

## ОБЩИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТНОМУ ОБОСНОВАНИЮ СОАИ ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКА №5 ЗАПОРОВСКОЙ АЭС

А. Болибок, В.А.Галкин  
ЗАО “ЭИС”

Энергодар, Запорожская обл., Украина, 71500

Тел: +38-06139-19327, Факс: +38-06139-17551

E-mail: [bolibok@eis.dv-com.net](mailto:bolibok@eis.dv-com.net)

### Введение

Предварительные Симптомно-Ориентированные Аварийные Инструкции для энергоблока №5 Запорожской АЭС (СОАИ ЗАЭС) были разработаны в 1996 г на основе Аварийных Эксплуатационных Инструкций АЭС Beaver Valley (США) проекта Westinghouse (WOG ERG). В рамках программы по внедрению новых аварийных инструкций на ЗАЭС необходимо разработать Документ Технического Обоснования СОАИ. В августе 2001 г на ЗАЭС был начат Проект Расчетного Обоснования СОАИ для обеспечения необходимой аналитической базы. Предполагается, что типовой пакет СОАИ, разработанный и внедренный на ЗАЭС, в дальнейшем будет адаптирован для других АЭС Украины с реакторами ВВЭР-1000.

Общий подход и основные этапы выполнения расчетного обоснования СОАИ ЗАЭС были определены на Фазе 1 проекта [2], которая включает:

- разработку руководства по расчетному обоснованию СОАИ;
- определение существующих теплогидравлических расчетов;
- определение потребностей и основ для дополнительного анализа;
- определение параметров систем и уставок СОАИ, требующих обоснования.

На Фазе 2 проекта планируется выполнить анализ дополнительных т/г сценариев для обоснования действий оператора, параметров систем и уставок, включенных в СОАИ ЗАЭС [2], с использованием модели энергоблока №5 ЗАЭС для кода RELAP5/MOD3.2.

### Определение существующих т/г сценариев

Перед проведением расчетов для обоснования процедур СОАИ была выполнена оценка основных особенностей существующего теплогидравлического анализа, выполненного в рамках ТОБ РУ В-320, ВАБ и АПА энергоблока №5 ЗАЭС. Также был рассмотрен опыт выполнения т/г анализа для валидации СОАИ АЭС Козлодуй (Болгария), переданный на ЗАЭС.

Необходимо отметить, что применение т/г анализа, выполненного для ТОБ РУ, может быть ограничено по следующим причинам:

- недостаточно детальное документирование результатов анализа; т.е. используемых допущений, начальных и граничных условий, описание моделей и требуемых результатов;
- недостаточная длительность расчета параметров для детальной оценки реакции энергоблока;

- избыточный консерватизм используемых допущений (т.е. во многих случаях ИСА включает потерю электроснабжения);
- не моделируются действия оператора.

ВАБ содержит детальный т/г анализ критериев успеха систем [1] для различных аварийных последовательностей по отношению к максимальной температуре оболочек ТВЭЛ 1200°C. Этот критерий приемлемости, как правило, превышает условия нарушения критических функций безопасности (КФБ) в СОАИ. Следовательно, многие сценарии, рассмотренные в ВАБ, могут быть частично применимы для технического обоснования условий входа и выхода из процедур восстановления КФБ, и оценки эффективности некоторых действий оператора. Например, сценарий для течи 1-го контура Ду 50 мм с отказом СОАЗ ВД показывает, что оператор должен начать расхолаживание через БРУ-А не позднее 45 мин, чтобы предотвратить повреждение активной зоны. На этот момент температура оболочек ТВЭЛ не превышает 290°C (Рис.1). Однако, условием входа в СОАИ для восстановления КФБ “Охлаждение активной зоны” принята температура на выходе из ТВС 390°C. Данный сценарий показывает эффективность стратегии расхолаживания, но требует пересмотра критериев для начала действий оператора.

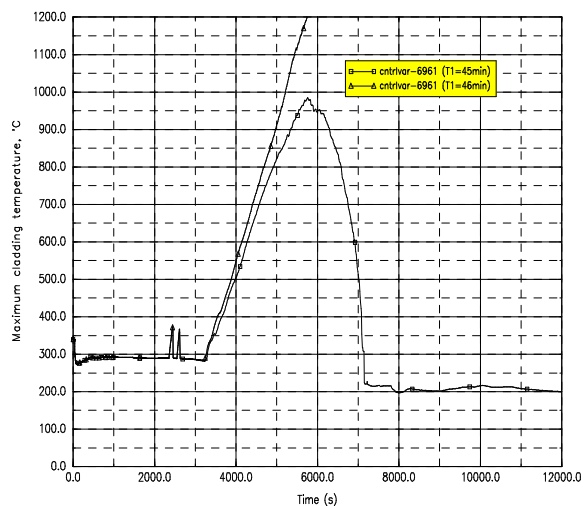


Рис.1 Максимальная температура оболочек ТВЭЛ

Сценарий для полной потери питательной воды ПГ показывает, что оператор должен начать режим сброс-подпитка с открытием клапанов аварийного газоудаления 1-го контура не позднее 160 мин, чтобы предотвратить повреждение активной зоны. Данный сценарий подтверждает эффективность стратегии сброс-подпитка при самых неблагоприятных условиях (Рис.2), после полного выпаривания всех ПГ и значительной потери теплоносителя 1-го контура за счет работы ИПУ КД.

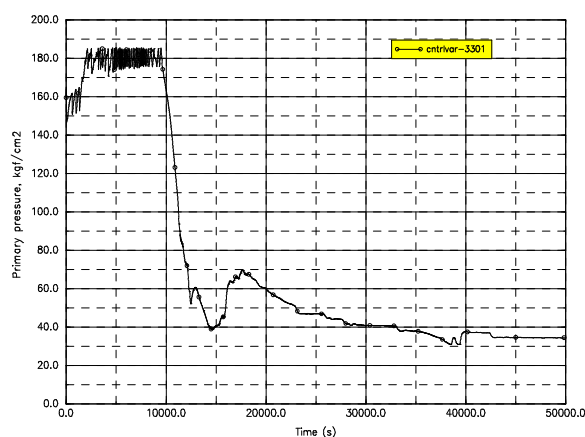


Рис.2 Давление на выходе из реактора

Поскольку, условия выполнения данной стратегии в СОАИ при нарушении КФБ “Теплоотвод по второму контуру” достигаются через 35-40 мин, данный сценарий показывает запас времени у оператора. Сценарий может использоваться для оценки критериев стратегии сброс-подпитка, и увеличения времени на восстановление подачи питательной воды ПГ.

Рассмотренные примеры показывают возможность применения т/г сценариев ВАБ для обоснования некоторых стратегий восстановления, используемых в СОАИ.

ВАБ также содержит оценку располагаемого времени для начала следующих действий оператора:

- расхолаживание через БРУ-К (БРУ-А);
- восстановление подпитки ПГ от ВПЭН (АПЭН);

- объединение баков АПЭН;
- переключение насосов СОАЗ НД на линию планового расхолаживания (ЛПР);
- подпитка 1-го контура от баков запаса бора;
- включение насосов САОЗ аварийной подачи бора высокого давления;
- закрытие БЗОК;
- аварийное газоудаление 1-го контура открытием клапанов системы YR (режим сброс-подпитка).

При сравнении этих действий с действиями в процедурах СОАИ можно отметить, что количество действий в ВАБ ограничено и условия их выполнения отличаются от критериев, используемых в СОАИ. Данное обстоятельство связано со специфической целью ВАБ и указывает на необходимость дополнительного т/г анализа для СОАИ, объем которого рассматривается ниже.

АПА может содержать полезную техническую информацию, не смотря на то, что действия оператора здесь минимальны. В АПА рассмотрены представительные исходные события, действия для которых предусмотрены проектными алгоритмами работы автоматики, и дублируются оператором в соответствующих процедурах оптимального восстановления СОАИ. Для процедур восстановления КФБ сценарии АПА могут использоваться для оценки “базовых” случаев, которые показывают, что энергоблок удовлетворяет критериям приемлемости без действий оператора. Сценарии АПА также могут быть использованы, чтобы показать, что в проектных авариях симптомы наиболее тяжелого нарушения КФБ не достигаются, или восстановление КФБ происходит за счет автоматической работы систем безопасности.

Опыт выполнения т/г анализа для валидации СОАИ АЭС Козлодуй может использоваться:

- для сравнения некоторых стратегий в процедурах восстановления КФБ при выполнении дополнительных анализов по обоснованию СОАИ ЗАЭС;

- для дополнения или подтверждения технической информации ЗАЭС, при анализе сценариев, моделировании и использовании допущений.

Подход к расчетному обоснованию СОАИ также предполагает использование опыта эксплуатации энергоблоков ЗАЭС, полученному при инцидентах и испытаниях. При наличии такой информации, реальное поведение энергоблока в переходном процессе может быть использовано для проверки результатов расчетного анализа или определения новых явлений, не учитываемых в текущей редакции СОАИ.

### **Определение т/г сценариев для дополнительного анализа**

При пошаговом документировании каждой процедуры СОАИ ЗАЭС были определены предполагаемые сценарии и детальный перечень вопросов, требующих расчетного обоснования.

Предполагаемые сценарии выбирались для представительных аварийных последовательностей, которые позволяют

- подтвердить приемлемость условий входа и выхода для данной процедуры;
- проверить эффективность стратегий восстановления данной процедуры или, если необходимо, исследовать новые стратегии восстановления;
- проверить критерии для действий оператора или уставки в данной процедуре;
- оценить возможный неадекватный вход в данную процедуру.

Для того, чтобы избежать повторения анализа для различных процедур СОАИ использовалось группирование сценариев по общим техническим вопросам и/или действиям в стратегиях восстановления. В процессе расчетного обоснования СОАИ ЗАЭС будут рассмотрены следующие общие вопросы:

- критерии останова/ повторного запуска ГЦН;
- критерии вывода/ повторного включения аварийной подпитки 1-го контура;
- критерии снижения расхода аварийной подпитки 1-го контура;
- стратегии восстановления при термическом ударе под давлением и холодной опрессовке 1-го контура;
- стратегии восстановления при стагнации расхода в петлях ГЦТ;
- расхолаживание при естественной циркуляции;
- критерии открытия/ закрытия клапанов аварийного газоудаления 1-го контура;
- минимально-необходимые условия (количество ПГ, расход подпитки и уровни в ПГ) для поддержания теплоотвода по второму контуру;
- критерии ограничения скорости расхолаживания/ декомпрессии 1-го контура через ПСУ второго контура;
- влияние ухудшения условий в ГО на средства измерений.

Подход для расчетного обоснования СОАИ основывается на специфической цели каждого конкретного анализа. В зависимости от требований к моделированию могут использоваться реалистичные условия или консервативные предположения.

Если существующие анализы или опыт эксплуатации показывают, что для некоторых предполагаемых сценариев уже выполнены расчеты, то приоритет их анализа в СОАИ снижается. Решение о необходимости выполнения дополнительных расчетов зависит от степени важности технических вопросов, рассматриваемых в каждом конкретном сценарии.

В отличие от ВАБ и АПА обоснование стратегий восстановления СОАИ не предназначено для анализа безопасности проекта энергоблока и имеет своей целью подтверждение эффективности действий оператора в СОАИ при возникновении соответствующих симптомов, независимо от исходного события аварии.

В настоящем докладе особенности подхода по определению т/г сценариев для дополнительного анализа СОАИ рассматриваются на примере сценариев, разработанных для процедур восстановления КФБ “Охлаждение активной зоны”:

Шаг 1. Условия входа в данные процедуры достигаются при оголении активной зоны и увеличении показаний термопары на выходе из ТВС более 355°C и 390°C, для любого из следующих представительных событий:

- течь теплоносителя 1-го контура с отказом системы подпитки и СОАЗ ВД;
- полная потеря питательной воды.

События с полной потерей питательной воды напрямую приводят к нарушению КФБ “Теплоотвод по второму контуру” и рассматриваются в соответствующих процедурах. Поэтому для течей 1-го контура предполагается работоспособность систем теплоотвода, в отличие от сценариев ВАБ.

Шаг 2. Стратегии восстановления, которые рассматриваются при обосновании:

- восстановление работы СОАЗ ВД;
- режим сброс-подпитка от ГЕ САОЗ и САОЗ НД с использованием системы аварийного газоудаления;
- декомпрессия ПГ для расхолаживания и снижения давления 1-го контура ниже давления срабатывания ГЕ САОЗ и САОЗ НД;
- охлаждение активной зоны включением ГЦН.

Шаг 3. Необходимо оценить размер и местоположение течи 1-го контура:

- на основе существующих анализов наиболее граничной течью является разрыв холодной нитки между ГЦН и реактором;
- размеры течи более 100 мм приводят к снижению давления 1-го контура ниже давления срабатывания ГЕ САОЗ и САОЗ НД без действий оператора, поэтому не представляют интереса для обоснования СОАИ.

**Шаг 4.** Для оценки чувствительности стратегий восстановления КФБ к размеру течи необходимо оценить течи с разрывом менее 100 мм (Рис.3):

- Нижняя граница – некомпенсируемая течь с разрывом 20-30 мм выбирается для оценки эффективности срабатывания ГЕ САОЗ и САОЗ НД. Давление 1-го контура стабилизируется на уровне давления в ПГ и превышает давление срабатывания ГЕ САОЗ, которые остаются заполненными до начала выполнения стратегий.
- Течь с разрывом 50-70 мм выбирается для оценки эффективности срабатывания ГЕ САОЗ и САОЗ НД. Давление 1-го контура ниже уставки срабатывания ГЕ САОЗ, и часть борного раствора уже поступила в 1-й контур до начала

выполнения стратегий.

- Верхняя граница – течь с разрывом 100 мм выбирается для оценки эффективности срабатывания САОЗ НД. Давление 1-го контура ниже уставки срабатывания ГЕ САОЗ, которые опустошаются до начала выполнения стратегий.

В зависимости от размера течи 1-го контура оператор располагает различными системами для выполнения таких стратегий восстановления, как сброс-подпитка и декомпрессия ПГ. Таким образом, определение сценариев для дополнительного анализа включает рассмотрение систем, которые могут повлиять на восстановление КФБ.

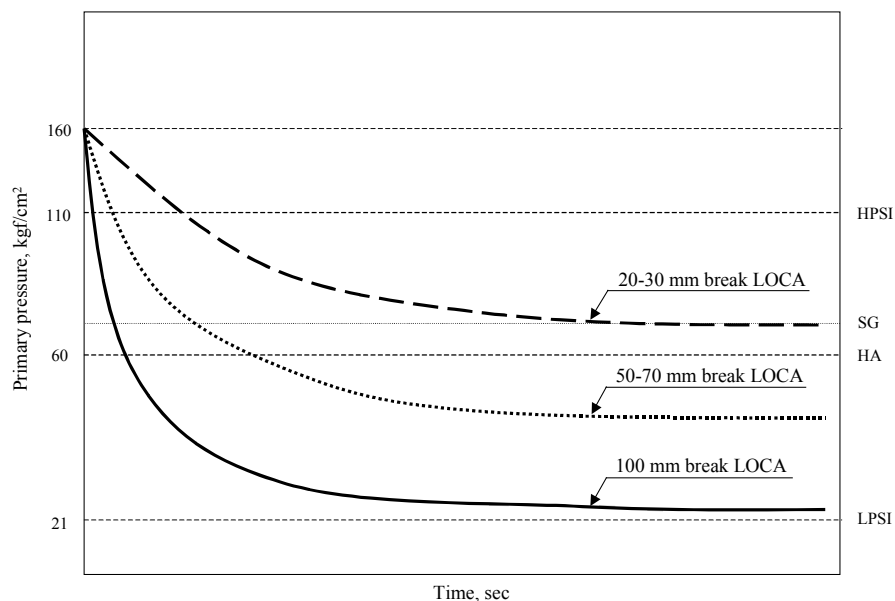


Рис.3 Оценка чувствительности стратегий восстановления КФБ к размеру течи

### Заключение

Аналитическое обоснование СОАИ ЗАЭС может быть выполнено путем интеграции существующих расчетов, выполненных в рамках проекта по углубленному анализу безопасности (УАБ) ЗАЭС, и дополнительного анализа, необходимого для оценки действий оператора, параметров систем и уставок, включенных в СОАИ. Это обеспечит

повышение уровня качества и эффективности работ, выполняемых в рамках программы внедрения СОАИ.

### Перечень литературы

1. “Расчетное обоснование критериев успеха систем для ВАБ энергоблока №5 ЗАЭС”. Болибок А.А., Свердлов В.В., Свердлов А.В. Обнинск. Россия. 2000.
2. Руководство по проекту аналитического обоснования СОАИ ЗАЭС. ZPG-18. 2001.