коррозии конструктивного материала концентрируется до 90 % радиоактивных изотопов от общей активности.

Вглубь металла проникает 1 ÷ 2 % активности, адсорбированной поверхностью металла. Причем основная часть активности проникает вглубь металла и сосредоточена в 2 ÷ 3 мкм верхнего слоя металла, хотя активные частицы наблюдаются при снятии 5 ÷ 10 мкм верхней поверхности металла.

## Подготовка оборудования к ремонту

Перед сдачей оборудования в ремонт ремонтной группе технологи должны провести следующие операции:

- **Отключить оборудование** от работающих технологических линий;
- **Очистить оборудование** от технологических продуктов и различного рода загрязнений;
- **Провести дезактивацию.**

- Осадки на стенках оборудования за счет сорбции радионуклидов из растворов ОЯТ. В результате внутри оборудования создаются радиационные поля с мощностью дозы до  $10^6$  Р/час. Радиоактивность стенок постепенно становится сопоставимой и даже большей, чем активность растворов ОЯТ;
- постепенное насыщение стенок радионуклидами. Если стенки чистые, то на выходе из контуров активность раствора ниже, чем на входе. При испытаниях оборудования, через которое прокачивались слабо концентрированные растворы плутония, плутония практически не было на выходе. Он весь оседал на стенках. Постепенно стенки насыщались, и потери сокращались. При повышении содержания ОЯТ в растворах, снова должно пройти некоторое время, пока стенки насытятся до нового, более высокого уровня;
- закалки осадков в результате колебаний теплофизических и физико-химических условий переработки. На стенках остаются наиболее устойчивые соединения РАО по механической прочности, по химической и термодинамической устойчивости.

# Основы дезактивации

- Квалифицированный выбор метода и технологии дезактивации невозможен без выяснения механизма радиоактивного загрязнения поверхностей;
- Большинство радионуклидов продуктов деления и активированных продуктов коррозии по своей природе являются металлами;
- Таким образом, задача дезактивации состоит в удалении оксидных слоев и коррозионных отложений, содержащих радиоактивные вещества с поверхности металла.

# Оценка дезактивации

Коэффициент дезактивации

$$K_d = A_{\text{исх}} / A_{\text{ост}}$$

Степень дезактивации – доля удаленной активности от начального загрязнение

$$\beta = \frac{A_{\text{исх}} - A_{\text{ост}}}{A_{\text{исх}}}$$

Доля остаточной активности

$$\alpha = \frac{A_{\text{ост}}}{A_{\text{исх}}} = \frac{1}{K_d}$$

# Способы дезактивации

Различают несколько способов дезактивации:

- физико-механические
- физико-химические
- химические

Требования к способам

- обеспечивать эффективное удаление радиоактивных загрязнений
- Не вызывать существенной коррозии и разрушения дезактивируемого материала
- количество радиоактивных отходов должно быть минимальным
- состав их должен соответствовать способу переработки-быть экономичным
- Безопасным - не приводить к распространению радиоактивных загрязнений
- допускать возможность механизации

# Способы дезактивации

- ручная отчистка скребками, щётками и др.;
- пескоструйный;
- дробеструйный, дробемётный;
- гидроабразивный;
- кварцевание;
- термический;
- электролитический;
- химический;
- ультразвуковой;
- электро-гидроударный.

# Сухая дезактивация

## Достоинства:

- Небольшие удельные затраты
- Образуются только твёрдые РАО, которые легко компактировать

## Недостатки

- Неприменима для изделий сложной формы

Пример: обметание, сбор пыли щетками., скребками

# Виды дезактивирующих средств



а) Раддез б) ДЕЗ-1, в) ВА 501-504

# Химическая дезактивация

## Достоинства:

- Применима для изделий сложной формы

## Недостатки:

- Большая длительность процесса
- Высокие удельные затраты
- Образуются жидкие РАО

Пример: обмывание с помощью растворов

# Растворы для снятия продуктов коррозии

- 1 ÷ 50% раствор HCl при 20 °C
- 5 ÷ 10% раствор H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при 60 ÷ 80 °C + ингибиторы коррозии
- 25% раствор H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> при 60 ÷ 80 °C + ингибиторы коррозии
- Водные растворы, содержащие от 10 до 70% NaHSO<sub>4</sub>, до 30% Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и 2% хинолина.
- Эмульсия на основе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl или H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, содержащая 50-200 г /л растворителя, эмульгатора ОП – 7, ПП – 5 - 23 г/л, остальное вода
- Для пола и стен — так называемый «Контакт Петрова» керосин +H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> + технические мыла ОП-7, ОП-10.

# Дезактивация оборудования радиохимического завода

- Раствор 5% NaOH+ 0,1%  $\text{KMnO}_4$
- Раствор 5%  $\text{HNO}_3$  + 0,1% HF (0,2% NaF) + 0,1%  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$
- Обработка первым раствором длится 10 часов, вторым 6 часов при температуре до 90 °С.
- Способ достаточно универсален, в раствор переходят не только соединения урана, но и соединения осколков элементов и часть металла аппаратуры

# Дезактивация оборудования в США

В США дезактивацию проводят сначала путем промывки водой, затем разбавленной кислотой и после пропариванием острым паром и далее растворами:

1. 10% водный раствор  $\text{HNO}_3$ ;
2. 10% водный раствор лимонной кислоты;
3. 10% водный раствор  $\text{NaOH}$ ;
4. 10% водный раствор  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ;
5. 0,003 молярный раствор  $\text{HIO}_4$  (окислитель);
6. 20%  $\text{HNO}_3$  + 3%  $\text{NaF}$  (фтор-ион для снятия части металла).

Время обработки до 8 часов и более при температурах близких к кипению. Основное назначение – обработка нержавеющей сталей.

# Электрохимический метод дезактивации

1. Для дезактивации изделий из черной стали - раствор ортофосфорной кислоты ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) с концентрацией 5-10 г/л.
2. Для дезактивации изделий из нержавеющей стали применяют растворы №1  $\text{H}_3\text{PO}_4$  10 г/л; №2  $\text{H}_3\text{PO}_4$  15 г/л +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2-5г/л, расход кислоты на метр квадратный - 0,2 кг.
3. Выносные катоды изготавливаются из шерстяных материалов.
4. Дезактивация электрохимическим методом осуществляется двумя способами: мокрым и сухим.
5. Продолжительность процесса дезактивации 1-5 минут при плотности постоянного тока 100-200 А/дм<sup>2</sup> и с безопасным напряжением 12 В.

После дезактивации поверхность приобретает серый цвет, присущий неокисленному металлу.

# Ультразвуковая дезактивация

Интенсификация химической дезактивации

## Достоинства

- Универсальность
- Применима для изделий сложной формы
- Высокая скорость процесса
- Более концентрированные ЖРО
- Снижение расхода реагентов
- Уменьшение удельных затрат

**В СССР в 1958** году начали разрабатывать данный способ в ТПУ, 1960 год промышленные испытания и в 1963 способ внедрен на «Сублиматном» и «Диффузионном» производствах СХК

# Фрагменты ТРО до и после дезактивации

Без ультразвука



С ультразвуком



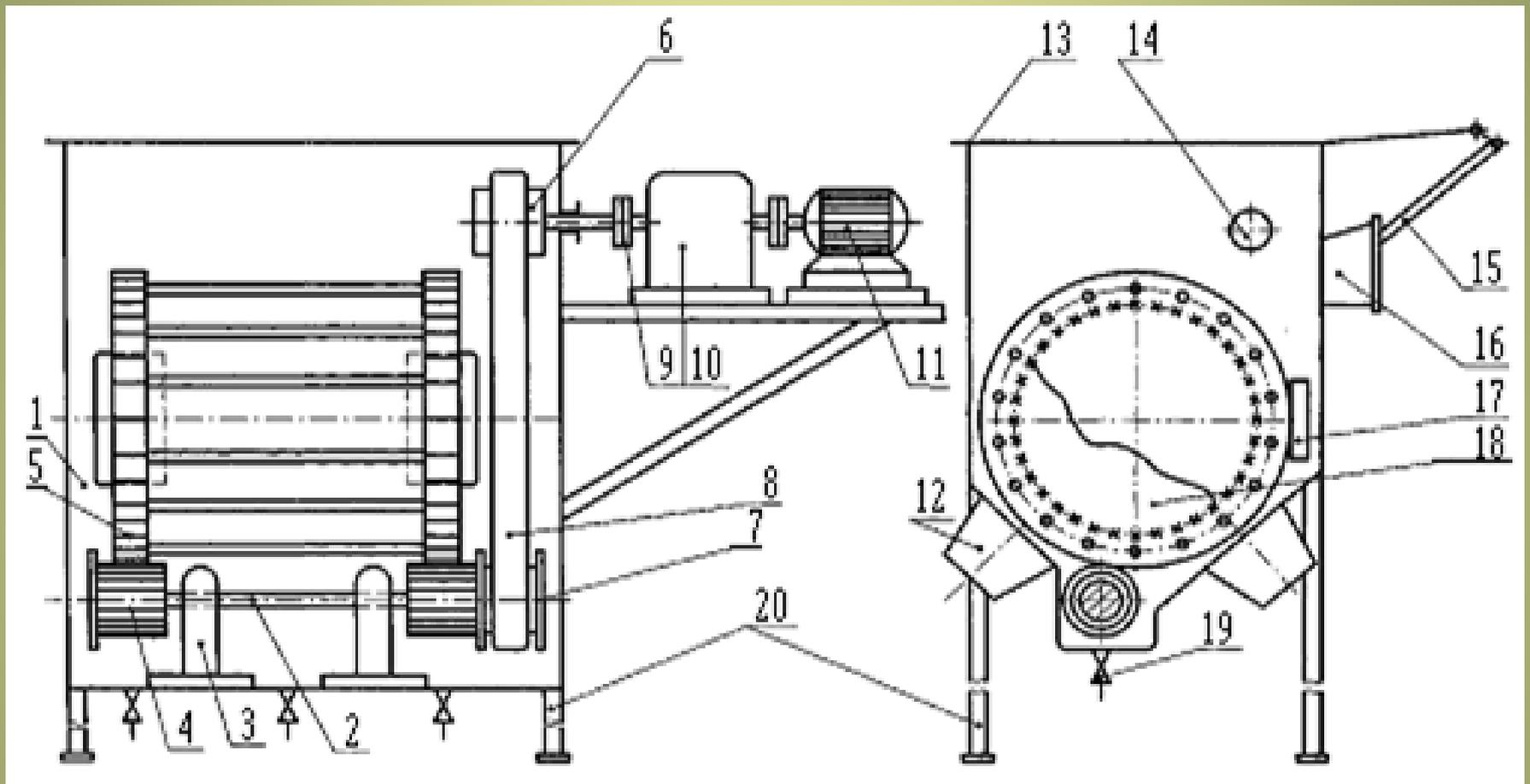
112 часов

2 часа 48 минут

# Основы ультразвука

- Ультразвуковые колебания – упругие колебания с частотой выше 16 КГц
- Для частот 10, 100, и 1000 кГц диаметр пузырьков воздуха в воде при резонансе 0,66; 0,066 и 0,0066 мм
- Колебания могут быть получены с помощью магнитострикционных, пьезоэлектрических и механических источников.
- Магнитострикция- способность некоторых металлов изменять свои геометрические размеры под действием ВЧ (Ni, сплавы Ni + пермалой, пермендюр, инвар и др.)

# Ультразвуковая ванна УЗВ-ТПУ



1-корпус, 2-приводной вал, 3-опора, 4-опорно-приводные ролики, 5-барабан, 6- ведущий ролик, 7-ведомый ролик, 8-ремень, 9- фрикцион, 10-редуктор, 11-электродвигатель, 12- магнитостриктор, 13- крышка, 14-подача раствора, 15- газовая пружина, 16-патрубок, 17- опора барабана, 18-деактивируемые детали

# Растворы и режимы для ультразвуковой промывки

- 5% водный раствор NaOH;  $T=50 \div 60^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau = 30$  мин.
- $2 \div 3\%$   $\text{HNO}_3$  +  $(0,2 \div 0,5)\%$   $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ;  $T=40 \div 50^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau=15 \div 20$  мин.
- 10%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ,  $T=60 \div 40^{\circ}\text{C}$  ;  $\tau=20$  мин.
- Промывка в  $\text{H}_2\text{O}$  в течение  $3 \div 5$  мин.

- Цель достичь санитарно допустимые нормы:

$\alpha = 20,0$  Р/мин,  $\beta = 2000$  Р/мин,  $\gamma = 0,06$  мР/ч

# Ультразвуковая ванна МО-21



# СТРУКТУРА АО «АТОМЭНЕРГОРЕМОНТ»

## ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АППАРАТ «АТОМЭНЕРГОРЕМОНТ» г. МОСКВА

КАЛИНИНСКАЯ АЭС  
Филиал г. Удомля

НОВОВОРОНЕЖСКАЯ АЭС  
Филиал г. Нововоронеж

ВОЛГОДОНСКАЯ АЭС  
Филиал г. Волгодонск

БАЛАКОВСКАЯ АЭС  
Филиал г. Балаково

ЛЕНИНГРАДСКАЯ АЭС  
Филиал г. Сосновый Бор

КУРСКАЯ АЭС  
Филиал г. Курчатов

СМОЛЕНСКАЯ АЭС  
Филиал г. Десногорск

КОЛЬСКАЯ АЭС  
Филиал г. Полярные Зори

БЕЛОЯРСКАЯ АЭС  
Филиал г. Заречный

БИЛИБИНСКАЯ АЭС  
Участок по ремонту

Кроме работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования АЭС концерна «Росэнергоатом» в России, «Атомэнергоремонт» оказывает услуги по ремонту АЭС «Бушер» в Иране, планирует выполнение работ на АЭС в Китае, Индии, Болгарии. В 2017 году примет активное участие в работах по модернизации и реконструкции Армянской АЭС, а так же в монтаже оборудования на АЭС в Белоруссии.



РОСЭНЕРГОАТОМ

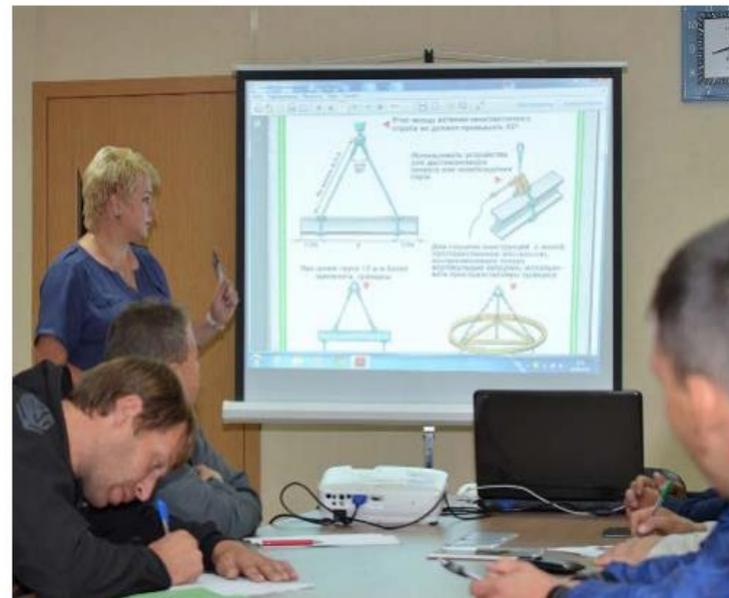
**АТОМЭНЕРГОРЕМОНТ**

## ЧТО ДЕЛАЕТ «АТОМЭНЕРГОРЕМОНТ»

АО «Атомэнергоремонт» не только обеспечивает реализацию всех вышеназванных направлений деятельности, но и уделяет большое внимание их постоянному развитию и совершенствованию. Регулярно пополняется парк средств технического оснащения ремонта (СТОР) путём закупки нового высокопроизводительного ремонтного и монтажного оборудования (общего и специального назначения) отечественного и зарубежного производства.

Накопленный опыт, умение, знания, использование современных средств и технологий позволяют АО «Атомэнергоремонт» выполнять уникальные работы по ремонту и модернизации оборудования АЭС, а также при строительстве и монтаже оборудования новых энергоблоков.

Производственная деятельность предприятия на строящихся и действующих энергоблоках АЭС осуществляется согласно номенклатуре работ концерна «Росэнергоатом», который был и остаётся главным и основным заказчиком и партнёром.



РОСЭНЕРГОАТОМ

**АТОМЭНЕРГОРЕМОНТ**

Спасибо за внимание

