

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЁТНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ РУТА ДЛЯ ЛАЭС-2

**А.В. Литышев, С.И. Пантюшин, В.В. Астахов, О.В. Аулова, Д.Л. Гаспаров,
Н.В. Букин, М.А. Быков**

Необходимость разработки РУТА определяется с одной стороны требованиями нормативных документов (НП-001-15), а с другой стороны техническими предпосылками и реализацией в проекте систем и оборудования, которые делают возможной разработку и эффективной реализацию РУТА на энергоблоке АЭС с РУ ВВЭР.

Под техническими предпосылками понимаются возможность использования мирового опыта по разработке стратегий управления тяжёлыми авариями, отечественная и мировая практика расчётного и экспериментального исследования тяжёлых аварий, опыт по анализу тяжёлых аварий и наличие соответствующих расчётных программ.

РУТА определяет действия оперативного персонала по смягчению последствий тяжёлых запроектных аварий, по защите персонала и населения, которые являются условием предупреждения переоблучения персонала и населения свыше определённых проектом значений.

ОКБ «ГИДРОПРЕСС» как Главный конструктор РУ (в данном случае проекта РУ В-491) в 2018 г. принимало участие в разработке расчётного обоснования инструкций руководства по управлению запроектными авариями в части смягчения последствий тяжёлых аварий для энергоблоков № 1 и № 2 Ленинградской АЭС-2.

Для выполнения расчётного обоснования инструкций руководства по управлению запроектными авариями в части смягчения последствий тяжёлых аварий для ЛАЭС-2 в ОКБ «ГИДРОПРЕСС» была разработана расчётная модель РУ ВВЭР-1200 (проект В-491) с использованием аттестованного расчётного кода СОКРАТ/В1. Учитывалось взаимное влияние аварийных процессов в реакторной установке и объёме защитной оболочки, для чего использовался расчётный код КУПОЛ.

В рамках данной работы были проведены варианты расчёты определяющих режимов с моделированием действий оператора и анализом чувствительности для следующих инструкций:

- инструкция ИТА-1 «Подать воду в парогенераторы»;
- инструкция ИТА-2 «Снизить давление в первом контуре»;
- инструкция ИТА-3.1 «Подать воду в первый контур».

Выполнены варианты расчёты следующих определяющих режимов с моделированием действий оператора и анализом чувствительности:

- «Полное обесточивание АЭС с неподачей БРУ-А» при работе на мощности;
- «Малая» течь Ду 25 с отказом активной части САОЗ и полной потерей питательной воды» при работе на мощности;
- «Разрыв четырёх паропроводов в неотсекаемой части с отказом активной части САОЗ» при работе на мощности;
- «Отказ всех каналов системы отвода остаточного тепла» при останове для перегрузки топлива и обслуживания внутрикорпусных устройств.

Вариантные расчёты проведены до достижения выполнения критериев эффективности действий оперативного персонала согласно соответствующей инструкции либо до проплавления корпуса реактора и выхода всей массы расплава и твёрдых фрагментов из корпуса реактора.

При выполнении расчётов принято, что все действия оперативного персонала возможны после момента превышения МПП повреждения твэлов.

Для обоснования инструкции ИТА-1 «Подать воду в парогенераторы» выполнены варианты расчёты режимов:

- полное обесточивание АЭС с неподачей БРУ-А;

- «малая» течь Ду 25 с отказом активной части САОЗ и полной потерей питательной воды.

Расчёты выполнены как без учёта действий оперативного персонала по управлению аварией, так и с учётом действий оперативного персонала по управлению аварией с целями:

- защиты теплообменных труб парогенераторов за счёт подачи воды во все ПГ от насоса вспомогательной питательной воды в различные моменты времени. Критерием успешности действий оперативного персонала является исключение нарушения целостности теплообменных труб ПГ и заполнение всех ПГ до уровня 2500 мм;

- обеспечения теплоотвода от первого контура за счёт подачи воды во все ПГ от насоса вспомогательной питательной воды в различные моменты времени. Критерием успешности действий оперативного персонала является исключение отказа (проплавления) корпуса реактора (снижение температуры активной зоны).

В обоснование инструкции ИТА-1 «Подать воду в парогенераторы» при защите теплообменных труб парогенераторов выполнен термомеханический анализ целостности теплообменных труб ПГ для аварии «Полное обесточивание АЭС с неподачей БРУ-А». При этом параметры термо-силового нагружения (температура и давление) приняты из теплогидравлического расчёта.

Для обоснования инструкции ИТА-2 «Снизить давление в первом контуре» выполнены варианты расчёты режимов:

- «Малая течь (Ду 25) с отказом активной части САОЗ и полной потерей питательной воды» при работе на мощности;

- «Разрыв четырёх паропроводов в неотсекаемой части с отказом активной части САОЗ» при работе на мощности.

Расчёты выполнены как без учёта действий оперативного персонала по управлению аварией, так и с учётом действий оперативного персонала по управлению аварией с целью снижения давления в первом контуре ниже 1,0 МПа к моменту проплавления корпуса реактора за счёт открытия различного числа ИПУ КД и системы аварийного газоудаления из КД в различные моменты времени.

Для обоснования инструкции ИТА-3.1 «Подать воду в первый контур» выполнены варианты расчёты режимов:

- «Малая течь (Ду 25) с отказом САОЗ высокого давления и полной потерей питательной воды» при работе на мощности;

- «Разрыв четырёх паропроводов в неотсекаемой части с отказом САОЗ высокого давления» при работе на мощности;

- «Отказ всех каналов системы отвода остаточного тепла» при останове для перегрузки топлива и обслуживания внутрикорпусных устройств.

Расчёты выполнены как без учёта действий оперативного персонала по управлению аварией, так и с учётом действий оперативного персонала по управлению аварией:

- для сценариев при работе на мощности - для снижения давления в первом контуре до значения, при котором насосы САОЗ низкого давления начинают подачу борного раствора в первый контур с целью исключения проплавления корпуса реактора. В качестве действий оперативного персонала по управлению аварией рассмотрено открытие различного числа ИПУ КД и системы аварийного газоудаления из КД в различные моменты времени;

- для сценария при останове для перегрузки топлива и обслуживания внутрикорпусных устройств – с целью исключения проплавления корпуса реактора. В качестве действий оперативного персонала по управлению аварией рассмотрена подача борного раствора насосами подпитки первого контура в различные моменты времени.

Таким образом, в ОКБ «ГИДРОПРЕСС» выполнено расчётное обоснование инструкций руководства по управлению проектными авариями в части смягчения последствий тяжёлых аварий для энергоблоков № 1 и № 2 Ленинградской АЭС-2:

- инструкция ИТА-1 «Подать воду в парогенераторы»;

- инструкция ИТА-2 «Снизить давление в первом контуре»;

- инструкция ИТА-3.1 «Подать воду в первый контур».

Дополнительно разработаны предложения и рекомендации по корректировке руководства по управлению запроектными авариями в части смягчения последствий тяжёлых аварий для указанных инструкций.

Список принятых сокращений:

- АЭС – атомная электростанция;
- БРУ-А – быстродействующая редуцирующая установка сброса пара в атмосферу;
- ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;
- ИПУ – импульсно-предохранительное устройство;
- КД – компенсатор давления;
- МПП – максимальный проектный предел;
- ПГ – парогенератор;
- РУ – реакторная установка;
- РУТА – руководство по управлению тяжёлыми авариями;
- САОЗ – система аварийного охлаждения активной зоны.