

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Аннотация: В статье проведен сравнительный анализ возможных сценариев развития запроектных аварий на ядерных реакторах различных типов; установлено, что реакторы на быстрых нейтронах имеют более высокий уровень безопасности по сравнению реакторами на тепловых нейтронах.

Ключевые слова: ядерный реактор, запроектная авария, быстрые нейтроны, медленные нейтроны.

В настоящее время в мировой и отечественной атомной энергетике наибольшее распространение получили атомные электростанции (АЭС) с реакторами трех типов: корпусного типа на тепловых нейтронах – водородные энергетические реакторы (ВВЭР), реакторы большой мощности канальные (РБМК) и реакторы на быстрых нейтронах (РБН). Теплоносителем в реакторах ВВЭР и РБМК является вода, в реакторах БН – жидкий металл натрия [1].

Наиболее опасны на АЭС катастрофы с расплавлением и разрушением активной зоны реактора и выходом во внешнюю среду радиоактивных веществ (за пределы многоуровневой защиты). Концепция управления такими авариями сформировалась в России как четвертый уровень эшелонированной защиты атомных станций после Чернобыльской катастрофы. Появилось понятие «запроектная авария» – авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями, сопровождающаяся дополнительными (по

сравнению с проектными авариями) отказами систем безопасности выше единичного отказа, которые могут привести к расплавлению активной зоны и тяжелым повреждениям.

Вероятность возникновения и развития этих аварий весьма мала, однако последствия катастроф Чернобыля, Три Майл Айленд и Фукусимы свидетельствуют о том, что такие аварии необходимо учитывать.

Основное различие запроектных аварий состоит в событиях, лежащих в их основе и порядке протекания физических процессов на начальной стадии.

В реакторах на тепловых нейтронах тремя обязательными элементами для являются тепловыделитель, замедлитель и теплоноситель. Вода как поглощает, так и замедляет нейтроны (в реакции участвуют медленные нейтроны). В РБМК (например, Чернобыля) замедлитель нейтронов – графит, при выкипании воды сказывается потеря поглотителя, медленных нейтронов становится больше и реактор (и так уже потеряв теплоноситель) разгоняется.

В реакторе ВВЭР замедлитель нейтронов – вода, при ее закипании медленных нейтронов становится меньше, и реакция затухает.

Стоит отметить, что в РБМК кипение идет всегда, а для ВВЭР это аварийный режим. В данном отношении ВВЭР намного безопаснее РБМК.

Если работает аварийная защита (АЗ) и система аварийного охлаждения реактора (САОР), то вероятность взрыва реактора сведена к минимуму. Отключение аварийной защиты (в Чернобыле АЗ была отключена вручную) – серьезное происшествие. При отключенной защите взрыв возможен как на РБМК, так и на ВВЭР. Если разогнать реактор, уменьшить отбор тепла, это приведет к разрыву корпуса реактора.

Корпус ВВЭР намного прочнее РБМК, да и в процессе взрыва (сброса пара) реакция затухнет. Это значит, что последствия запретной аварии на ВВЭР будут значительно меньше чем на РБМК.

В реакторе на быстрых нейтронах (РБН) с натриевым теплоносителем к запроектным авариям относят следующие типы аварий: неконтролируемое увеличение мощности; распространение аварии в отдельных тепловыделяющих

сборках на всю активную зону; прекращение расхода теплоносителя через реактор; прекращение теплоотвода [2].

Другие типы аварий возможны, но основное количество событий включают в данный спектр физических явлений процесса развития аварии. В данном случае предполагается, что срабатывание аварийной защиты реактора в результате множественных отказов не происходит.

При проведении анализа безопасности реакторов РБН принято делить процесс протекания запроектной аварии в случае нарушения нормальной эксплуатации и развития опасного сценария на четыре стадии: начальную, переходную, послеаварийного перемещения материалов и послеаварийного отвода тепла [3]. Две последние стадии максимально опасны, поскольку реактор находится в подкритическом состоянии.

На начальной стадии развития аварии по окончании расхода теплоносителя в реакторе БН начинается кипение натрия в отдельных тепловыделяющих сборках (ТВС), но активная зона сохраняет свою конфигурацию. В этот момент, под действием давления газообразных продуктов деления и повышенных температур может произойти деформация оболочек ТВЭЛов и их разгерметизация. Если не произойдет снижения мощности, в результате отрицательной обратной связи, которая сохраняет несоответствие между энерговыделением и теплоотводом, то это приведет к испарению натрия и как следствие плавлению активной зоны и кипение расплавленной смеси топлива и металла оболочек. Этот этап аварии является переходным, так как полностью нарушена конфигурация активной зоны, однако выхода металла и топлива за ее пределы не произошло [2].

Изначально положительный натриевый пустотный эффект реактивности первичной конструкции реакторов на быстрых нейтронах приводил согласно расчетам к разрушению активной зоны в случае наиболее тяжелой запроектной аварии, с потерей энергопитания и разрушением всех систем управления реактивностью [3].

Новые конструкции активной зоны с отрицательным или близким к нулю натриевым пустотным эффектом реактивности исключали быстрый рост реактивности с началом кипения теплоносителя. Отрицательные обратные связи по реактивности даже в условиях кипения натрия в результате аварии с прекращением расхода теплоносителя через реактор приводят к снижению мощности [3]. Кипящий натрий осуществляет теплоотвод от активной зоны, после снижения мощности остаточного энерговыделения кипение натрия прекращается. При управлении аварией кипение может быть прекращено еще раньше.

В соответствии концепцией относительной безопасности реакторов БН полностью исключить вероятность плавления активной зоны невозможно.

При развитии аварии на этапе кипения натрия, специалистами допускается возможность развития аварии с осушением отдельных участков тепловыделяющих элементов от жидкого натрия. Наличие системы гидравлически связанных параллельных каналов является главной особенностью реактора на быстрых нейтронах. Неустойчивое течение, изменение условий охлаждения в сборках возникает в результате взаимного гидравлического влияния каналов. Гидродинамическое взаимодействие контуров с течением времени приводит к значительному увеличению амплитуды колебаний расхода теплоносителя в них и к возможному запираению (или инверсии) расхода теплоносителя в контурах, к росту температуры теплоносителя и оболочек ТВЭЛов и к возникновению кризиса теплообмена [3]. На осушенных участках будет происходить увеличение температуры оболочек и топлива с их дальнейшим расплавлением. В результате этого требуется рассмотрение дальнейших этапов аварий, для выработки и обоснования организационных мер по управлению аварией и локализации фрагментов разрушенной активной зоны. Дальнейшее развитие аварии с расплавлением активной зоны соотносят с перемещением расплавленной тепловыделяющей массы к днищу реакторного корпуса.

В конструкции энергоблока с реактором на быстрых нейтронах отсутствуют условия, при которых будет происходить быстрое проникновение тепловыделяющей массы на поддон, так как жидкий натрий сохраняется внутри реакторного корпуса. Теплоотвод от элементов разрушенного корпуса активной зоны должен осуществляться внутри реакторного корпуса, согласно принятой концепции безопасности реакторов на быстрых нейтронах. В реакторе на быстрых нейтронах имеется специальный поддон над днищем корпуса, для удержания и охлаждения радиоактивных веществ активной зоны в результате аварии. В результате проведенного сравнительного анализа возможных сценариев развития запроектных аварий на реакторах различных типов можно заключить, что при аварии на РБН жидкий теплоноситель сохраняется внутри корпуса реактора и не исключена возможность остановки топливных масс в области нижней зоны воспроизводства. Это снижает риск выхода радиоактивных продуктов в окружающую среду (в отличие от РБМК и ВВЭР) и указывает на высокий уровень безопасности реакторов типа БН.

В настоящее время остается ряд неопределенностей, относящихся к пониманию некоторых аспектов развития аварий на реакторах БН, поскольку в описании звеньев в дереве событий и причин имеется меньший объем теоретических и экспериментальных данных в сравнении с исследованиями последствий аварий с РБМК и ВВЭР.

Список литературы:

1. Аварии на атомных электростанциях [Электронный ресурс] // Nuclearpeace.jimdo.com : [сайт]. – URL:<http://nuclearpeace.jimdo.com/радиоактивное-заражение/аварии-на-атомных-электростанциях/> (дата обращения: 15.03.2018).
2. Кузнецов, И. А. Безопасность АЭС с реакторами на быстрых нейтрона [Текст] / И. А. Кузнецов ; под ред. В. И. Рачкова. – Москва : ИздАт, 2012. – 631 с.
3. Прогнозирование радиационной и химической обстановки [Текст] : учебное пособие. – Химки: АГЗ МЧС России, 2011. – 123 с.