

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКЕ АЭС С
РЕАКТОРАМИ ВВЭР-1000 ПРИ АВАРИИ С РАЗРЫВОМ ГЛАВНОГО ЦИРКУЛЯ-
ЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ СОМТЕМРТ-1Т/026

Н.И. Колев, Л.С. Съботинов,
Институт ядерных исследований и ядерной энергетики Болга-
рской академии наук.

1. Введение

В настоящей работе представлены результаты численного моде-
лирования процессов в защитной оболочке АЭС с ВВЭР-1000 во вре-
мя аварии с разрывом холодного главного циркуляционного трубо-
провода /ГЦТ/ в непосредственной олизости к реактору. Расчеты
проведены с помощью программы СОМТЕМРТ-1Т/026 /1/. Целью рас-
четов является получение информации о максимальных нагрузках
в защитной оболочке во время аварии с потерей теплоносителя
/АHT/ с точки зрения ядерной безопасности АЭС.

Необходимые геометрические характеристики защитной оболоч-
ки ВВЭР-1000 взяты из /2,3/. Также самое относится к эксплуата-
ционным характеристикам системы аварийного охлаждения-низкого
давления /насосов, теплообменника, распределение расходов на
активную зону и спринклерную установку и др./. Граничные усло-
вия - массовые расходы и энтальпии потоков в месте разрыва взя-
ты из /4/. Расчеты, результатов которых приведены в этой рабо-
те, проведены в такой последовательности, чтобы показать не толь-
ко абсолютные значения параметров, характеризующих процес
/давление и температура как функция времени в проектном случае
приведены на Рис.1,2/, но и их чувствительность к отклонениям
ряда параметров от их номинальных значений.

2. Изменение теплоотдающей поверхности теплообменника системы аварийного охлаждения

Цель настоящей главы проверить:

- 1/ Влияние возможных отклонений и уменьшения эффективно используемой мощности теплообменника на долговременное снижение давления. Это моделируется через уменьшение эффективной поверхности теплообменника;
- 2/ Влияние возможного увеличения поверхности теплообмена на скорость снижения давления в долговременный период.

Расчеты проведены при варировании поверхности: 50%, 100%, 152%, 202%, 253%.

Выводы:

- Двухкратное уменьшение поверхности теплообмена не приводит к опасности, связанной с невозможностью снижения давления в контейнменте;
- Существенное увеличение поверхности теплообмена не приводит к существенному улучшению эффективности системы снижения давления.

3. Изменение начальной температуры технической воды в приемнике системы аварийного охлаждения низкого давления.

Начальная температура воды является важным параметром, влияющим на эффективность давления в течения первых нескольких часов после аварии. Цель настоящей главы исследовать это влияние.

Проведены расчеты с начальной температурой 10, 20, 40 и 80°C.

Вывод:

- Максимум давления при $T=80^{\circ}\text{C}$ на 0.25 бар выше чем при $T=10^{\circ}\text{C}$. Примерно через 3 часа давление достигает своего стационарного состояния около 1 бар.

4. Изменение эффективности конденсации спринклерной установки

При достаточной высоте монтажа разбрызгивающих устройств варьируя эффективность EF между 0 и 1 можем симулировать частичное повреждение спринклерной установки. При $EF=0$ физический смысл следующей:

- разбрызгивающее устройство монтировано в непосредственной близости к полу контейнента;
- разрыв трубопровода спринклерной установки, так что вода поступает струей, а не через разбрызгивающие устройства.

В настоящих расчетах ЕФ принимало следующие значения: 0., 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 и I.

Выводы:

- Изменение эффективности конденсации спринклерной установки с I до 0 приводит к повышению максимума давления на $\Delta p \sim 0.09$ бар;
- Таблица I показывает время достижения стационарного состояния давления. Это важный параметр, определяющий время нагрузки контейнента избыточным давлением, которое со своей стороны влияет и на утечки через возможные неплотности в атмосферу. Видно, что разрыв трубопровода спринклерной установки после теплообменника может привести к долговременному поддержанию давления в контейненте. Очень медленное снижение давления может произойти за счет конденсации на поверхности воды на полу контейнента.

Таблица I

ЕФ	0.	0.2	0.4	0.6	0.8	I.
$\Delta t_{ст}, \text{час}$	22.2	9.44	5.0	3.9	3.6	2.2

5. Изменение массового расхода системы аварийного охлаждения

Уменьшение массового расхода системы аварийного охлаждения может быть связано например с разгерметизацией тракта после насосов низкого давления. Цел настоящей главы - показать влияние изменение этого параметра на нагрузку контейнента. Расчеты проведены для массовых расходов 48%, 100%, 192%, 384%, 767%.

Выводы:

- Двухкратное уменьшение номинального расхода приводит к повышению максимального давления на $\Delta p \sim 0.1$ бар.
- двухкратного уменьшение номинального расхода приводить к уве-

личению времени достижения стационарного давления в контейнменте, т.е. к увеличению длительности нагрузки контейнмента сверхдавлением с ~ 2.2 часа до 7.5 часов, что в свою очередь привело к большему количеству радиоактивности в окружающем пространстве при возможной неплотности контейнмента.

6. Изменение размера негерметичности защитной оболочки /контейнмент-окружающая среда АЭС/

Размер негерметичности контейнмента является величиной, от которой зависит количество радиоактивности, поступающей в атмосферу вокруг АЭС. Здесь исследована негерметичность с поперечным сечением, соответствующим эквивалентному диаметру $D=0.01, 0.05, 0.1$ и 0.2 м. Рис 3 показывает массовый расход к атмосфере в зависимости от времени. Параметром является снова эквивалентный диаметр негерметичности. Первоначальный рост в фазе истечения естественно связано с возрастающим перепадом давления. По достижении критического соотношения давлении истечение становится критическим. Этим объясняется плато на кривых. После этого с уменьшением перепада давлений уменьшается и массовый расход, который впоследствии флуктуирует вокруг ~ 0 кг/сек. Полученный результат можно использовать для последующего анализа диффузии радиоактивных продуктов в окружающей атмосфере. Отдаваемое количество массы может существенно увеличиться, если по техническим причинам сместить время включения спринклерной установки.

7. Изменения соотношения распределения массового расхода системы аварийного охлаждения /спринклерная система-общий массовый расход/

Расчеты проведены для $FR=0., 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 0.99$, где отношение массового расхода через спринклерную установку к общему массовому расходу, протекающему через теплообменник SAOЗ. $FR=0$ означает, что весь расход проходит только через реактор, а $FR=1$ весь расход проходит через спринклерное устройство.

В. ды:

- Самое быстрое снижение давления при $FR=0.6$. Дальнейшее повышение FR до 1 не приводит к более быстрому снижению давления. Изменение FR между 0.4 и 0.6 не меняет существенно характер процесса.

8. Изменение временного интервала после начала АИТ, после которого включается САОЗ - низкого давления

В зависимости от источника электропитания достижение номинального расхода системы аварийного охлаждения может произойти в интервале от 0 до 3 мин. По этой причине были проведены расчеты с запаздыванием включения: $\Delta t_{SP}=0, 3, 6$ мин.

Выводы:

- Трехминутное запаздывание достижения максимального расхода САОЗ - низкого давления приводит к максимальному давлению в контейменте около 4 бар;
- шестиминутное запаздывание достижения максимального расхода САОЗ - низкого давления приводит к максимальному давлению в контейменте около 5 бар. Дальнейшее увеличение времени запаздывания приводит к разрушительным последствиям для контеймента.

10. Заключение

Заключения, которые будут сделаны в результате выводов, проведены в гл.2-8, не учитывают вспышки водорода в контейменте.

Первое заключение относится к следующим консервативным допущениям работоспособности САОЗ:

- Теплоотдающая поверхность теплообменника загрязнена до такой степени, что эффективно может использоваться только половина поверхности.
- Начальная температура технической воды в приемнике $T=80^{\circ}\text{C}$.
- Разрушен главный трубопровод спринклерной системы.

- Частично разрушен трубопровод до теплообменника СА03, так что половина расхода не проходит через теплообменник.
- Свою максимальную производительность СА03 - низкого давления достигает на 3 мин.

I. Заключение:

Учитывая наиболее неблагоприятное достижение вышеуказанных обстоятельств максимальное давление в контейнменте АЭС-Козлодуй 1. /ВВЭР-1000/ составляет 4 ± 0.44 бар при аварии с разрывом холодного циркуляционного трубопровода.

II. Заключение:

В нормальном эксплуатационном состоянии СА03-низкого давления во время аварии с разрывом холодного главного циркуляционного трубопровода максимальное давление в контейнменте составляет $\sim 3.26 \pm 0.44$ бар.

III. Заключение:

Для окончательной оценки контейнмента АЭС-Козлодуй 3 необходим анализ, включающей учет водородной вспышки в контейнменте.

Ю. Текст к рисункам

Рис.1 АПТ в контейнменте АЭС-Козлодуй III. Давление в зависимости от времени.

Рис.2 АПТ в контейнменте АЭС-Козлодуй III. Температура атмосферы T_A и жидкости T_B в зависимости от времени.

Рис.3 АПТ в АЭС-Козлодуй III. Массовый расход к атмосфере как функция времени. Параметр: эквивалентный диаметр негерметичности $D=0.01$ /нижняя кривая/, 0.05, 0.1, 0.2 м.

II. Литература

- /1/ Wheat, L.L., R. Wagner, G.F.Niederauer, C.F.Obenhein, CONTEMPT- T- Computer Program for Predicting Containment Pressure-Temperature Response to a Loss-of-Coolant Accident, ANCR-1219, TID-4500.

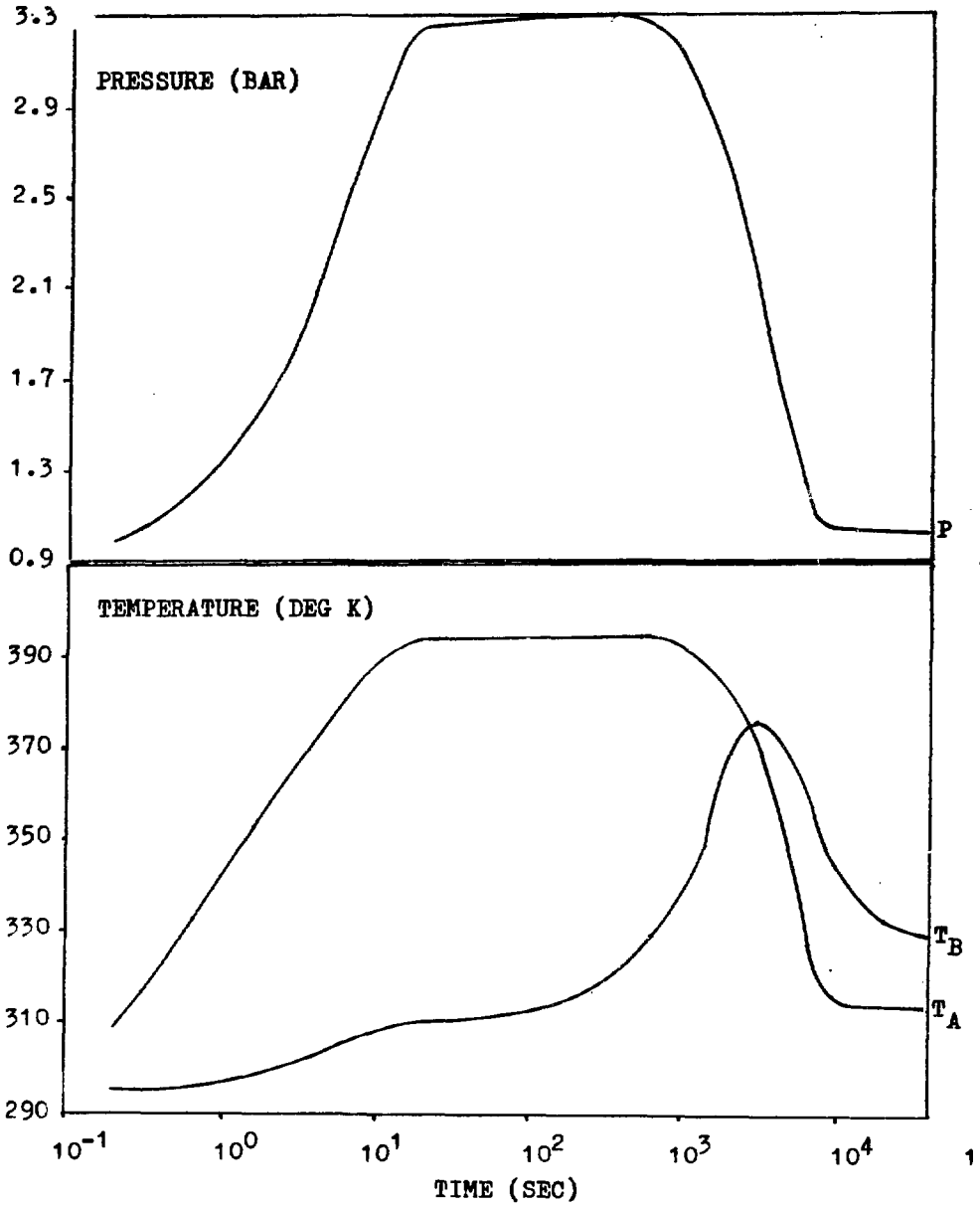


FIG. I, 2

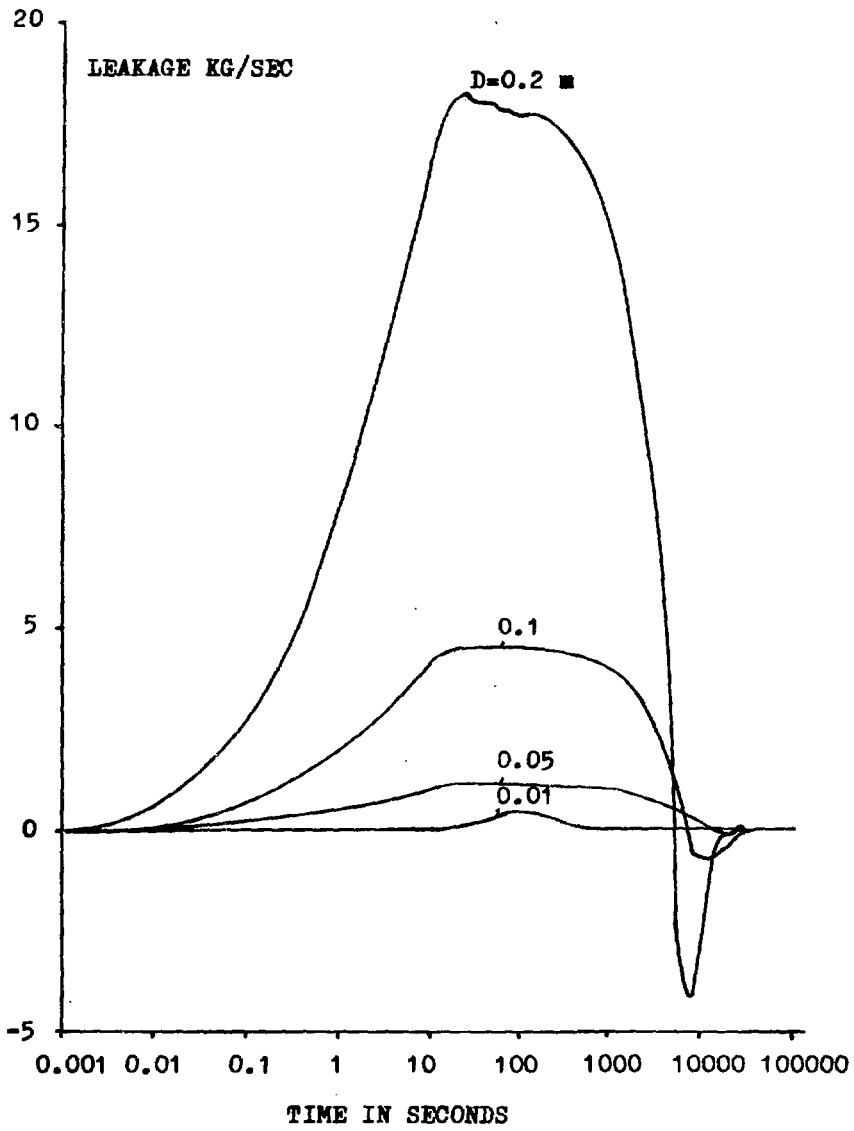


FIG. 3

- /2/ Куровский, В.Б. и др., Строительство атомных электростанций, М, Энергия 1979.
- /3/ АЭС "Козлодуй III" в НРБ, Технический проект, Часть 6, техническое обоснование безопасности АЭС, пояснительная записка.
- /4/ Бояджиев, А., С.Стефанова, Исследование фазы истечения при разрыве ПЦТ реактора ВВЭР-1000 при помощи программы RELAP-4/МОД6, 1983, отчет ИЯИИЭ.
- /5/ Овчинников, Ф.Я. и др., Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических ядерных реакторов, М, Атомиздат 1977.