

ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ ПРОЕКТНАЯ НАДЕЖНОСТЬ И АДЕКВАТНОСТЬ БЕЗОПАСНОСТИ ИНДИЙСКОГО РЕАКТОРА- РАЗМНОЖИТЕЛЯ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Балдев Радж

Автор работает в Центре атомных исследований Индиры Ганди, Калпаккам, Индия.
Адрес для корреспонденции: Baldev Raj, Indira Gandhi Center for Atomic Research, Kalpakkam 603102, INDIA.
Адрес электронной почты: dir@igcar.gov.in

Статья Ашвина Кумара и М.В. Рамана, опубликованная 21 июля 2009 года, относящаяся к безопасности индийского прототипа реактора-размножителя на быстрых нейтронах мощностью 500 МВт-эл. (ПРРБН), в основном сосредоточена на положительном коэффициенте реактивности из-за пустот в теплоносителе, аварии с разрушением активной зоны и удержанию. В этой статье подчеркивается надежное проектирование и особенности обеспечения безопасности, которые были включены в ПРРБН.

Натриевый теплоноситель, используемый для отвода тепла из активной зоны реактора на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением может закипеть, если его температура превысит примерно 900°C, и в нем тогда возникнут пустоты. В реакторе с быстрым спектром нейтронов после того, как в центре образуются эти пустоты, они будут вносить положительную реактивность. Фактом является то, что такой положительный коэффициент реактивности из-за пустот сам по себе не является опасением, в виду того, что коэффициенты обратной связи, такие, как доплеровский эффект в топливе (более высокое поперечное сечение поглощения при более высоких температурах топлива) и коэффициент расширения топлива, которые являются гораздо более сильными и начинают действовать намного раньше начала значительного закипания натрия, поддерживают таким образом коэффициент реактивности мощности отрицательным при всех эксплуатационных и аварийных состояниях. Тем не менее, принимая философию глубокой обороны, в анализе любых постулированных базовых проектных событий не допускается ни массового закипания теплоносителя, ни загорания в местных горячих точках. Любая возможность блокировки потока натрия к топливу или глобального уменьшения потока предотвращается несколькими проектными особенностями активной зоны, такими, как множественные входные отверстия для теплоносителя в стакане решетчатой пластины и подставке субсборки, адаптеры для предоставления альтернативного прохода для теплоносителя в случае блокировки в верхней части, и достаточно большой момент инерции маховика для обеспечения очень медленного уменьшения потока при прекращении подачи питания на первичные натриевые насосы. Более того, множественные обнаружения неисправности измерением подъема температуры натрия в выходных отверстиях субсборок с помощью термопар и обнаружение аномальной реактивности с помощью измерителя реактивности в случае кипения теплоносителя или прохождения газа через активную зону, могут минимизировать риск аварии. Анализ показывает, что полный коэффициент из-за пустот в натрии в активной зоне в два раза превышает долю запаздывающих нейтронов (при делении ядер в среднем высвобождается от 2 до 3 нейтронов). Большая часть нейтронов высвобождается за очень короткое время порядка 10^{-12} секунд. Однако, малая, но весьма влиятельная доля нейтронов, образуется при радиоактивном распаде осколков деления за промежуток времени в несколько секунд. На самом деле на испытательной установке в Соединенных Штатах, Юго-Западном экспериментальном реакторе на быстрых нейтронах с оксидным топливом (SEFOR), проводились эксперименты с выбросом критичности на мгновенных нейтронах с гораздо большим коэффициентом реактивности из-за пустот в натрии, и эти эксперименты ясно показали, что такие выбросы очень хорошо подавляются доплеровской обратной связью реактивности. Следовательно,

можно понять, что не было побуждения еще более уменьшать коэффициент реактивности из-за пустот в натрии с точки зрения безопасности ПРРБН.

В отношении аварии с разрушением активной зоны на первом этапе, начиная с 1956 года, эта авария определялась с высоким уровнем консервативности, на основании которой выделение кинематической энергии оценивалось так, что оно давало на порядок величины большее выделение энергии. Это и цитировалось авторами. Впоследствии огромное количество данных, накопленное в течение многих лет через реалистическое численное и экспериментальное моделирование сценариев серьезных аварий с уточненными данными по поперечным сечениям для нейтронов помогли понять слаживающее воздействие запаздывающих нейтронов, доплеровской обратной связи и движения топлива внутри оболочки. Учитывая вышеупомянутое, будет происходить гораздо меньшее выделение механической энергии. Тенденцию рассматривать меньшее выделение энергии, или даже не рассматривать вообще в проекте аварии с разрушением активной зоны, можно проследить и на международном уровне.

Всеобъемлющий анализ безопасности, проведенный для ПРРБН, включающий возможные инициирующие события, указывает, что выделение механической энергии несущественно (менее 1 мегаджоуля), и что оно вызывает аварии прекращения потока вместе с полным отказом двух систем отключения. Следует отметить, что полный отказ обеих систем отключения является событием с очень малой вероятностью (менее 10^{-6} за год). Тем не менее, ввиду того, факта, что ПРРБН будет самым первым генерирующим энергию реактором, сконструированным в стране, было решено рассмотреть умеренное выделение энергии в 100 мегаджоулей, для которой было спроектировано защитное здание. Это было утверждено комиссией по безопасности после подробных обсуждений. По сравнению с отношениями механической энергии к тепловой мощности (0.03, 0.024, 0.031 и 0.04), рассматриваемыми в недавно спроектированных международных реакторах, а именно, SPX2 (улучшенный проект SPX1 во Франции, БН800 (строящийся российский реактор), DFBR (демонстрационный реактор, спроектированный в Японии), ETR (европейский реактор на быстрых нейтронах), значения, рассматриваемое для ПРРБН (0.08), представляется высоким.

Со ссылкой на проблему удержания, базовое проектное давление для удерживающего здания реактора на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением определялось из подъема температуры и давления, возникающего в результате пожара натрия вслед за выбросом натрия из-под верхней крышки во время аварии с разрушением активной зоны. Следует отметить, что удержание для реактора на тепловых нейтронах проектируется для давления возникающего из-за аварии с потерей теплоносителя, возникающей из-за разрыва трубопроводов первичного контура водяной теплопередачи также как и из-за разрыва паропровода. Проектирование удержания при падении самолета является независимым вопросом. Уместно отметить, что функция удержания для ПРРБН требуется только для случая аварии с разрушением активной зоны. В заключение, следует отметить, что не имеется однозначного соответствия между давлением удержания реакторов с натриевым охлаждением и реакторов с тяжелой водой под давлением. На самом деле Департамент атомной энергии (ДАЭ) обладает твердыми

познаниями в проектировании и строительстве зданий удержания для реакторов, охлаждаемых тяжелой водой, и для реакторов, охлаждаемых натрием.

Помимо упомянутых выше аргументов в проект ПРРБН была включена наилучшая практика конструирования и обеспечения безопасности, и были учтены уроки из примерно 400 реакторо-лет опыта эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах. В отличие от реакторов на быстрых нейтронах прошлых лет, ПРРБН был спроектирован с двумя независимыми быстродействующими системами отключения, специальной системой отвода тепла от распада продуктов деления, и предоставлением средств проверки состояния основного резервуара во время эксплуатации. Кроме того, в качестве глубокой обороны была введена квалифицированная система сбора обломков в резервуаре активной зоны, называемая «уловителем активной зоны». Значительные усилия были затрачены на обеспечение безопасности ПРРБН через расширенный аналитический и численный анализ, а также экспериментальные исследования, моделирующие реальное окружение, включая натрий и температуры, которые выполнялись с помощью собственного опыта и установок и обширного сотрудничества. Помимо этого, способность отвода тепла после аварии четырьмя теплообменниками для отвода тепла от распада гарантировалась тщательными испытаниями и расчетом применения при двойном выделении механической энергии.

За отрицательным отношением некоторых стран к реакторам на быстрых нейтронах или к самой ядерной энергетике стоят не столько научные, сколько политические причины. Похоже, что даже эти страны медленно, но уверенно отходят от своей жесткой позиции. Сравнительная оценка различных систем реакторов для будущего, проведенная GEN-IV, указывает, что реактор на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением рассматривается как наиболее быстро реализуемая усовершенствованная система ядерной энергетике 2020 года.