

«ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПЕРВЫХ ЗАГРУЗОК АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ПРИ ЦИРКУЛИРУЮЩЕМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ»

Сударев О.С.

ОАО "Атомтехэнерго", Нововоронежский филиал "Нововоронежатомтехэнерго"

Загрузку в активную зону ТВС при циркулирующим в 1 контуре теплоносителе обычно коротко называют «мокрой» загрузкой, в отличие от доминирующей до настоящего времени «сухой» загрузки.

1. «Сухая» загрузка.

Название сложилось по первой стадии загрузки топлива, когда 60 ТВС грузятся в реактор, практически не заполненный теплоносителем, причем расставляются в активной зоне с «широким шагом» (практически, через одну). При такой расстановке даже залив активной зоны чистым конденсатом не приводит к критическому состоянию.

Затем активная зона заполняется теплоносителем со стояночной концентрацией борной кислоты (не менее 16 г/кг) и активная зона догружается до полного комплекта из 163 ТВС.

Второй существенной особенностью такого способа загрузки является то, что отсутствует циркуляция теплоносителя, когда активная зона заполнена теплоносителем. Поэтому полное название такого способа, отражающее его особенности, должно звучать так: «Сухая загрузка топлива на первой стадии и без циркуляции теплоносителя на второй»

Преимущества «сухой» загрузки:

- Полная безопасность на 1 стадии;
- Хороший визуальный контроль процесса на обеих фазах;
- Возможность прямого и непосредственного контроля правильности загрузки, спустившись на головки ТВС;
- Возможность, при необходимости (неготовности ПМ), проводить загрузку краном, контролируя и вручную направляя ТВС с головок ТВС или с днища корзины;

Но использование способа сухой загрузки в течении более чем 30 лет выявили и существенные недостатки «сухой» загрузки:

- Отсутствие циркуляции теплоносителя. При возможном поступлении чистого конденсата и отсутствии контроля степени его перемешивания с раствором бора, возникают проблемы по ликвидации аварийной ситуации. Были случаи, когда теплоноситель не удовлетворял требованиям ВХР, но удалить его из нижней части корпуса реактора не представлялось возможным.
- Нештатное состояние реактора при загрузке (низкий уровень теплоносителя) не позволяет использовать штатные системы контроля уровня и концентрации борной кислоты. Приходится каждый раз применять дополнительное оборудование: ручные глубинные пробоотборники, сигнализаторы уровня с

ручным способом их установки над поверхностью воды, насос аварийной откачки теплоносителя.

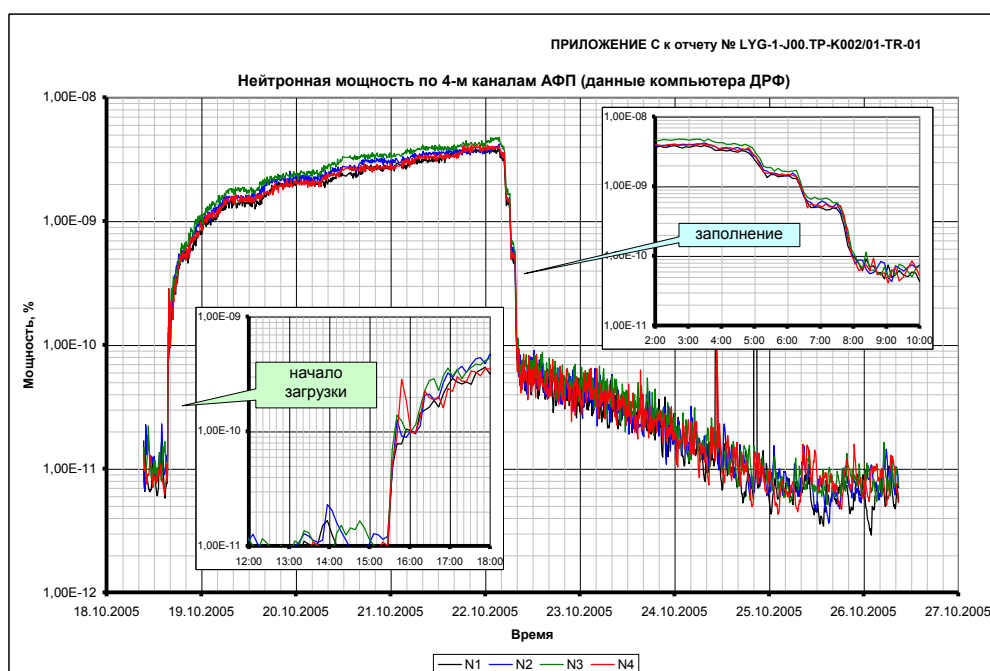
- Само по себе наличие нештатного оборудования в активной зоне несет в себе опасность зацепить за его кабель или наехать на него загружаемой ТВС. Такие случаи случались и неоднократно.
- Сравнительно небольшое количество не циркулирующего теплоносителя в активной зоне и отсутствие перемешивания при возможном поступлении чистого конденсата сокращает «критическое время» и возможности для обнаружения и ликвидации аварийной ситуации. Например, включение насоса подачи концентрированного раствора бора, не гарантирует факт глушения или предотвращения возникновения цепной реакции, т.к. бор может подаваться в одну часть (сектор) активной зоны, чистый конденсат продолжит поступление в другую часть активной зоны и перемешиваться эти два потока некоторое время не будут.

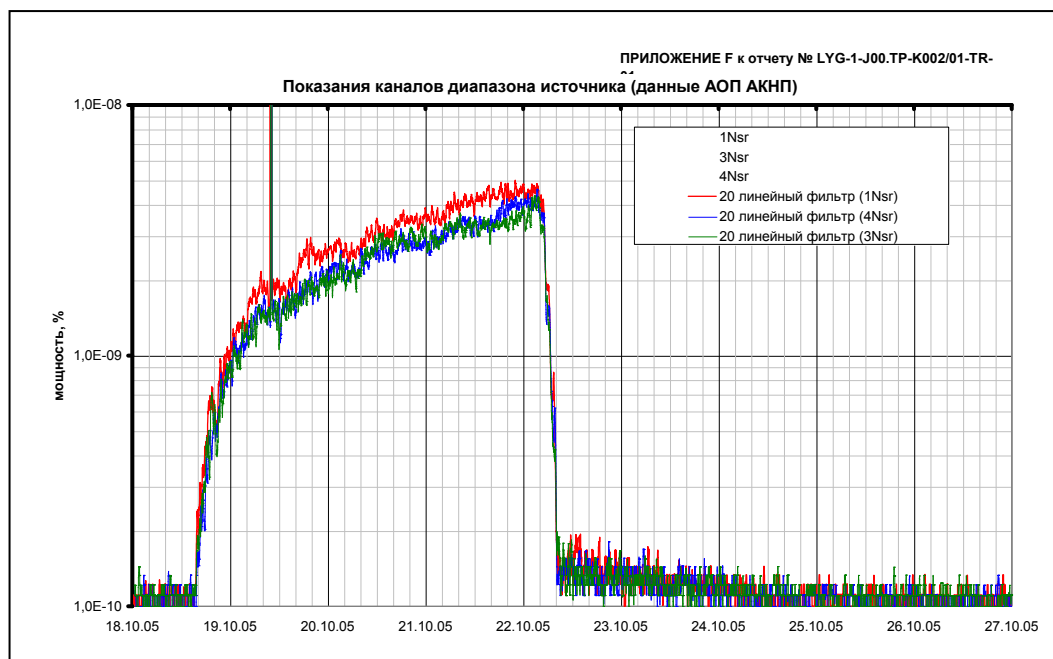
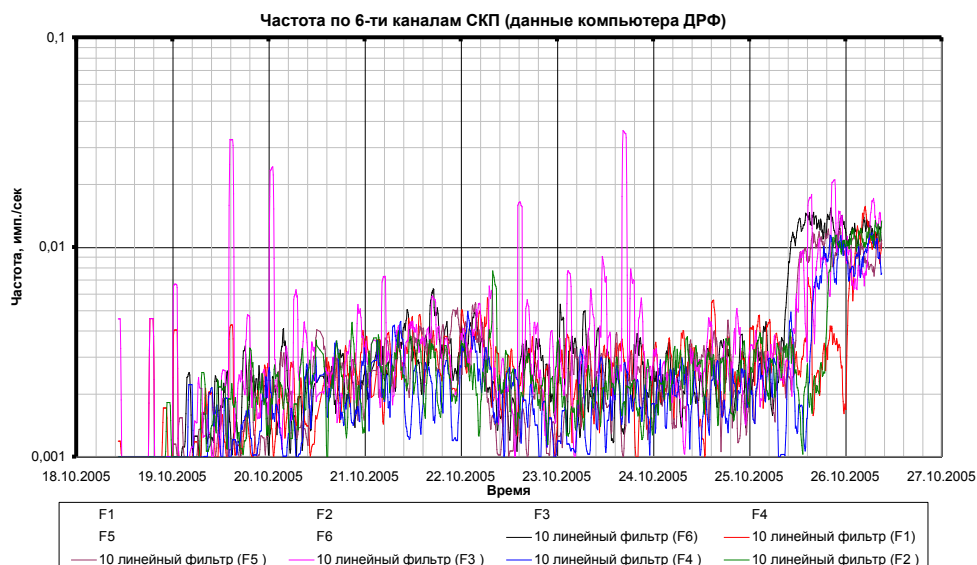
2. Контроль нейтронного потока при загрузке топлива.

Он напрямую не связан со способом загрузки, но имеет важное значение для ядерной безопасности.

В принципе, следует стремиться к тому, чтобы загрузка каждой ТВС в реактор проходила под контролем по приборам контроля нейтронного потока. Имеется в виду, что показания приборов контроля нейтронного потока были не «нулевыми» (выше фона) и наблюдалась реакция на операции по загрузке (показания повышались при вводе ТВС в активную зону и уменьшались при извлечении).

При реализованному к настоящему моменту способу сухой загрузки наблюдается следующее (графики контроля нейтронного потока при первой загрузке на блоке №1 АЭС «Тяньвань» в Китае:





На первой, сухой, стадии, когда в активной зоне отсутствует теплоноситель, все каналы контроля нейтронного потока (АФП – аппаратура первого пуска, СКП – система контроля при перегрузке, ДИ АКНП – диапазон источника штатной аппаратуры контроля нейтронного потока) демонстрируют отклик на загрузку первой ТВС в центр активной зоны. Данный факт отклика важен, т.к. подтверждает работоспособность каналов контроля. Затем показания медленно растут по мере загрузки 60-ти ТВС.

При заливе активной зоны теплоносителем с концентрацией борной кислоты не менее 16 г/кг (обычно 17-20 г/кг) показания всех каналов снова становятся «нулевыми» (фоновыми). И только в самом конце процесса загрузки топлива при загрузке последних ТВС, непосредственно близлежащих к блокам детектирования СКП, они

показывают отклик. И то, только тогда, когда концентрация раствора борной кислоты относительно низка (на блоке №1 ТАЭС концентрация была в интервале 17,0-17,3 г/кг). Фактически загрузка около 100 ТВС происходит вслепую при фоновых показаниях каналов контроля.

До начала внедрения на АЭС вместо АКНП-3 модификации АКНП-7 (1994 год) вся загрузка происходила практически «вслепую» с «нулевыми» показаниями на уровне фона. На некоторых блоках, где не реализуется представление результатов контроля нейтронного потока в форме графиков, развернутых во времени (блоки №3,4 Калининской АЭС) так происходит и сейчас.

3. Препятствия для внедрения «мокрой» загрузки

Основным препятствием для внедрения способа «мокрой» загрузки в проекты АЭС российского дизайна является то, что, считается, что при организации циркуляции и при заливе активной зоны полностью теплоносителем с концентрацией раствора борной кислоты более 16 г/кг, будут полностью отсутствовать показания каналов контроля нейтронного потока. Снова встает вопрос использования внешнего источника.

Способ «мокрой» загрузки с источником уже был неоднократно применен на АЭС «Темелин». Если при вводе в эксплуатацию блоков № 1 и 2 источник применялся американский и имплантированный в американские ТВС, то в 2011 году при замене американских ТВС на российские, но с сохранением действующей на АЭС «Темелин» технологии пуска с источником, российский источник был имплантирован в российскую ТВС. Но дело в том, что, по сути, источник выполняет ту же функцию, что и загрузка первой (первых 60-ти) ТВС «всухую» - работоспособность каналов контроля при загрузке 6-ти ТВС вокруг ТВС с имплантированным источником. Далее сигнал в силу экранирования и поглощения нейтронов в растворе борной кислоты становится опять фоновыми и не реагируют на загрузку остальных 150-ти ТВС.

Таким образом, необходимо искать пути повышения представительности контроля нейтронного потока. Их, по моему мнению, два: первый - повышение чувствительности детекторов, т.е. их технических характеристик, второй - изменение условий при загрузке для облегчения контроля нейтронного потока.

О возможных путях повышении чувствительности детекторов говорится, в частности, в отчете НИЦ «Курчатовский институт» по АЭС 2006 №2006.С.131.&.0UJA&&.JKA&&.022.НК.0078 «Разработка методологии загрузки топлива в реактор при циркуляции теплоносителя».

Возможно, этим занимаются разработчики АКНП: ВНИИАЭС и СНИИП.

Существует и технология дополнительного внешнего источника, имплантированного в ТВС.

Рассмотрим второй путь

4. Обоснование концентрации раствора борной кислоты для первой загрузки топлива.

Основное требование по подкритичности активной зоны для загрузки топлива изложено в ПБЯ РУ АС НП-082-07: «Подкритичность остановленного реактора при

проведении ядерно-опасных работ должна быть не менее 0,02 для состояния реактора с максимальным запасом реактивности» (п.4.19).

Проектом предусмотрено для первой загрузки стояночная концентрация раствора борной кислоты. Что такое стояночная концентрация? Это концентрация, которая должна быть создана при останове до начала расхолаживания 1 контура. Цель: компенсация, прежде всего, температурного эффекта (выделение положительной реактивности при расхолаживании).

А также других эффектов, которые могут возникнуть во время останова, связанных с нештатными ситуациями, такими, как выброс одиночного стержня или подъем вместе с крышкой реактора оказавшихся нерасцепленными ОР СУЗ, включение ГЦН и подача в активную зону необнаруженного «натекшего» чистого конденсата («пробка» ЧК) и т.д. К сожалению, получить информацию с перечнем заложенных в стояночную концентрацию эффектов, не удастся.

Если учесть, что первая загрузка проводится в холодном состоянии реактора со снятой крышкой, можно исключить учет вышеперечисленных эффектов.

Концентрация для загрузки должна определяться, как критическая для данного состояния реактора плюс концентрация, обеспечивающая подкритичность 2% - требование для проведения ядерно-опасной работы (п.п.2.7.2.6 и 4.19 ПБЯ РУ АС НП-082-07).

5. Предварительный расчет концентрации борной кислоты

Для примера взят блок №1 НВАЭС-2.

При температуре 27⁰С критическая концентрация борной кислоты 8.49г/кг.

Максимальное обогащение в ТВС 4.4%.

Эффективность борной кислоты при 20⁰С и С_{бк}=8,28г/кг равна -2,32%/(г/кг).

Получаем значение концентрации раствора борной кислоты для проведения загрузки, учитывая требования ПБЯ:

$$С_{бк}=8,49+2*2,32=13,13\text{г/кг.}$$

Для упрощения ведения контроля концентрации можно принять интервал 13,5-14,00г/кг.

6. Обоснование для дальнейшего снижения концентрации раствора борной кислоты при первой загрузке

Вполне возможно, что при рассчитанной выше концентрации раствора борной кислоты показаний на приборах контроля нейтронного потока не появится. Рассмотрим возможность дальнейшего снижения концентрации борной кислоты.

В п.2.7.2.6 ПБЯ НП-082-07 сказано «В реакторах, где перегрузка осуществляется с расцеплением рабочих органов СУЗ и реактивность компенсируется раствором жидкого поглотителя, перегрузка должна проводиться при введенных в активную зону рабочих органах СУЗ и других средствах воздействия на реактивность..Концентрация раствора жидкого поглотителя должна быть доведена до такого значения, при котором (с учетом возможных ошибок) обеспечивается подкритичность реактора не менее 0,02 (без учета введенных рабочих органов СУЗ)».

Во-первых, пора определиться вместе с представителями Ростехнадзора – о каких ошибках в данном случае идет речь. Иначе данное требование «повисает в воздухе» и может толковаться по-разному. Скорее всего речь идет о возможных «перепутках» ТВС, когда в каком-то месте активной зоны вместо ТВС с ОР СУЗ с минимальным обогащением по ошибке может быть поставлена ТВС без ОР СУЗ с максимальным обогащением.

Для активных зон проекта АЭС-2006 с 121-ю ТВС с ОР СУЗ в случае ошибки возможен случай с нахождением в взаимном контакте трех ТВС с обогащением 4.4% (на периферии). Чтобы исключить такую перепутку необходима такая последовательность загрузки ТВС, чтобы в активную зону первоначально были установлены все ТВС с ОР СУЗ. По внешнему виду головок, которые отличаются от головок ТВС без ОР СУЗ, должна быть проведена проверка, страхующая от перепутки.

Требование, чтобы при определении подкритичности не учитывались органы СУЗ связано, по-видимому, с тем, что при перегрузке заменяются и поглощающие элементы механических органов СУЗ. При этом, локальные части а.з. могут на какое-то время оставаться без твердых поглотителей. Но если при загрузке топлива на втором «мокроем этапе в первую очередь загрузить все ТВС с ОР СУЗ, то это условие подкритичности 0,02 (без учета введенных рабочих органов СУЗ) всегда с запасом выполняется, т.к. эффективность АЗ гораздо больше 2%.

После проведения соответствующих расчетов, доказывающих вышеприведенные логические рассуждения, можно снизить допустимую концентрацию раствора борной кислоты до приемлемого уровня, когда появятся показания детекторов нейтронного потока

Безопасность в случае применения более низкой концентрации увеличится. Все случаи непредусмотренного попадания чистого конденсата в активную зону будут оперативно отслеживаться по графику показаний детекторов. А большой объем циркулируемого теплоносителя гарантирует достаточно большое время для приема необходимых мер - подачи концентрированного раствора бора. Причем, его действие будет эффективно, т.к. при перемешивании положительная реактивность быстро «погасится» в любом локальном объеме активной зоны.

7. Заключение

Дополнительный важный аспект. В последнее время появились ТВС с удлиненными твэлами. Вниз это удлинение составляет до 15 см. Удлинение твэлов вниз на 15 см сильно изменяет условия достижения критичности при заливе зоны снизу (при «сухой» загрузке в стоячий раствор борной кислоты). Ранее считалось, что группа ТВС (от 4 шт, в зависимости от обогащения) становилась критичной при заливе их снизу на 19 см. Значение 19 см было получено для загрузки блока №5 НВАЭС, т.е. со старыми ТВС, где поглощающие стержни и твэлы были перекрыты на всю высоту. И обогащение было меньше (максимальное 3,3 против 4,4 сейчас). Величина 19 см давала возможность: во-первых, вовремя обнаружить поступление ЧК (сигнализаторы вывешивались над поверхностью теплоносителя на 5 и 10 см), во-вторых, успеть найти причину, устранить ее и предпринять меры – включить насос откачки и, одновременно, подать бор. Теперь этот запас времени уменьшился (на сколько, необходимо показать

расчетами) и возможности отказаться от загрузки в циркулирующий теплоноситель нет.

8. Предлагаемые первые шаги в сторону перехода на способ «мокрой» загрузки

Шаг первый. Оставив без изменения первую сухую фазу, безопасную в силу широкого шага расположения ТВС, обеспечить циркуляцию на второй фазе. Пусть после заполнения активной зоны раствором борной кислоты более 16 г/кг мы фактически потеряем контроль за загрузкой ТВС, но продемонстрировав на первой фазе реальные показания всех детекторов, мы будем уверены, что, в случае разгона, показания появятся и меры (подача борного концентрата) можно будет предпринять.

Шаг второй. Для повышения безопасности – реализовать мероприятия по снижению допустимой концентрации раствора борной кислоты, сначала до уровня, обеспечивающего 2% подкритичности. Затем, если этого будет недостаточно, до более низкого уровня, обеспечивающего наличие показаний.

Шаг третий. Обеспечить циркуляцию теплоносителя с самого начала загрузки.

Следует также рассмотреть переход на последовательность загрузки ТВС с способа «от центра к периферии» на способ «от периферии к центру», чтобы с самого начала добиться выхода на показания детекторов. А это обеспечивается загрузкой ТВС как можно ближе к детектору.

Проверку правильности загрузки путем сверки с картограммой следует проводить тоже штатно с помощью телекамеры перегрузочной машины, что уже было апробировано при загрузках на блоках №1 и 2 Тяньваньской АЭС и на АЭС «Бушер».