

# **Особенности водно-химического режима в контурах ЯЭУ**

# Задачи водно-химического режима

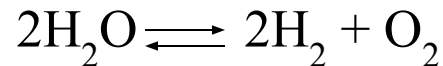
- Водно-химический режим (ВХР) - это целесообразное для каждого конкретного случая сочетание конструктивных и эксплуатационных мероприятий, обеспечивающих необходимые физико-химические характеристики воды в контурах ЯЭУ.
- Поддержание оптимального ВХР необходимо
  - для уменьшения интенсивности коррозионных процессов
  - и
  - для предотвращения отложений и накипи на поверхностях оборудования.

# Физико-химические процессы

- Реактор является мощным источником ионизирующего излучения. Под воздействием этого излучения теплоноситель и находящиеся в нем примеси активируются.
- Примеси в теплоносителе могут быть как естественные, находящиеся в растворенном состоянии, так и образовываться в результате коррозионного взаимодействия воды с конструкционными материалами контура.
- В процессе эксплуатации естественные примеси остаются практически неизменными, а содержание продуктов коррозии непрерывно возрастает.
- В теплоноситель могут попадать продукты деления ядерного топлива при работе реактора с поврежденными ТВЭлами.
- Обычно различают два вида неплотностей оболочек ТВЭлов:
  - 1- газовая неплотность, когда в теплоноситель попадают нуклиды благородных газов (криптон, ксенон) и осколки деления, летучие при рабочей температуре (цезий, йод);
  - 2 – неплотности, при которых возможен прямой контакт теплоносителя с топливом, в результате чего в теплоноситель могут попадать нелетучие осколки деления и частицы топлива.
- Все вместе это загрязняет контур теплоносителя.

# Физико-химические процессы

- Радиоллиз воды – разложение воды на водород и кислород под действием реакторного излучения. Реакция имеет вид:



- Обычно на практике радиоллиз воды не вызывает заметных изменений её физико-химических свойств. Однако следует учитывать тот факт, что продукты радиоллиза могут привести к интенсификации коррозии конструкционных материалов, может образоваться взрывоопасная смесь кислорода и водорода (гремучая смесь)
- Примеси, содержащиеся в воде могут осаждаться в реакторе, парогенераторе, насосах, трубопроводах, арматуре. Наиболее опасны отложения на поверхностях твэлов.
- Такие отложения ускоряют процессы коррозии оболочки, приводят к ухудшению теплообмена между твэлом и теплоносителем, в результате чего температура топлива и оболочки возрастает, и это может привести к разрушению твэла.

## Физико-химические процессы

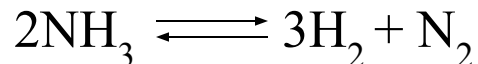
- Особенно важно учитывать эти процессы в одноконтурных ЯЭУ с кипящей водой в качестве теплоносителя, т.к. в процессе кипения концентрация примесей в воде увеличивается, а следовательно, увеличивается вероятность их осаждения на поверхности ТВЭЛОВ.
- Отложения на поверхности парогенератора менее опасны. Они приводят к ухудшению теплопередачи, а температура металла остается ниже температуры теплоносителя. Конечно, с учетом возможного загрязнения поверхность теплообмена парогенератора приходится выбирать с определенным запасом.
- Отложения на элементах циркуляционных насосов и арматуры могут ухудшить их работу, вызвать повышенную активность, затруднить ремонт.

## Мероприятия ВХР (теплоноситель)

- Чтобы снизить негативное влияние физико-химических процессов, необходимо при эксплуатации АЭС поддерживать концентрацию примесей на определенном уровне.
- Это достигается организационными и конструкционными мероприятиями. Ведение вводно-химического режима в значительной степени зависит от типа реактора.
- Для реакторов типа ВВЭР широко применяется борная кислота для регулирования реактивности. Она хорошо растворяется в воде, довольно устойчива в радиационных условиях.
- Однако ее присутствие изменяет рН теплоносителя, увеличивает переход продуктов коррозии в воду, что может интенсифицировать процесс коррозии сталей.
- Для нейтрализации борной кислоты в теплоноситель добавляют щелочь: в российской практике – это КОН, в зарубежной практике – это LiOH.

## Мероприятия ВХР (теплоноситель)

- Для подавления процесса радиолиза воды в первый контур добавляется избыточный водород в форме аммиака, который разлагается по реакции



- и создает необходимую концентрацию водорода в теплоносителе. Таким образом, ВХР первого контура ВВЭР можно охарактеризовать как коррекционный аммиачно-калиевый.
- Для уменьшения содержания естественных примесей и продуктов коррозии в теплоносителе осуществляется постоянная продувка теплоносителя, т.е. очистка теплоносителя на механических и ионообменных фильтрах. Так, например, для реактора ВВЭР-1000 расход продувки составляет  $\approx 30-35$  т/час.
- Кроме этого, поверхности первого контура, контактирующие с теплоносителем, изготавливаются из коррозионностойких материалов.

## Мероприятия ВХР (теплоноситель)

- Для уменьшения вероятности осаждения примесей на поверхностях оборудования при проектировании контура необходимо избегать застойных зон, а режим течения теплоносителя должен быть турбулентным.
- Чтобы не допускать образования взрывоопасной смеси кислорода и водорода, необходимо предусмотреть возможность периодического удаления такой смеси из мест возможного ее скопления.
- Для одноконтурных ЯЭУ с реакторами, охлаждаемыми кипящей водой, борное регулирование не применяется. Это связано с тем, что в таких системах сложно поддерживать заданную концентрацию борной кислоты: борная кислота довольно хорошо растворяется в паре и может уноситься в турбину, где возможно ее высаждение в проточной части; в конденсатоочистке также возможно ее удаление из конденсата.



## Мероприятия ВХР (теплоноситель)

- Процесс радиоллиза в реакторах, охлаждаемых кипящей водой, протекает в условиях, благоприятствующих интенсивному разложению водного теплоносителя, так как водород и кислород удаляются вместе в паром, и концентрация продуктов радиоллиза в водной фазе стремится к нулю. Соответственно никаких корректирующих добавок, влияющих на процесс радиоллиза, в теплоноситель не вводится.
- Таким образом, вводно-химический режим РБМК является бескоррекционным.
- Поскольку содержание примесей в теплоносителе контролируется очень строго, то для поддержания необходимого качества воды контура многократной принудительной циркуляции (КМПЦ) используется продувка с расходом  $\approx 200$  т/час.
- Дополнительно осуществляется очистка конденсата после конденсатора. В отличие от ЯЭУ с реактором ВВЭР для блоков с реакторами типа РБМК осуществляется глубокая очистка всего турбинного конденсата на механических и ионообменных фильтрах. Очистка конденсата от растворенных газообразных примесей осуществляется в деаэраторе.

## Мероприятия ВХР (рабочее тело)

- Во втором контуре двухконтурной ЯЭУ и в турбинной части одноконтурной ЯЭУ кроме коррозии конструкционных материалов имеют место также следующие процессы.
- Т.к. давление в конденсаторе турбины поддерживается довольно низким (0,004-0,006 МПа), то возможны присосы воздуха через неплотности соединения корпуса конденсатора с выхлопным патрубком турбины.
- Для одноконтурных ЯЭУ следует учитывать также поступление в конденсатор радиолитических водорода и кислорода, а также газовых осколков деления.
- Кроме этого, возможно поступление охлаждающей воды через неплотности в местах заделки трубок в трубные доски.
- В результате присоса газов в конденсаторе ухудшается вакуум, ухудшается теплоотдача при конденсации пара, интенсифицируются процессы коррозии.
- Для удаления неконденсирующихся газов из конденсатора используются эжекторы.
- Дополнительная дегазация конденсата и питательной воды осуществляется в деаэраторах

## Мероприятия ВХР (рабочее тело)

- Присосы охлаждающей воды невелики. Однако вместе с этими присосами в конденсат попадают примеси, содержащиеся в охлаждающей воде, а концентрация примесей довольно большая.
- Поэтому конденсат после конденсатора направляют на конденсатоочистку.
- Чтобы уменьшить накипеобразование на теплообменной поверхности парогенератора, необходимо ограничить общую жесткость питательной воды. Важно также ограничить содержание в питательной воде продуктов коррозии, поскольку с увеличением их выноса в парогенератор может увеличиться подшламовая коррозия.
- В частности, для уменьшения выноса продуктов коррозии в реактор на блоках с РБМК в технологической схеме не используют регенеративные подогреватели высокого давления.
- На блоках с реакторами ВВЭР используют гидразинную обработку воды второго контура.
- Это предотвращает отложения продуктов коррозии на трубках парогенератора, а также способствует образованию защитной пленки на внутренней поверхности оборудования конденсатно-питательного тракта.
- Вместо гидразина в настоящее время рассматривается возможность использования морфалина и этаноламина.