Пятый международный форум по обмену информацией
“Анализ безопасности для АЭС с ВВЭР и РБМК”
16-20 октября, 2000 Обнинск, Российская Федерация

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ УСПЕХА СИСТЕМ ДЛЯ ВАБ ЭНЕРГОБЛОКА №5 ЗАПОРОЖСКОЙ АЭС

Болибок А.А., Свердлов В.В., Свердлов А.В.

ЗАО “ЭИС”, 71502, УКРАИНА
Запорожская обл., г. Энергодар-2, а/я 61
Тел: +38-06139-17891
Факс: +38-06139-17551
E-mail: m_bolibok@enertek.zp.ua

АННОТАЦИЯ

В докладе представлены некоторые особенности выполнения теплогидравлических расчетов для определения критериев успеха систем, в рамках проекта ВАБ энергоблока №5 Запорожской АЭС для внутренних событий.

Расчетный анализ выполнен для групп ИСА течи теплоносителя 1-го контура, переходные процессы и специальные инициаторы, с использованием модели энергоблока для кода RELAP5/MOD3.2.

КРИТЕРИИ УСПЕХА СИСТЕМ

Определение критериев успеха систем является основной частью разработки деревьев событий для групп ИСА. Критерии успеха систем подразделяются на две категории:

“ПЕРВИЧНЫЕ КРИТЕРИИ УСПЕХА” определяются минимальной конфигурацией систем и временными характеристиками их ввода в работу, при которых выполняются критерии приемлемости для топлива и обеспечивается поддержание функций безопасности.

“ВТОРИЧНЫЕ КРИТЕРИИ УСПЕХА” определяются условиями эксплуатации и работы обеспечивающих систем, необходимых для выполнения системой проектных функций.

Для определения первичных и вторичных критериев успеха систем были установлены критерии приемлемости, которым должна удовлетворять система в каждой АП.

Первичные критерии успеха систем для энергоблока №5 ЗАЭС были определены на основе анализа расчетов с применением теплогидравлической модели для кода RELAP5/MOD3.2.

КРИТЕРИИ ПРИЕМЛЕМОСТИ

Первичные критерии приемлемости

Основной критерий приемлемости для топлива установлен на основании проектных пределов (ОПБ-88 и ПБЯ РУ АС-89) и, для ВАБ 1-го уровня, определен в руководстве ZPG-4:

ПОВРЕЖДЕНИЕ ОБОЛОЧКИ ТОПЛИВА – достижение максимального проектного предела по температуре оболочек ТВЭЛ 1200°С.

Для определения располагаемого времени действий оператора были установлены дополнительные критерии приемлемости:

ЗАПАС АВАРИЙНОЙ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ - подпитка ПГ от баков АПЭН.

ЗАПАС МАССЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ 1-ГО КОНТУРА - подпитка 1-го контура, с учетом емкостей САОЗ и бака-приямка гермооболочки.

КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОГО КОНЕЧНОГО СОСТОЯНИЯ - достижение условий “горячий” или “холодный” останов.

Время достижения безопасного “стабильного” состояния для моделирования АП в ВАБ 1-го уровня определятся, как 24 часа. Рассмотрение событий, находящихся за пределами 24 часов, в общем, не входит в объем конечных состояний исследуемых в ВАБ.

ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ

Для выполнения анализа, все системы необходимые для достижения безопасного конечного состояния были сгруппированы по “функциям безопасности” (ФБ). Для ВАБ 1-го уровня энергоблока №5 ЗАЭС использовались следующие функции безопасности:

ФБ-1 (A,B,C) - Управление реактивностью

ФБ-2 (D) **-** Обеспечение запаса теплоносителя в первом контуре

ФБ-3 (E) **-** Отвод тепла по второму контуру

ФБ-4 (F) **-** Отвод тепла по первому контуру

ФБ-5 (G) **-** Управление давлением первого контура

ФБ-6 (P) **-** Изоляция парогенератора

ФБ-7 (R) **-** Обеспечение электроснабжения

Критерии приемлемости и предположения по конфигурации и работоспособности каждой системы во всем диапазоне ИСА были объединены для определения граничных условий расчета АП.

ТЕЧИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ 1-ГО КОНТУРА

Минимальная конфигурация систем, местоположение течи и граничные диаметры течей 1-го контура определялись для АП, представляющих проектное протекание аварии с успешным выполнением всех ФБ:

S1 - “Большие” течи 1-го контура

S2 - “Средние” течи 1-го контура

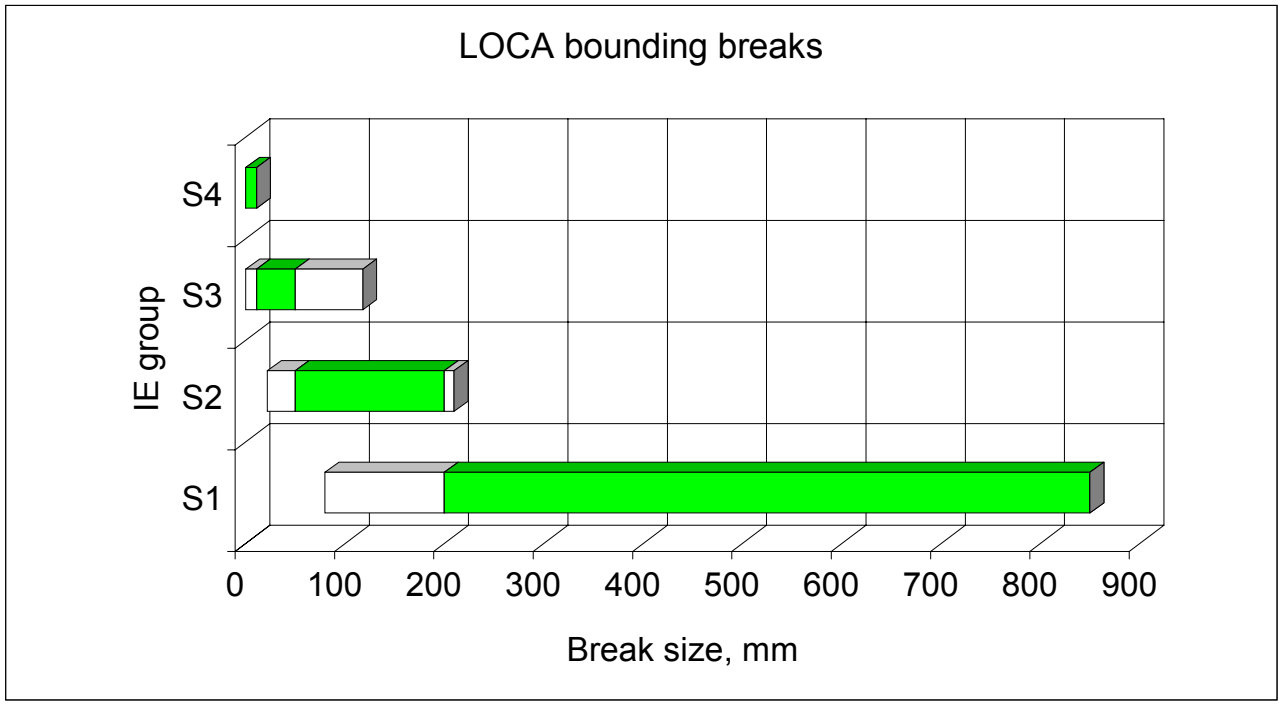
S3 - “Малые” некомпенсируемые течи 1-го контура

S4 - “Малые” течи 1-го контура, компенсируемые системой ТК

S1	-	-	-	2/4 ГЕ САОЗ	1/3 САОЗ НД	-
S2	АЗ	-	1/3 САОЗ ВД	2/4 ГЕ САОЗ	-	-
S3	АЗ	-	1/3 САОЗ ВД	-	-	Т/О 2к
S4	АЗ	ТК	-	-	-	Т/О 2к

Для каждой группы ИСА был проведен анализ аварийных последовательностей (АП) и были выбраны граничные (огибающие) сценарии, которые представляют группы ИСА и обеспечивают минимальный запас по выполнению критериев приемлемости.

ГРАНИЧНЫЕ ДИАМЕТРЫ ТЕЧЕЙ 1-ГО КОНТУРА



ТЕЧИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ 1-ГО КОНТУРА

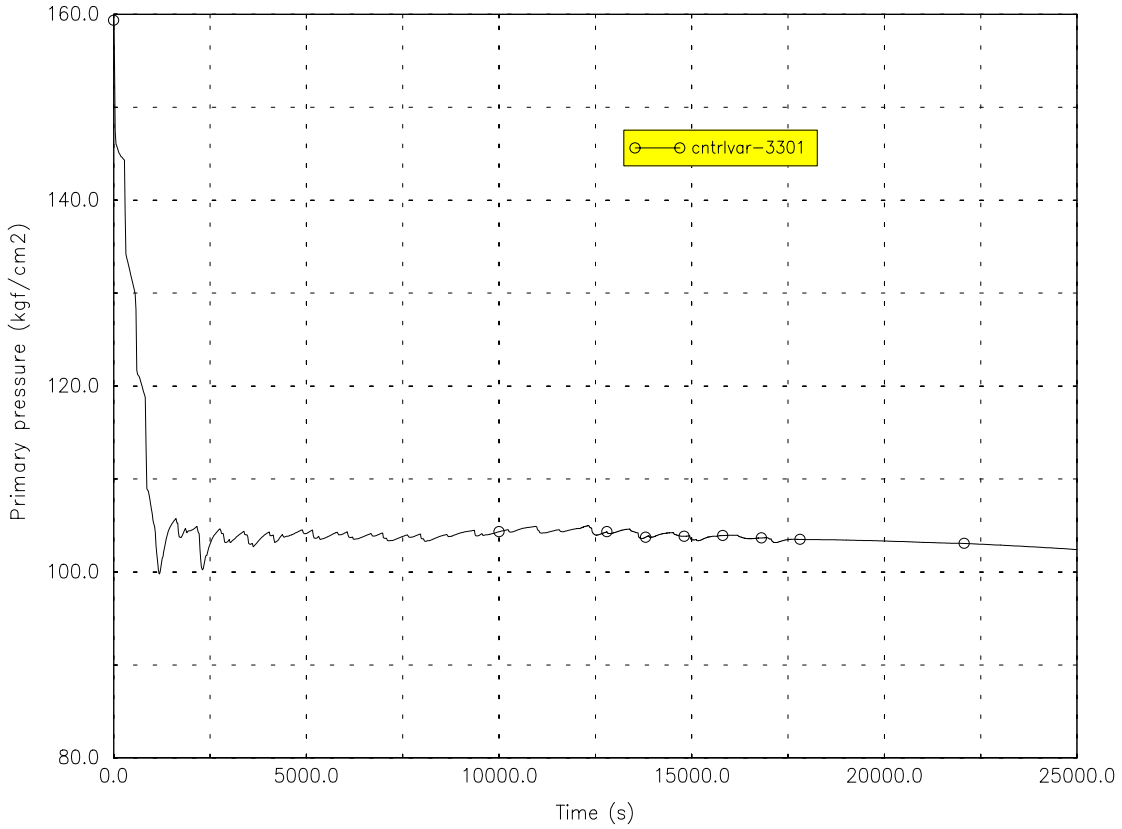
S1: Для “большой” течи 1-го контура ФБ-1 (Управление реактивностью) обеспечивается без срабатывания АЗ реактора.

S2: Для “средней” течи 1/3 каналов САОЗ ВД и 2/4 ГЕ САОЗ обеспечивают выполнение критериев приемлемости до верхней границы Ду 200мм. При этом поддержание **ФБ-3 (Е)** - **отвод тепла по второму контуру** не требуется для диаметров течи более Ду 22мм. Отвод остаточных энерговыделений обеспечивается расходом в течь и подпиткой 1-го контура от САОЗ ВД, со стабилизацией давления 1-го контура менее 110 кгс/см^2. Особенностью данного режима является процесс выпаривания запаса котловой воды ПГ с работой ПК ПГ, который создает пассивный теплоотвод после отключения подпитки ПГ. Отсутствие необходимости поддержания теплоотвода для течи Ду 22мм подтверждается расчетом баланса энергий 1-го контура. Конечное безопасное состояние “холодный” останов, с подключением САОЗ НД, обеспечивается при “средней” течи с эквивалентным диаметром более Ду 50мм, которая была определена как нижняя граница.

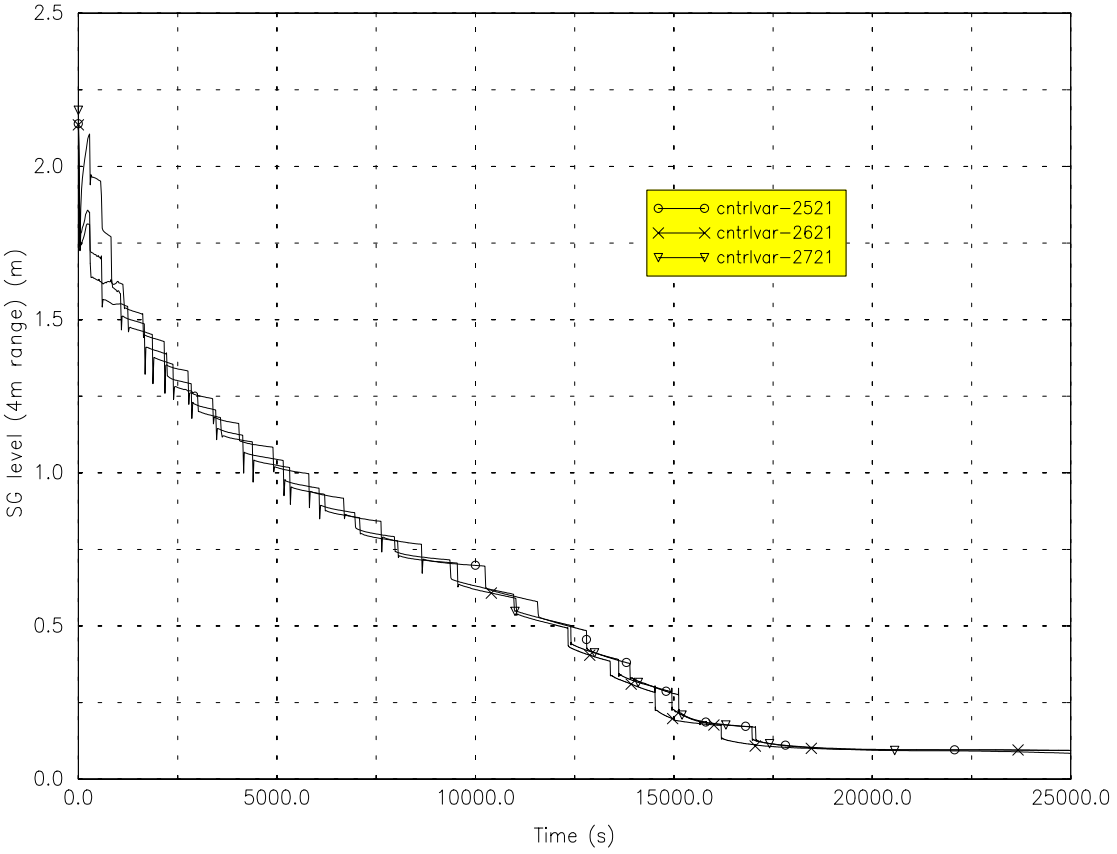
S3: Для “малой” некомпенсируемой течи с верхней границей Ду 50 был выполнен расчет с отказом всех каналов САОЗ ВД, при котором требуются действия оператора по расхолаживанию РУ через 2-й контур. Расхолаживание при скорости 60°С/ч должно быть начато не позднее 45 мин. При таком малом времени большая вероятность ошибки оператора вносит значительный вклад в ЧПАЗ. Изменение критериев по безопасному конечному состоянию и смещение границы между течами 1-го контура S2 и S3 с Ду 50 на Ду 22, позволяет увеличить располагаемое время начала расхолаживания до 5 часов.

S4: Для “малой” компенсируемой течи Ду 11м был выполнен расчет с отказом системы подпитки 1-го контура и САОЗ ВД, при котором расхолаживание не требуется в течение 24 ч.

ДАВЛЕНИЕ НА ВЫХОДЕ ИЗ РЕАКТОРА (ТЕЧЬ ДУ 22ММ)



УРОВЕНЬ В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ (ТЕЧЬ ДУ 22ММ)



ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Для подтверждения выполнения критериев приемлемости и достижения безопасного конечного состояния “горячий” останов был выполнен расчетный анализ переходных процессов:

T1 - Потеря электроснабжения от всех секций 6кВ собственных нужд

T2 - Потеря основной/вспомогательной питательной воды ПГ

T31 - Переходные процессы, ведущие к срабатыванию АЗ

T32 - Потеря вакуума конденсаторов турбины

Граничным (огибающим) сценарием для критерия приемлемости - **запас аварийной питательной воды ПГ** является потеря электроснабжения с расхолаживания РУ при скорости 15°С/ч.

В случае потери питательной воды ПГ выполнение **критерия приемлемости по топливу** обеспечивается открытием аварийного газоудаления YR с подпиткой 1-го контура от САОЗ ВД, при максимально-допустимом времени 2 часа 40 мин.

Восстановление подпитки ПГ должно быть выполнено ранее, чем оператор использует систему YR. Следовательно, располагаемое время на восстановление подпитки ПГ от АПЭН составляет 2 часа, с учетом времени 40 мин на разворот АПЭН.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИНИЦИАТОРЫ

Для подтверждения выполнения критериев приемлемости и достижения безопасного конечного состояния “горячий” или “холодный” останов был выполнен расчетный анализ специальных инициаторов:

T41 - Малая течь из 1-го контура во 2-й контур (Разрыв трубки ПГ)

T42 - Средняя течь из 1-го контура во 2-й контур (Отрыв крышки коллектора ПГ)

T5 - Разрыв трубопроводов питательной воды/пара в пределах ГО

T61 - Неизолируемый разрыв паропровода за пределами ГО (между ПГ и БЗОК)

T62 - Изолируемый разрыв паропровода за пределами ГО

T7 - Потеря каналов VF10,20 технической воды группы “А”

ATWS - Переходные процессы без срабатывания аварийной защиты

T41: При неизоляции “аварийного” ПГ (с непосадкой БРУ-А) оператор должен выполнить расхолаживание через “неаварийные” ПГ до нарушения **критерия приемлемости по топливу**. После расхолаживания РУ оператор должен подключить САОЗ НД на линию планового расхолаживания до того, как будет израсходован запас в баках САОЗ и баке-приямке ГО (**запас массы теплоносителя 1-го контура**). При этом одновременная работа каналов САОЗ ВД и НД ускоряет потерю массы 1-го контура за пределы ГО.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИНИЦИАТОРЫ

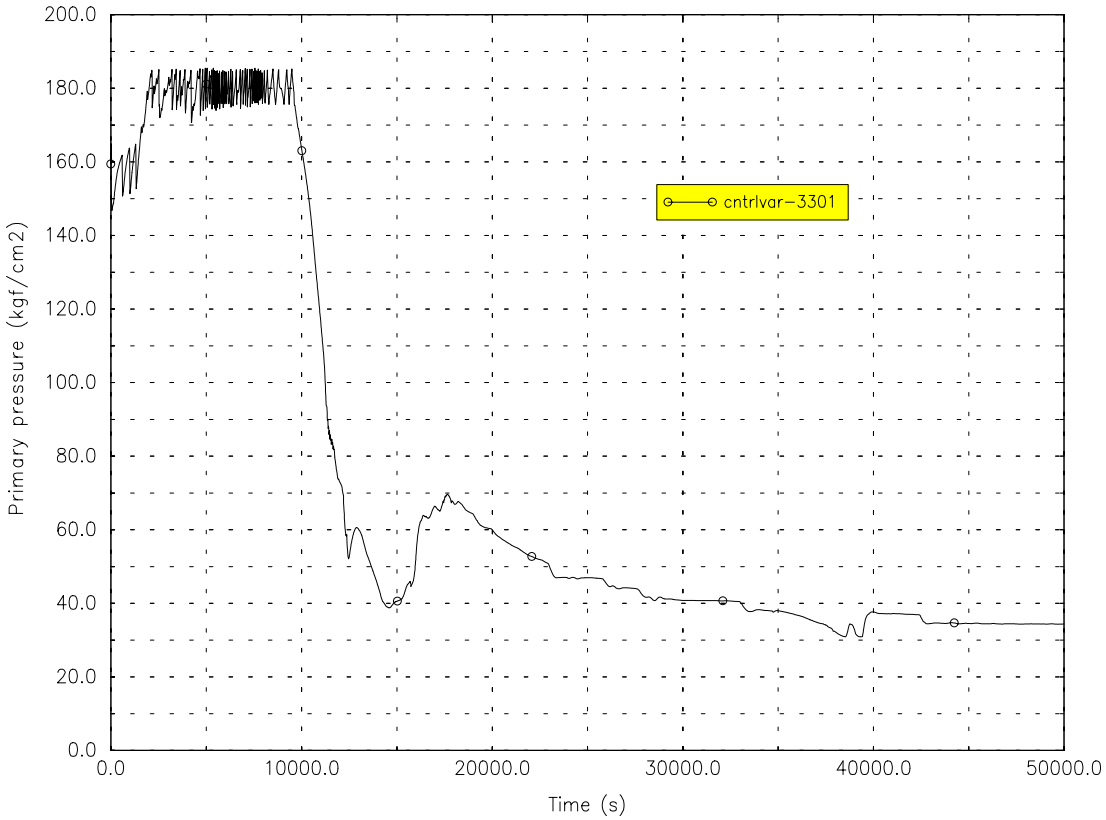
T42: Независимо от изоляции “аварийного” ПГ (режима работы БРУ-А) оператор должен выполнить расхолаживание через “неаварийные” ПГ с максимальной скоростью до нарушения **критерия приемлемости по топливу**. При одновременной работе каналов САОЗ ВД и НД оператор успевает подключить САОЗ НД на линию планового расхолаживания до нарушения **критерия приемлемости по топливу**, но после исчерпания запаса теплоносителя в баках САОЗ и баке-приямке ГО.

T61: При изоляции “аварийного” ПГ, отказ отключения 1/4 ГЦН или всех ГЦН не приводит к выходу в повторную критичность или нарушению **критерия приемлемости по топливу**, вследствие расхолаживания 1-го контура. В случае отказа изоляции “аварийного” ПГ по питательной воде неуправляемое расхолаживание приводит к выходу в повторную критичность, но **критерий приемлемости по топливу** не нарушается. Однако, оператор должен перевести реактор в подкритическое состояние вводом бора в 1-й контур для того, чтобы обеспечить **запас аварийной питательной воды** для теплоотвода по второму контуру.

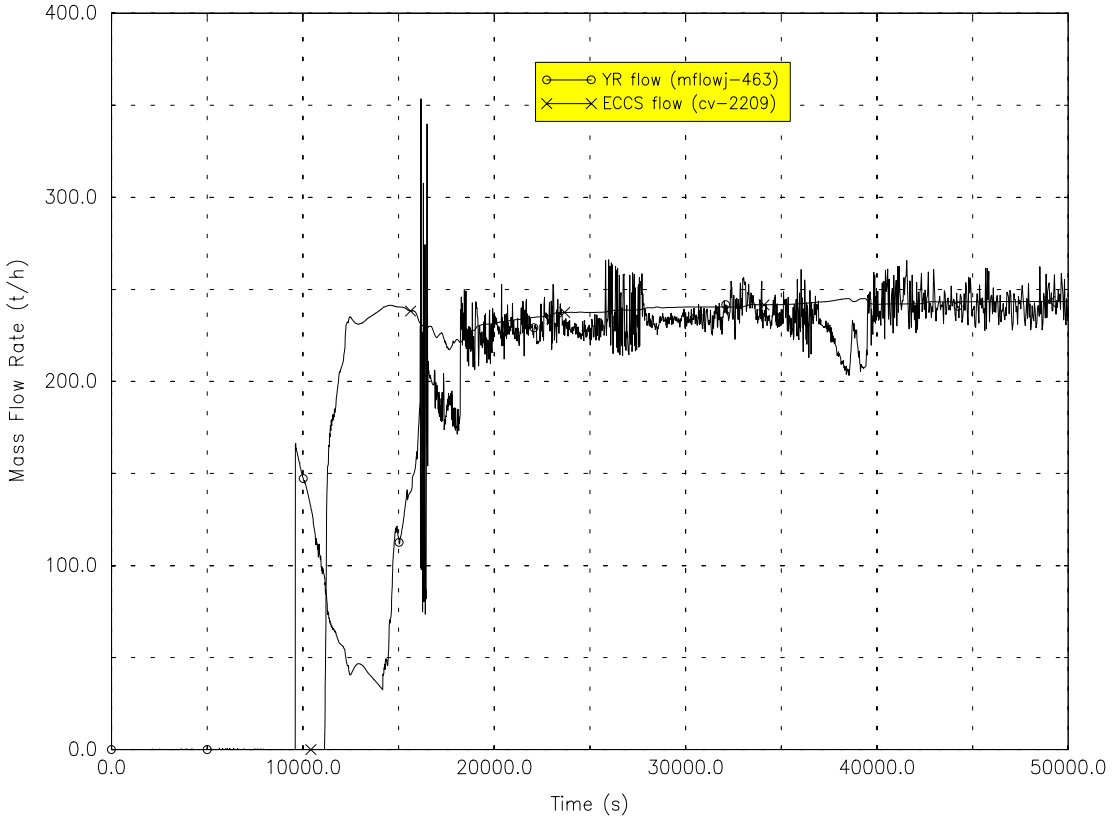
ATWS: При отказе срабатывания аварийной защиты реактора для данной группы ИСА необходимо обеспечить поддержание следующих функций безопасности: **ФБ-1 (Управление реактивностью), ФБ-3 (Отвод тепла по второму контуру) и ФБ-5 (Управление давлением 1-го контура)**. Обеспечение теплоотвода по второму контуру от АПЭН (при потере основной/вспомогательной пит. воды) выполняется переводом реактора в подкритическое состояние за счет ввода бора в 1-й контур. Управление давлением 1-го контура обеспечивается граничными условиями 1/3 ПК КД.

Расчетный анализ системы аварийного газоудаления YR в режиме “Feed & Bleed” показал, что система может быть использована для предотвращения повреждения а.з., в случае полной потери теплоотвода по 2 контуру. При этом теплоотвод от активной зоны обеспечивается со стабилизацией давления 1-го контура на уровне 34 кгс/см^2 и подпиткой от 1/3 каналов САОЗ ВД.

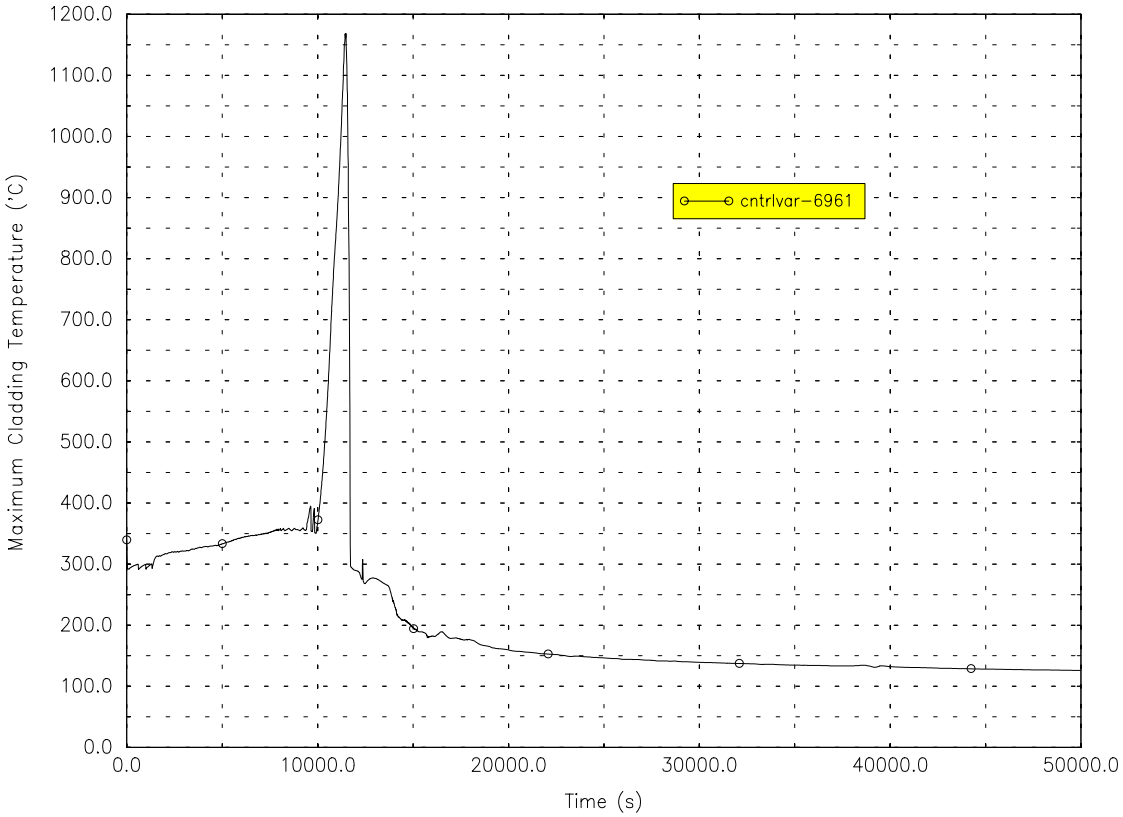
ДАВЛЕНИЕ НА ВЫХОДЕ ИЗ РЕАКТОРА (РЕЖИМ “FEED & BLEED”)



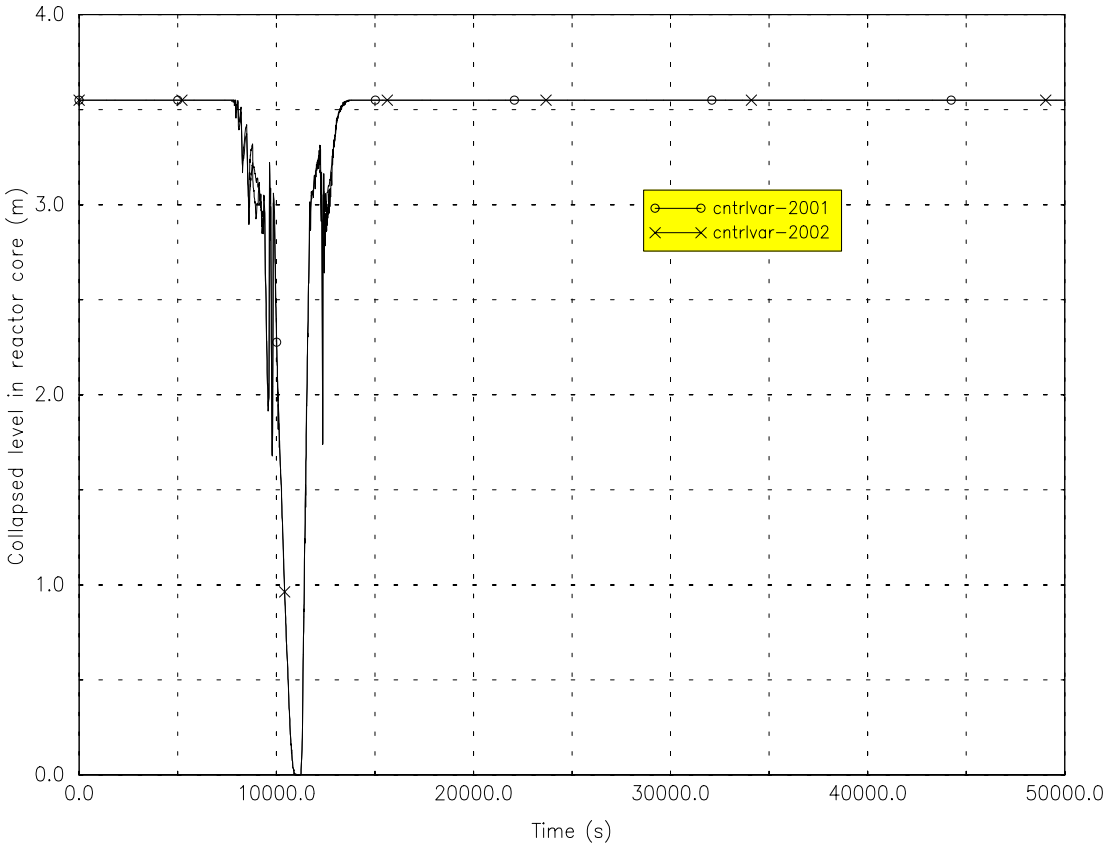
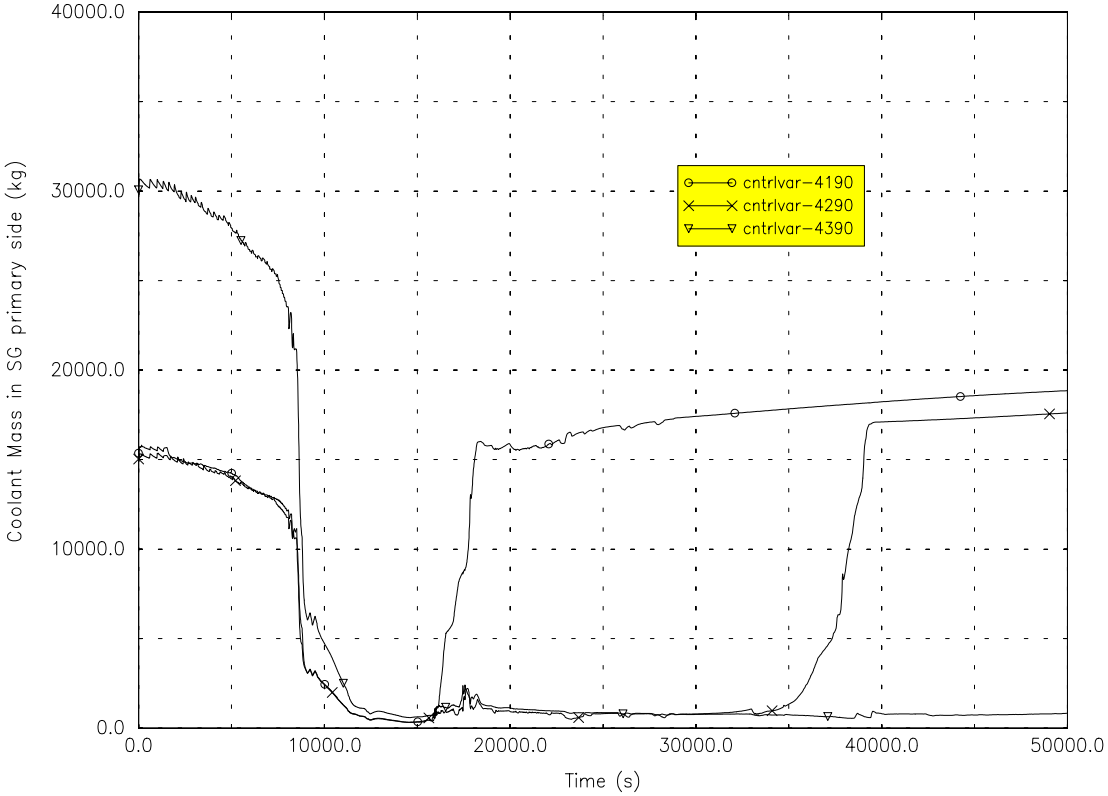
РАСХОД YR И САОЗ ВД (РЕЖИМ “FEED & BLEED”)



ТЕМПЕРАТУРА ОБОЛОЧЕК ТВЭЛ (РЕЖИМ “FEED & BLEED”)



ВЕСОВОЙ УРОВЕНЬ В КАНАЛАХ А.3. (РЕЖИМ “FEED & BLEED”)



МАССА Т/Н В КОЛЛЕКТОРАХ ПГ (РЕЖИМ “FEED & BLEED”)