

# АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Тема **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА  
ДЕЗАКТИВАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ**

# Влияние отложений на радиационную обстановку

## Отложения

- в пределах реактора - малая доля мощности дозы излучения реактора
- во внереакторной части ГЦК (ПГ, ГЦН, трубопроводы, арматура) - основные отложения

# Основные механизмы накопления радионуклидов

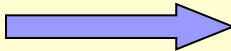
1. Коррозия конструкционных материалов **АЗ** и **реактора в целом**

2. Коррозия конструкционных материалов **вне реакторной части контура**

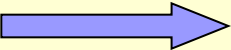
3. Отложения ПК **вне реакторной части контура в реакторе** (на ВКУ, на оболочках твэлов и т.п.)

# Поведение радионуклидов во времени

■ Слой отложений - динамичная структура (процессы осаднения и смыва)

■ обратный переход РН в теплоноситель 

 транспортировка во вне реакторную часть

 образование радиоактивных отложений

# Особенности радиоактивных отложений

- диффузия РН в оксидную пленку металла
- диффузия РН в поверхностный слой металла на глубину до 30 мкм
- прочное сцепление оксидной пленки с поверхностью металла

## Особенности оксидных пленок

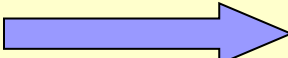
В реакторных контурах АЭС образуются оксидные пленки **типа шпинелей**

Растворять эти соединения очень трудно, что осложняет технологию дезактивации



**шпинель**

## Вред отложений в активной зоне

- повышение температуры оболочек ТВЭЛОВ
- снижение их коррозионной стойкости
- отложения в теплообменных трубках ПГ 
- снижение коэффициента теплопередачи и паропроизводительности установки
- ухудшение радиационной обстановки
- трудности ремонта ГЦН и другого оборудования

# Удаление отложений (байпасная очистка теплоносителя)

- непрерывный отвод части теплоносителя из контура циркуляции на очистную установку (СВО-1 или СВО-2)
- Байпасная очистка теплоносителя - непрерывная дезактивация первого контура



## Задачи дезактивационных установок

- поддержание нормальной радиационной обстановки как в помещениях АЭС, так и за ее пределами
- создание условий для нормальной работы оборудования обеспечение неперевышения
- допустимых санитарных норм для работы обслуживающего персонала

# Дезактивации подвергаются

- оборудование
- помещения
- радиоактивные отходы (РАО)
  - твердые
  - жидкие
  - газообразные

# Результаты дезактивации

- радиоактивные отходы, подлежащие захоронению

## *Корпус спецводоочистки*

специальный корпус для размещения оборудования

- для собственно дезактивации
- для временного хранения на АЭС отвержденных концентрированных РАО

# Основные методы дезактивации

Для реакторного контура *в целом* без его демонтажа -  
***химические методы дезактивации***

## Применение химического метода дезактивации

Используют для:

- оборудования установок СВО
- циркуляционных петель реактора и контура в целом
- насосов
- арматуры
- приводов СУЗ
- чехлов хранения кассет
- инструмента

# Методы периодической химической дезактивации

1. Химический
2. Электрохимический
3. Пароэмульсионный
4. Использование гидромониторов

# Выбор метода периодической химической дезактивации

Факторы:

- количество отложений
- структура
- химический и изотопный состав
- цели дезактивации



# Критерии выбора метода дезактивации

- длительность процесса
- коэффициент дезактивации
- степень коррозионного воздействия на основные конструкционные материалы
- количество сбросных радиоактивных вод

# Критерии выбора метода дезактивации

- возможность концентрации радиоактивности
- технологические условия проведения процесса
- возможность использования основного оборудования контура
- дефицитность реагентов, их стоимость, условия хранения, обращения и т.д.

# Коэффициент дезактивации

$$k_d = A_{\text{нач}} / A_{\text{кон}}$$



# Виды дезактивационных установок

- непрерывного
- периодического действия

## Применение химического метода дезактивации

для:

- оборудования установок спецводоочистки
- циркуляционных петель реактора и контура в целом
- насосов
- арматуры
- приводов СУЗ
- чехлов хранения кассет
- инструмента

## Стадии удаления радиоактивных отложений с поверхностей

- воздействие дезактивирующих растворов
- переход удаленных отложений в дезактивирующий раствор
- последующая обработка растворов

# Окислительно-восстановительный метод химической дезактивации

Назначение **первой** **стадии** (используют окислительные растворы):

- окисление аниона  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до хромат-иона;
- окисление нерастворимого хромата  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  до растворимой формы хромата;
- окисление двухвалентного железа до трехвалентного;
- окисление магнетита до более растворимых оксидов.



## Окислительные растворы

- раствор едкого натра  $\text{NaOH}$  (0,5-1,5 %) и перманганата калия  $\text{KMnO}_4$  (0,05-0,15 %)
- сложный раствор, куда входят перекись водорода и комплексоны (например, НТА или ЭДТА).

# Окислительно-восстановительный метод химической дезактивации

Назначение **второй стадии** - растворить подготовленные к этому радиоактивные элементы отложений.

Для этой цели используют

- минеральные кислоты (азотную, серную);
- чаще - органические кислоты (щавелевую, лимонную, моноцитрат аммония и комплексоны - ЭДТА, НТА, ДТПУ и др.).

## Цикл химической дезактивации

- После каждой стадии проводится тщательная **водная промывка контура**.
- Обе стадии дезактивации, включая промывки после каждой стадии, составляют **один цикл**.
- Для удаления **97-99 %** радиоактивных отложений требуется **три-четыре цикла**.

# Недостатки многостадийного метода дезактивации

1. Длительность процесса.
2. Большое количество сбросных радио-активных вод, которые требуют переработки и захоронения.

## Отрицательный эффект дезактивации

При большой установленной мощности блоков АЭС основные затраты связаны с недовыработкой электроэнергии

## Соотношение затрат в общей стоимости дезактивации

Затраты	Соотношение затрат, %, при следующих значениях установленной мощности блока АЭС, МВт				
	70	215	3110	440	1000
Простой оборудования	36,4	63,7	71,8	78,3	89,1
Переработка и захоронение отходов	18,0	10,3	8,0	6,2	3,1
Материалы и электроэнергия	8,9	5,1	3,9	3,0	1,5
Исследования	36,7	20,9	16,3	12,6	6,3

# Совершенствование технологии дезактивации

Перспективный - метод **высокотемпературной дезактивации** с применением композиций на основе комплексонов

# Дезактивация части реакторного контура

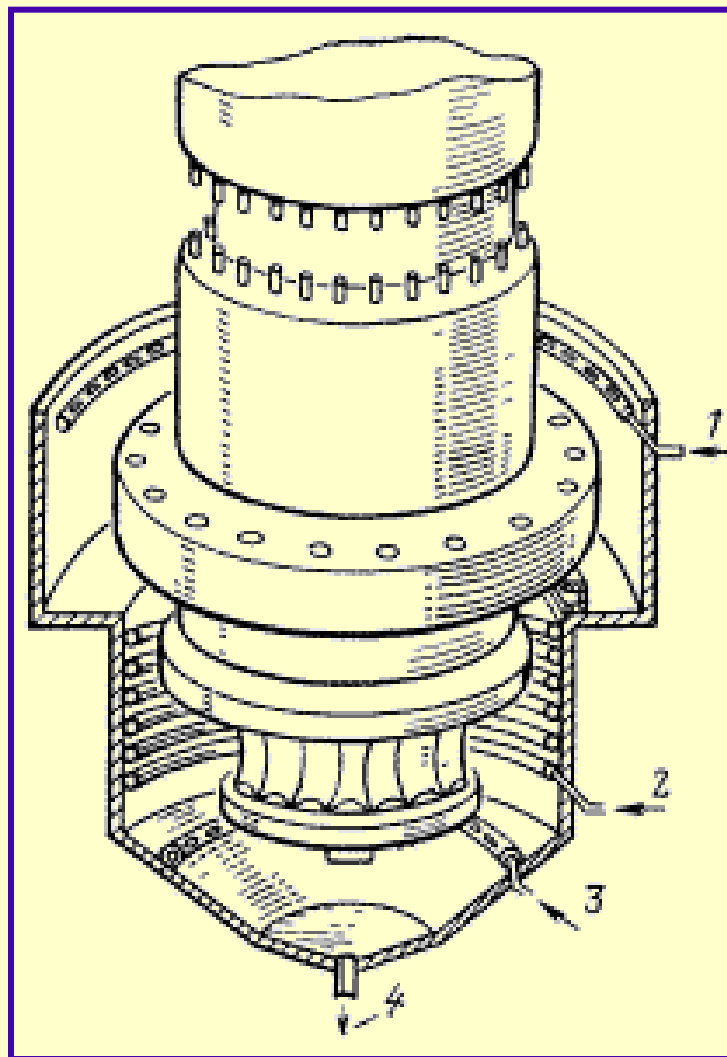
Иногда – достаточна

Специальные дезактивационные установки

- **установка для дезактивации парогенераторов**



## Дезактивация ГЦН



# Дезактивация части реакторного контура

Иногда оказывается достаточно. Этой цели служат специальные дезактивационные установки, например **установка для дезактивации парогенераторов**, созданная в России.

# Дезактивация больших поверхностей

- наружные поверхности технологического оборудования
- внутренние поверхности баков и бассейнов
- стены и полы помещений
- и т.п.

## Активация стен и полов помещений

- в результате непосредственного соприкосновения с радиоактивным веществом в твердом или жидком состоянии (например, при протечках)
- сорбции на поверхности аэрозолей, гидрозолей и газов, содержащих РН
- Помещения дезактивируют путем их обмывки
- Полы настилают с уклонами и трапами
- полы и стены помещений зоны строгого режима настилают из материалов, мало сорбирующих РН, легко поддающихся дезактивации и обладающих необходимой температурной и коррозионной стойкостью
  - для стен применяют глазированную плитку, эпоксидные и перхлорвиниловые эмали
  - для полов — сталь, покрытия эпоксидными эмалями или полиэтиленом

Обмывочные (*трапные*) воды подлежат последующей переработке

# Дезактивация больших поверхностей

- наружные поверхности технологического оборудования
- внутренние поверхности баков и бассейнов
- стены и полы помещений
- и т.п.

## Методы

- гидромониторы
- пароэмульсионный метод

# Пароэмульсионный метод

- дезактивирующий раствор:
  - щавелевая кислота концентрацией 20 г/кг
  - ПАВ концентрацией 5 г/кг
  - гексаметафосфат натрия концентрацией 5 г/кг..
- раствор в виде паровой эмульсии специальным пистолетом наносится на поверхность
- к пистолету подводится пар под давлением 0,8-1,2 МПа
- скорость обработки поверхности - около 1 м<sup>2</sup>/мин

В зависимости от состояния поверхности и вида загрязнения дезактивирующий раствор может меняться

## механический способ

- для локальных загрязнений и инструмента
- используют реагенты и технологию многостадийного метода химической дезактивации, нанося растворы специальными щетками, протирками и т.п.

# АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

## Тема 21. **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДЕЗАКТИВАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ**



# Влияние отложений на радиационную обстановку

- Радиоактивные отложения в пределах реактора составляют малую долю мощности дозы излучения реактора и не оказывают заметного влияния на работу АЭС.
- Основное внимание уделяется образованию радиоактивных отложений во вне реакторной части циркуляционного контура (парогенераторы, ГЦН, трубопроводы, арматура).

# Основные механизмы накопления радионуклидов

За накопление радионуклидов на оборудовании во внереакторной части КЦ ответственны три основных механизма:

- 1. Коррозия конструкционных материалов активной зоны и реактора в целом.*
- 2. Коррозия конструкционных материалов внереакторной части контура.*
- 3. Отложения продуктов коррозии внереакторной части контура в реакторе (на ВКУ, на оболочках твэлов и т.п.)*

## Поведение радионуклидов во времени

- Слой отложений представляет собой динамичную структуру, в которой непрерывно протекают процессы осаждения и смыва.
- При обратном переходе в теплоноситель эти радионуклиды также транспортируются во вне реакторную часть, где могут образовывать радиоактивные отложения.

# Удаление отложений (байпасная очистка теплоносителя)

- Этим трем механизмам образования радиоактивных отложений противостоит лишь один фактор - непрерывный отвод части теплоносителя из контура циркуляции на очистную установку (СВО-1 или СВО-2).
- Байпасная очистку теплоносителя обеспечивает поддержание концентрации продуктов коррозии в теплоносителе в допустимых пределах. Ее следует рассматривать как установку **непрерывной дезактивации** первого контура.

## Основные методы дезактивации

Для реакторного контура в целом без его демонтажа используют, как правило, **химические методы дезактивации**.

# Выбор метода периодической химической дезактивации

Выбираются и разрабатываются применительно к конкретным условиям данной АЭС с учетом следующих факторов:

- количества,
- структуры,
- химического и изотопного состава отложений,
- целей дезактивации.

# Методы периодической химической дезактивации

1. Химический.
2. Электрохимический.
3. Пароэмульсионный.
4. Использование гидромониторов.

# Критерии выбора метода дезактивации

- длительность процесса;
- коэффициент дезактивации;
- степень коррозионного воздействия на основные конструкционные материалы;
- количество сбросных радиоактивных вод;



## Критерии выбора метода дезактивации (продолжение)

- возможность концентрации радиоактивности, например, на ионообменных фильтрах;
- технологические условия проведения процесса дезактивации по температуре, времени, скорости движения раствора;
- возможность использования основного оборудования контура;
- дефицитность реагентов, их стоимость, условия хранения, обращения и т.д.

## Коэффициент дезактивации

$$k_d = A_{\text{нач}} / A_{\text{кон}},$$

где  $A_{\text{нач}}$  и  $A_{\text{кон}}$  - уровни мощности дозы излучения от оборудования до и после дезактивации соответственно.

# Особенности радиоактивных отложений

- диффузия радионуклидов в оксидную пленку металлов и даже в поверхностный слой металла на глубину до 30 мкм;
- прочное сцепление оксидной пленки с поверхностью металлов.

## Особенности оксидных пленок

В реакторных контурах АЭС образуются, как правило, оксидные пленки **типа шпинелей**. Растворять эти соединения очень трудно, что осложняет технологию дезактивации.

## Характеристика РН естественных примесей воды реакторов

Радиоактивные нуклиды	Содержание в естественной смеси, %	Период полураспада	Вид излучения
Анионы:			
$^{28}\text{Si}$	92,7	2,6 ч	$\beta$
$^{32}\text{P}$	100	14,3 сут	$\beta$
$^{35}\text{S}$	4,15	81,1 сут	$\beta$
$^{37}\text{S}$	0,016	5,04 мин	$\beta$
$^{36}\text{Cl}$	75,4	$210 \cdot 10^2$ лет	$\beta$
$^{38}\text{Cl}$	24,6	37,5 мин	$\beta$ и $\gamma$

## Задачи дезактивационных установок

- поддержание нормальной радиационной обстановки как в помещениях АЭС, так и за ее пределами
- создание условий для нормальной работы оборудования обеспечение неперевышения
- допустимых санитарных норм для работы обслуживающего персонала

# Дезактивации подвергаются

- оборудование
- помещения
- радиоактивные отходы (РАО)
  - твердые
  - жидкие
  - газообразные

# Результаты дезактивации

- радиоактивные отходы, подлежащие захоронению



## *Корпус спецводоочистки*

специальный корпус для размещения оборудования

- для собственно дезактивации
- для временного хранения на АЭС отвержденных концентрированных РАО

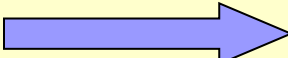
# Виды дезактивационных установок

- непрерывного
- периодического действия
  - Дезактивация оборудования требует его останова, но производится без демонтажа, то есть оборудование дезактивируется в сборе

## Стадии удаления радиоактивных отложений с поверхностей

- воздействие дезактивирующих растворов
- переход удаленных отложений в дезактивирующий раствор
- последующая обработка растворов

## Вред отложений в активной зоне

- повышение температуры оболочек ТВЭЛОВ
- снижение их коррозионной стойкости
- отложения в теплообменных трубках ПГ 
- снижение коэффициента теплопередачи и паропроизводительности установки
- ухудшение радиационной обстановки
- трудности ремонта ГЦН и другого оборудования

# Окислительно-восстановительный метод химической дезактивации

Назначение **первой** **стадии** (используют окислительные растворы):

- окисление аниона **Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** до хромат-иона;
- окисление нерастворимого хромата **FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>** до растворимой формы хромата;
- окисление двухвалентного железа до трехвалентного;
- окисление магнетита до более растворимых оксидов.

# Окислительные растворы

## Растворы

- едкого натра  $\text{NaOH}$  (0,5-1,5 %)
- перманганата калия  $\text{KMnO}_4$  (0,05-0,15 %)

сложный раствор, куда входят перекись водорода и комплексоны (например, НТА или ЭДТА)

# Окислительно-восстановительный метод химической дезактивации

Назначение **второй стадии** - растворить подготовленные к этому радиоактивные элементы отложений.

Для этой цели используют

- минеральные кислоты (азотную, серную);
- чаще - органические кислоты (щавелевую, лимонную, моноцитрат аммония и комплексоны - ЭДТА, НТА, ДТПУ и др.).

## Цикл химической дезактивации

- После каждой стадии проводится тщательная **водная промывка контура**.
- Обе стадии дезактивации, включая промывки после каждой стадии, составляют **один цикл**.
- Для удаления **97-99 %** радиоактивных отложений требуется **три-четыре цикла**.



# Недостатки многостадийного метода дезактивации

1. Длительность процесса
2. Большое количество сбросных радиоактивных вод, которые требуют переработки и захоронения

## Соотношение затрат в общей стоимости дезактивации

Затраты	Соотношение затрат, %, при следующих значениях установленной мощности блока АЭС, МВт				
	70	215	3110	440	1000
Простой оборудования	36,4	63,7	71,8	78,3	89,1
Переработка и захоронение отходов	18,0	10,3	8,0	6,2	3,1
Материалы и электроэнергия	8,9	5,1	3,9	3,0	1,5
Исследования	36,7	20,9	16,3	12,6	6,3

## Отрицательный эффект дезактивации

При большой установленной мощности блоков АЭС основные затраты связаны с недовыработкой электроэнергии

# Совершенствование технологии дезактивации

Перспективный - метод **высокотемпературной дезактивации** с применением композиций на основе комплексонов

## Применение химического метода дезактивации

для:

- оборудования установок спецводоочистки
- циркуляционных петель реактора и контура в целом
- насосов
- арматуры
- приводов СУЗ
- чехлов хранения кассет
- инструмента

# Дезактивация части реакторного контура

Иногда – достаточна

Специальные дезактивационные установки

- **установка для дезактивации парогенераторов**

# Дезактивация больших поверхностей

- наружные поверхности технологического оборудования
- внутренние поверхности баков и бассейнов
- стены и полы помещений
- и т.п.

# Дезактивация больших поверхностей

- наружные поверхности технологического оборудования
- внутренние поверхности баков и бассейнов
- стены и полы помещений
- и т.п.

## Методы

- гидромониторы
- пароэмульсионный метод



# Пароэмульсионный метод

- дезактивирующий раствор:
  - щавелевая кислота концентрацией 20 г/кг
  - ПАВ концентрацией 5 г/кг
  - гексаметафосфат натрия концентрацией 5 г/кг..
- раствор в виде паровой эмульсии специальным пистолетом наносится на поверхность
- к пистолету подводится пар под давлением 0,8-1,2 МПа
- скорость обработки поверхности - около 1 м<sup>2</sup>/мин

В зависимости от состояния поверхности и вида загрязнения дезактивирующий раствор может меняться

## механический способ

- для локальных загрязнений и инструмента
- используют реагенты и технологию многостадийного метода химической дезактивации, нанося растворы специальными щетками, протирками и т.п.