

УДК 621.039.5

А.С.Грицай (6 курс, каф. РиПГС), А.Я.Благовещенский, д.т.н., проф.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НАПОРНОЙ КАМЕРЕ РЕАКТОРА ВВЭР-1000 ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ РАБОТЕ ПЕТЕЛЬ С ПОМОЩЬЮ РК КОРСАР

С точки зрения теплофизики главная задача безопасности реактора — постоянное поддержание необходимого охлаждения активной зоны во всех возможных режимах (в том числе аварийных) с тем, чтобы предотвратить выход радиоактивных продуктов. Поэтому определение температуры элементов является одной из главных задач теплогидравлических расчетов ЯЭУ. Так как температура активной зоны в нормальных условиях высока и еще выше во время постулированных аварий, то знание характеристик теплообмена и температурных условий работы элементов реактора во всех режимах крайне важно для обеспечения безопасности АЭС. Кроме того, очень важно знание распределения концентрации бора на входе в активную зону реактора, так как от распределения раствора H_3BO_3 по сечению активной зоны зависят реактивностные эффекты, определяющие безопасность режима.

В последнее время для решения этих задач широко используются методы вычислительной математики. Математическое моделирование, применяемое для анализа переходных режимов, проектных и запроектных аварий в реакторных установках, является важнейшим инструментом обоснования безопасности проектируемых и эксплуатируемых объектов атомной энергетики. В мире существует целый ряд расчетных кодов предназначенных для моделирования процессов (теплогидравлических, нейтронно-физических) происходящих в ядерных энергетических установках. К ним относятся такие зарубежные коды как TRAC, RELAP5, ATHLET, CATHARE и прочие.

В 90-е годы, благодаря накопленному банку знаний, а также бурному прогрессу в области компьютерных технологий, в России сложились объективные предпосылки для создания расчетных кодов нового поколения, предназначенных для комплексного моделирования динамики реакторных установок атомных электростанций. Этот процесс был инициирован также потребностями практики:

- необходимостью реконструкции и продлением срока эксплуатации АЭС в связи с исчерпанием ими проектного ресурса;
- сооружением за рубежом АЭС по российским проектам;
- разработкой проектов АЭС нового поколения с пассивными системами безопасности.

Решение всех этих практических задач требует углубленного расчетного анализа переходных режимов, проектных и запроектных аварий АЭС, соответствия уровня обоснования безопасности объектов атомной энергетики не только российским, но и международным нормам.

В связи с этим в России был создан расчетный код КОРСАР (**КО**мплексный **Ра**счет **А**томных **Ре**акторов), разработанный в ГП НИТИ им. А.П. Александрова (г. Сосновый Бор). Он базируется на наиболее совершенных физико-математических моделях. РК КОРСАР является расчетным кодом улучшенной оценки и предназначен для расчетных анализов нестационарных процессов в контурах ЯЭУ с водо-водяными реакторами в стационарных, переходных и аварийных режимах. Однако он одномерный и не может моделировать трехмерные эффекты переноса. Трехмерные теплогидравлические коды (например, типа PHOENIX) занимают слишком много времени, кроме того, они нуждаются в верификации.

Для расчетов активной зоны реактора (теплогидравлических, нейтронно-физических, прочностных) важнейшее значение имеет определение параметров теплоносителя на входе в активную зону. Большинство расчетных кодов предполагают равномерное распределение температуры теплоносителя и концентрации бора на входе в активную зону реактора даже при несимметричной работе петель. Данное предположение может привести к существенной погрешности в расчетах активной зоны, проводящихся для анализа безопасности реакторной установки.

Исследования в указанной области, проведенные в России при пусконаладочных работах на АЭС с ВВЭР, указывают на то, что при имеющихся петлевой конструкции первого контура и конфигурации установленных внутрикорпусных устройств сохраняется определенная обособленность потоков воды на входе в активную зону реактора. Это имеет большое значение для процессов с несимметричной работой петель по температуре, а также для процессов с разбавлением раствора в первом контуре чистой водой.

Программный модуль КАМЕРА, предназначен для расчета пространственного распределения удельной энтальпии теплоносителя и концентрации бора в напорной камере ВВЭР. В модуле КАМЕРА решаются одномерные уравнения сохранения энергии теплоносителя и массы бора в условных каналах, на которые разбивается камера, с учетом поперечного и продольного турбулентного обмена.

Входными и выходными параметрами программного модуля КАМЕРА при расчете напорной камеры реактора являются значения давления, энтальпии (температуры) и расхода теплоносителя во входных патрубках реактора и в каналах активной зоны реактора, включая каналы протечек активной зоны.

Выходными параметрами являются также распределения расходов, энтальпии теплоносителя и концентрации бора в ячейках опускного и подъемного участков напорной камеры.

Для расчетов было выбрано три режима работы реакторной установки.

1. Отсечение одного из парогенераторов от главного парового коллектора, при этом главный циркуляционный насос № 1 оставался в работе. Кроме того, происходил разогрев первой петли, и на вход в активную зону со стороны этой петли поступал более горячий теплоноситель.

2. Отсечение парогенератора № 1 от главного парового коллектора с остановом главного циркуляционного насоса № 1 на 40-й секунде процесса.

3. Непроизвольный впрыск бора в одну из петель из системы подачи бора. При этом по температуре и расходам петли работали симметрично, то есть рассматривалась несимметричность по бору.

Для первых двух режимов ставилось целью получить распределение температуры на входе в активную зону реактора. Кроме того, исследовалось изменение параметров в отсекаемом парогенераторе. Для третьего — определялось распределение концентрации бора на входе в активную зону.

Полученные результаты сравнивались с данными эксперимента, проведенного на 5-ом блоке Ново-Воронежской АЭС, который состоял в следующем: отсекался один из главных паровых коллекторов, в результате чего происходил разогрев петли и на вход в активную зону со стороны отсеченного парогенератора поступал “горячий” теплоноситель. Измерялась температура на выходе из кассет, а затем вычислялась температура на входе в активную зону.

Расчеты показали хорошее соответствие с экспериментальными данными.