

РАСЧЕТ НЕКОТОРЫХ ПРОЕКТНЫХ И ЗАПРОЕКТНЫХ АВАРИЙ С ИЗМЕНЕНИЕМ РЕАКТИВНОСТИ ДЛЯ РЕАКТОРА ВВЭР-440 ПО ПРОГРАММНОМУ КОМПЛЕКСУ РАДУГА.

**Попыкин А.И. (НТЦ ЯРБ),
Игнатенко В.В. , Кавун О.Ю. (Атомэнергопроект)**

АННОТАЦИЯ

В докладе рассматриваются расчеты некоторых аварий с изменением реактивности, рекомендованные ТС ТОВ АС-85 для реактора ВВЭР-440/213. В качестве опорного блока выбран 3 блок Кольской АЭС.

Для расчета использован программный комплекс (п/к) РАДУГА-7 /1/, разработанный в институте АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ. Расчеты проводились по трехмерной полномасштабной модели активной зоны с использованием нестационарного двухгруппового диффузионного приближения.

1 Введение

Основным инструментом для исследования аварий с изменением реактивности являются программные средства (ПС). Аварии с изменением реактивности являются сложными процессами, для описания которых требуются ПС совместного нейтронно-теплогидравлического расчета с детальным описанием РУ, учитывающих особенности рассматриваемой установки. Для представительного описания нейтронной физики при таких авариях требуются трехмерные полномасштабные программы нестационарного расчета. Разностная схема активной зоны должна иметь в плане не менее одной точки на ячейку. В настоящее время подобные ПС разработаны и разрабатываются. Одним из таких ПС является программный комплекс РАДУГА-7 /1/, по которому проводились расчеты. Определенную проблему представляет собой получение описания действующих реакторных установок для подготовки исходных данных для расчета. Следует рассматривать представленные в докладе результаты как предварительные. Они могут быть впоследствии скорректированы и дополнены.

2 Постановка задачи

В докладе рассмотрены следующие аварии:

1. Самопроизвольное извлечение группы органов регулирования при наиболее неблагоприятных условиях реактивности в активной зоне, включая режимы:

- 1.1 пуска реактора;
- 1.2 работы реактора на мощности.

2. Выброс органа регулирования.

3. Уменьшение концентрации борной кислоты вследствие отказов в системе борного регулирования.

Моделировались оба контура циркуляции. Основное внимание уделялось изменению характеристик 1 контура. Критерии приемки даются в каждой из исследуемых аварий. Срабатывание предупредительных защит не учитывается.

В отличие от других аварий, рассматриваемых при обосновании безопасности РУ, аварии с изменением реактивности заканчиваются после срабатывания АЗ-1 переводом РУ в подкритическое состояние без нарушения проектных пределов и с сохранением состояния барьеров безопасности. При рассмотрении аварий с изменением реактивности накладываются обычно несколько отказов, чего не требуют нормативные документы. Выбранные нами сценарии аварий рассматривались ранее при обосновании безопасности. Особое внимание при исследовании аварий с изменением реактивности следует уделять при работе реактора на МКУ мощности. Это связано с тем, что влияние обратной связи по температуре топлива

мало. Применение программного комплекса РАДУГА /1,3/ для решения задач подобных рассматриваемым в данной работе и не только для них, приводятся, например, в работах /2,4,5/.

Наложение в качестве дополнительного отказа в аварии с изменением реактивности несрабатывания аварийной защиты приводит к существенно более жесткому протеканию переходного процесса. В некоторых случаях происходит выход параметров РУ за пределы границ безопасной эксплуатации, т.е. нарушаются критерии приемки.

3 Программный комплекс «РАДУГА 7»

Подробное описание методики решения уравнений и программного комплекса «РАДУГА-7» представлено в /1/.

Расчетная схема реакторной установки представлена на **рис. 1**.

Активная зона моделируется в приближении системы параллельных каналов. Каждой тепловыделяющей сборке (ТВС) соответствует отдельный канал. Каналы упорядочены в соответствии со схемой загрузки активной зоны реактора типа ВВЭР (**рис. 2**).

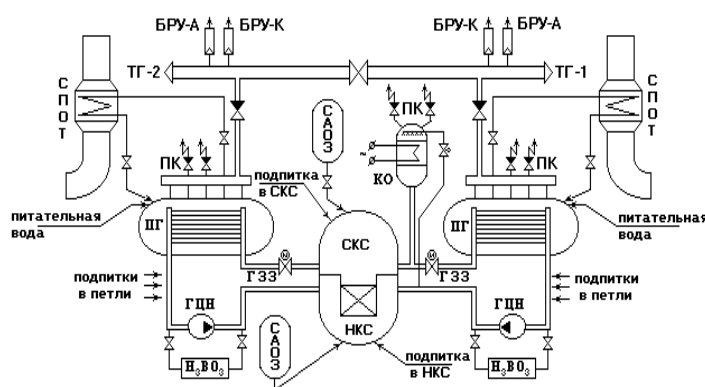


Рис. 1. Расчетная схема реакторной установки АЭС с ВВЭР

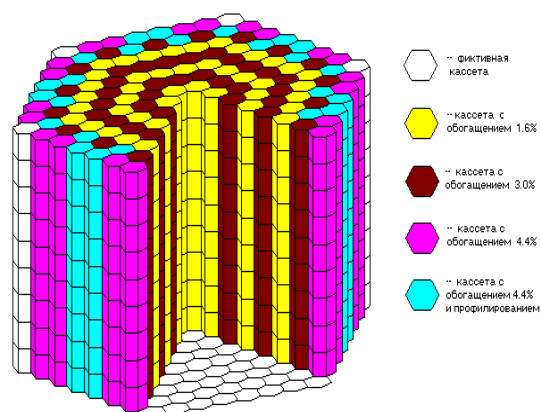


Рис. 2. Расчетная схема активной зоны

В область моделирования динамики реакторной установки входят:

- активная зона реактора;
- опускной участок в реакторе;
- напорная и сборная камеры смешения;
- циркуляционные петли, включая горячий и холодный трубопровод, трубный пучок парогенератора, главный циркуляционный насос (ГЦН), запорные задвижки на горячем и холодном трубопроводах (ГЗЗ), узлы подключения подпиток и отбора теплоносителя, узлы, в которых моделируется течь;
- компенсатор объема, включая дыхательный трубопровод, трубопроводы впрыска, электронагреватели, системы газоудаления и предохранительные клапаны;
- парогенераторы со стороны второго контура в составе питательных трубопроводов, паровых коллекторов и предохранительных клапанов.

Кроме того, предусмотрена возможность моделирования системы пассивного отвода тепла (СПОТ), баков быстрого ввода бора, гидроемкостей САОЗ высокого и низкого давления.

Моделирование динамики реакторной установки осуществляется путем численного решения совокупности систем дифференциальных уравнений нейтронной физики; энерговыделения с учетом радиоактивного распада коротко и долгоживущих продуктов деления; теплопроводности; энергии, движения и баланса массы теплоносителя; баланса массы борной кислоты; термодинамического состояния в компенсаторе объема и парогенераторах и ряда других уравнений.

4 Описание исходных данных

4.1 Нейтронно-физические исходные данные

РУ ВВЭР-440/213 3 блока Кольской АЭС находится в режиме частичной пятигодичной кампании топлива.

В качестве конкретной модели активной зоны взята планируемая 13-ая кампания (1995г.). Для этого по п/к РАДУГА была рассчитана 12-ая кампания, проведена планируемая перегрузка и рассчитана следующая (планируемая) кампания. Результаты расчетов по п/к РАДУГА близки к результатам, полученным по штатному комплексу программ стационарного расчета ВВЭР. Исходя из этого, данная загрузка была принята для проведения расчетов аварийных режимов.

4.2 Теплогидравлические исходные данные

Теплогидравлическая модель РУ подготовлена на основе 1-ой редакции инженерной базы данных для 3 блока Кольской АЭС, разработанной в НТЦ ЯРБ на основе проектной и эксплуатационной документации.

Особенность методики заключается в том, что в ней принят консервативный подход, что отражается в завышении максимальной температуры топлива и оболочки в переходных процессах.

5 Результаты расчетов

5.1 Самопроизвольное извлечение группы регулирующих кассет

5.1.1 Самопроизвольное извлечение группы регулирующих кассет на номинальной мощности

Управляющая группа ОР СУЗ находится на высоте 0.5 высоты активной зоны (125 см). В момент времени $t=0.13$ с, начинается движение рабочей группы вверх с рабочей скоростью 2 см/с вплоть до полного извлечения из активной зоны. При достижении превышения уровня нейтронного потока на 112% срабатывает АЗ-1, т.е. все стержни вводятся со скоростью 25 см/с. Время запаздывания на срабатывание АЗ-1 – 1 с. Считается, что наиболее эффективный стержень застревает в крайнем верхнем положении (дополнительный отказ). Время - конец кампании на боре для опорного варианта.

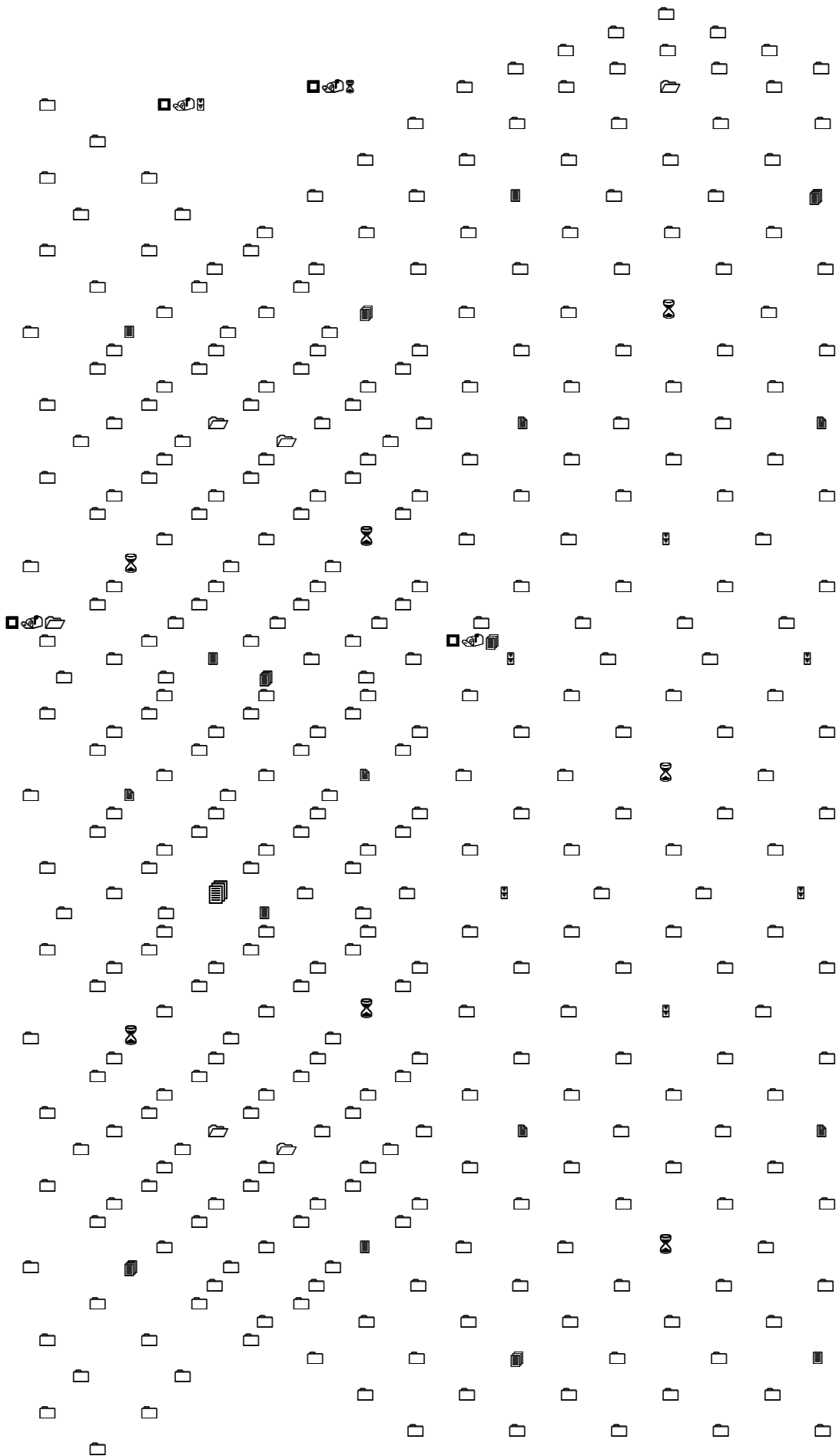
Критерии приемки:

- отсутствие локального плавления топлива;
- минимальный коэффициент запаса до кризиса теплообмена должен быть не менее 1.0 (с учетом погрешности формулы для расчета запаса до кризиса);
- давление в контуре теплоносителя, охлаждающего активную зону, не должно превышать рабочее на 15%.

Основные исходные данные при работе на мощности:

- картограмма активной зоны по номенклатуре каналов и выгоранию топлива;
- тепловая мощность реактора 1402 МВт;
- расход теплоносителя через реактор 8912 кг/с;
- эффективная доля запаздывающих нейтронов 0.0052 (уменьшена на 20%);
- время запаздывания начала движения стержней АЗ по сигналу АЗ-1 1 с, уставка по мощности 112%;
- наиболее эффективный ОР СУЗ застревает в крайнем верхнем положении (**рис.3**);
- конец кампании по бору стационарной топливной загрузки;
- управляющая группа находится на высоте 50% от низа активной зоны при стационарном отравлении.

Результаты расчетов приведены на **рис.4-7**. Минимальный коэффициент запаса до кризиса теплообмена во время переходного процесса не снижается ниже 2.345.



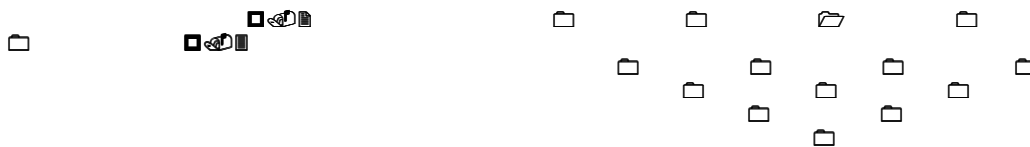


Рис.3. Схема расположения петель циркуляции, рабочей группы ОР СУЗ (6) и наиболее эффективного ОР СУЗ застрявшего в крайнем верхнем положении (4).

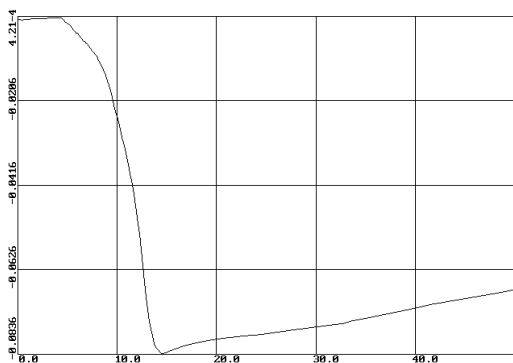


Рис.4 Реактивность

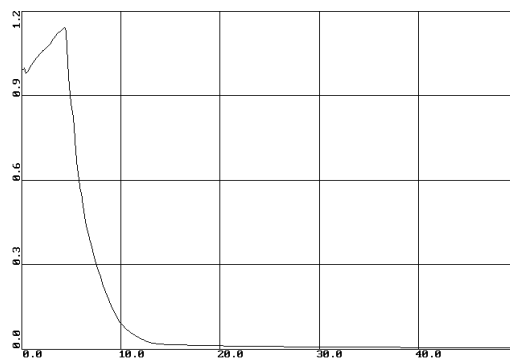


Рис.5 Относительная нейтронная мощность

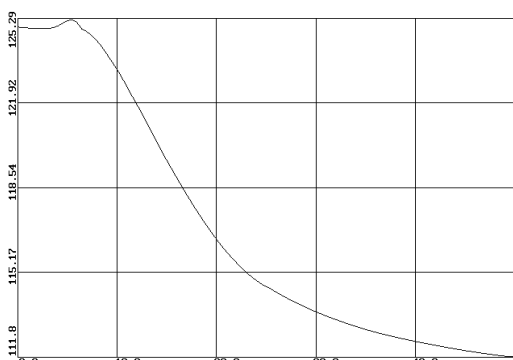


Рис.6 Давление в ВКС, кгс/см²

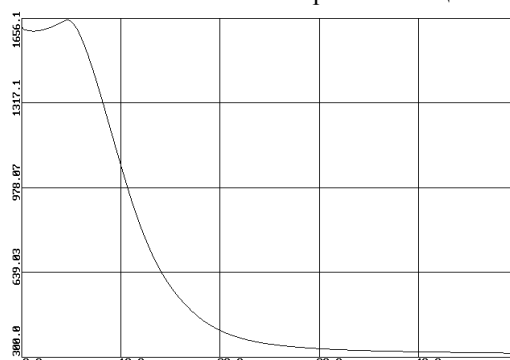


Рис.7 Максимальная температура топлива наиболее напряженного твэла, °С

5.1.2 Самопроизвольное извлечение группы регулирующих кассет на номинальной мощности без срабатывания аварийной защиты

Управляющая группа ОР СУЗ находится на высоте 50% от низа активной зоны (125 см). В момент времени $t=10$ с начинается движение рабочей группы вверх с рабочей скоростью 2см/с, вплоть до полного извлечения из активной зоны.

Критерии приемки:

- отсутствие локального плавления топлива;
- минимальный коэффициент запаса до кризиса теплообмена должен быть не менее 1.0 (с учетом погрешности формулы для расчета запаса до кризиса);
- давление в контуре теплоносителя, охлаждающего активную зону, не должно превышать рабочее на 15%.

Основные исходные данные при работе на мощности:

- тепловая мощность реактора 1402 МВт;
- расход теплоносителя через реактор 8912 кг/с;
- эффективная доля запаздывающих нейтронов 0.0052 (уменьшена на 20%);
- движение стержней АЗ по сигналу АЗ-1 (уставка по мощности 112%) блокировано;
- конец кампании по бору стационарной топливной загрузки;
- управляющая группа находится на высоте 50% от низа активной зоны при стационарном отравлении.

Основные граничные условия:

- граница моделирования второго контура - стопорно-регулирующие клапаны турбогенератора, запорно-регулирующая арматура на линии питательной воды;
 - в качестве граничных условий по второму контуру принят расход острого пара на турбину в зависимости от давления в ПГ, расход питательной воды в ПГ - как функция уровня воды в ПГ.

Результаты расчетов приведены на **рис. 8-17**.

Основные события аварии.

0-10 с - работа реактора на номинальной мощности.

10 с - начало движения рабочей группы вверх со скоростью 2 см/с.

50 с - начало кризиса теплообмена.

55 с - максимальная температура топлива наиболее напряженного ТВЭЛ превышает температуру плавления топлива.

250 с - мощность реактора стабилизируется на уровне 115% от начальной мощности.

Возможно вытеснение парового объема из КД.

Критерии приемки не выполнены.

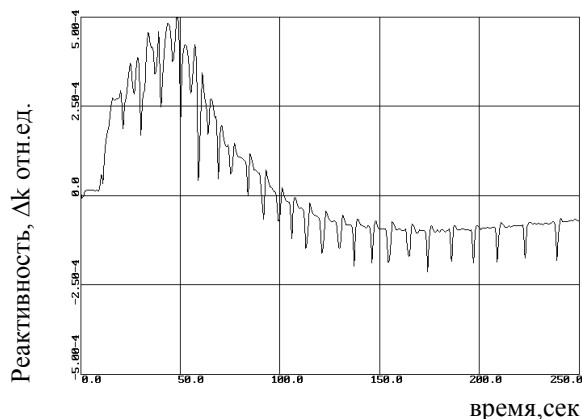


Рис. 8 Изменение реактивности

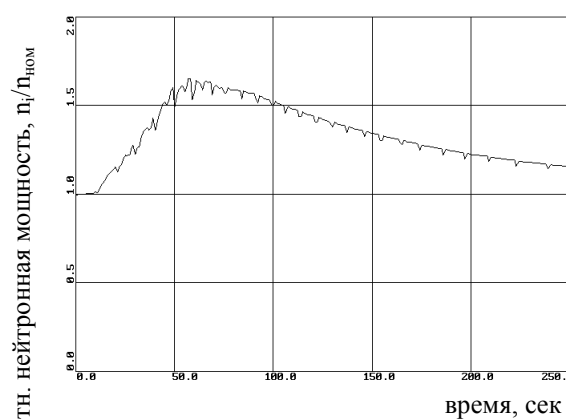


Рис. 9 Изменение относительной нейтронной мощности

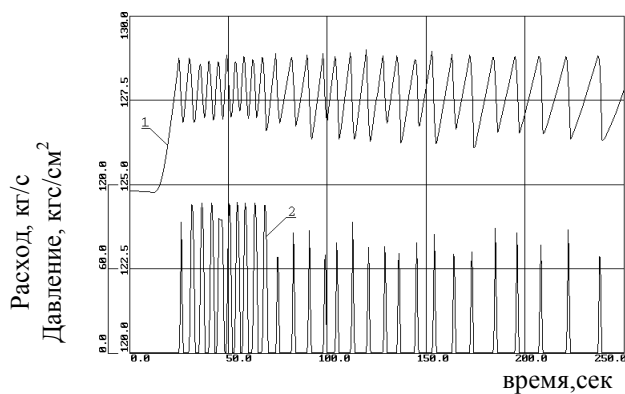


Рис. 10 Изменение давления в I контуре (1) и расхода впрыска в КО (2)

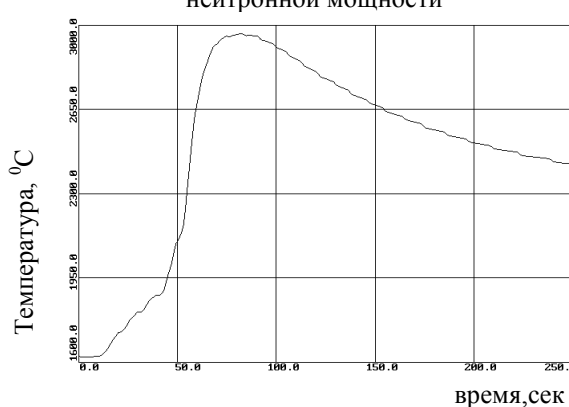


Рис. 11 Изменение максимальной температуры топлива

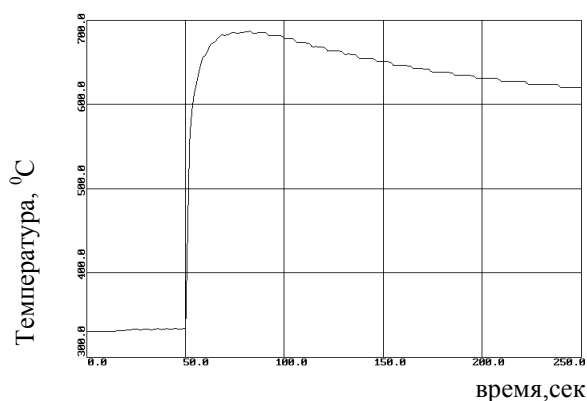


Рис.12 Изменение максимальной температуры оболочки наиболее напряженного ТВЭЛ

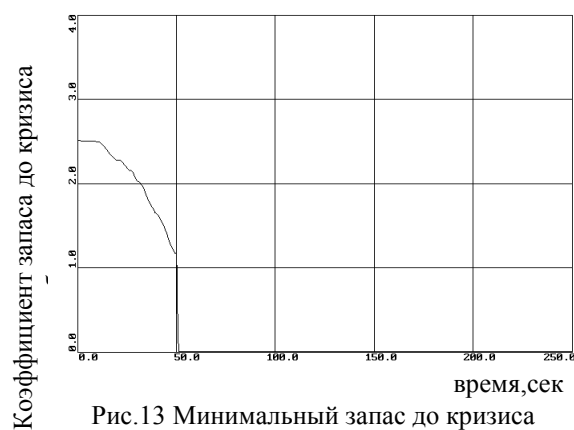


Рис.13 Минимальный запас до кризиса теплообмена в наиболее напряженном ТВЭЛе

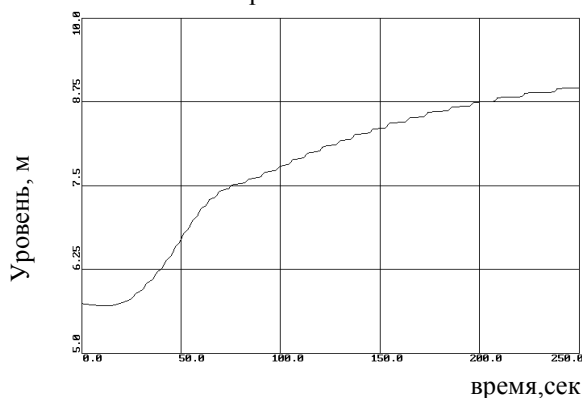


Рис.14 Изменение уровня в КО

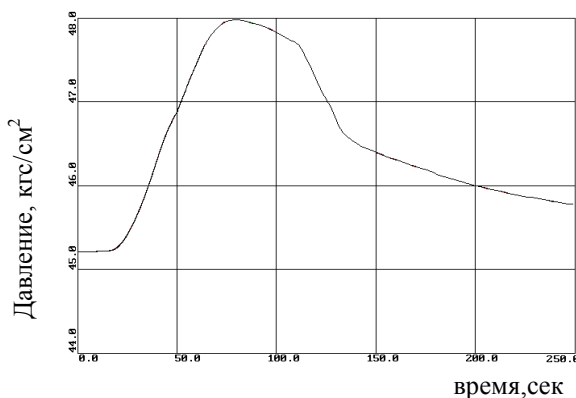


Рис.15 Изменение давления во II контуре

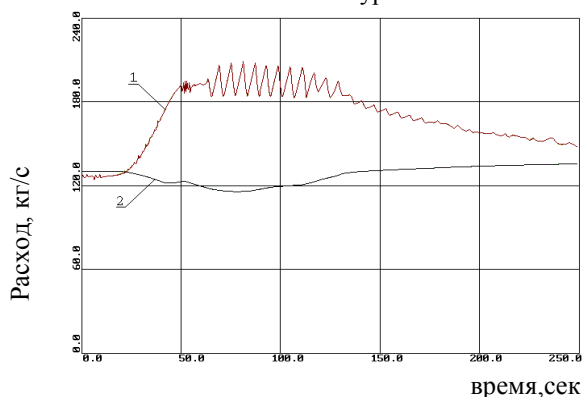


Рис.16 Изменение расхода пара на турбину (1) и питательной воды (2) в ПГ

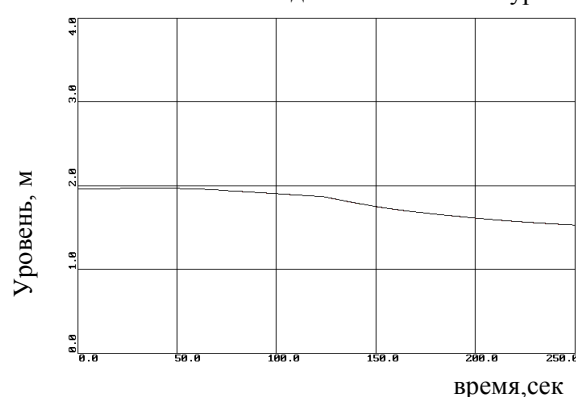


Рис.17 Изменение уровня в ПГ

5.1.3 Самопроизвольное извлечение группы регулирующих кассет на МКУ мощности

Управляющая группа ОР СУЗ находится на высоте 0.5 высоты активной зоны (125 см). В момент времени $t=1.0$ с начинается движение рабочей группы вверх с рабочей скоростью 2 см/с вплоть до полного извлечения из активной зоны. При достижении превышения уровня нейтронного потока 35% от номинальной мощности срабатывает АЗ-1, т.е. все стержни вводятся со скоростью 25 см/сек. Время запаздывания на срабатывание АЗ-1 – 1 с. Предполагается, что наиболее эффективный стержень застревает в крайнем верхнем положении.

Критерии приемки.

- отсутствие локального плавления топлива;
- минимальный коэффициент запаса до кризиса теплообмена должен быть не менее 1.0;
- давление в контуре теплоносителя, охлаждающего активную зону не должно превышать рабочее на 15%.

Наиболее важные начальные условия:

- тепловая мощность реактора 1.402 МВт;
- расход теплоносителя через реактор 4092.5 кг/с (в работе 1,3,5 ГЦН);
- эффективная доля запаздывающих нейтронов 0.0052 (уменьшена на 20%);
- время запаздывания начала движения стержней АЗ по сигналу АЗ-1 – 1 с, уставка по мощности 35% от номинала (1402 МВт);
- наиболее эффективный ОР СУЗ застревает в крайнем верхнем положении (см. **рис. 3**);

- начало кампании по бору стационарной топливной загрузки;

- управляющая группа внизу активной зоны при стационарном отравлении.

Результаты расчетов приведены на **рис. 18-21**. Максимальное давление в первом контуре во время переходного процесса не превысило 129 кг/см^2 .

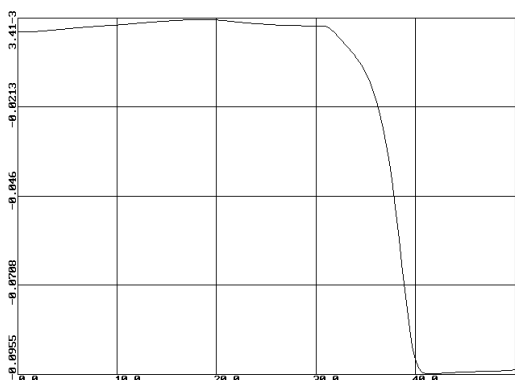


Рис. 18 Реактивность

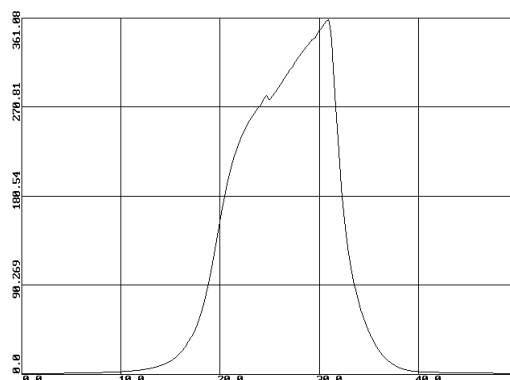


Рис. 19 Относительная нейтронная мощность

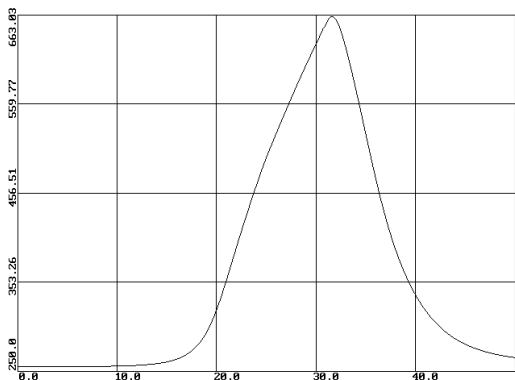


Рис. 20 Максимальная температура топлива наиболее напряженного ТВЭЛ, °С

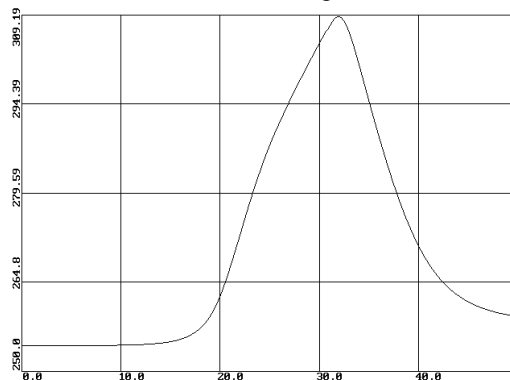


Рис.21 Максимальная температура оболочки наиболее напряженного ТВЭЛ, °С

5.1.4 Самопроизвольное извлечение группы регулирующих стержней на МКУ мощности без срабатывания аварийной защиты

Управляющая группа ОР СУЗ находится на высоте 0.5 высоты активной зоны (125 см.). В момент времени $t = 1 \text{ с}$ начинается движение рабочей группы вверх с рабочей скоростью 2 см/с , вплоть до полного извлечения из активной зоны.

Критерии приемки:

- отсутствие локального плавления топлива;
- минимальный коэффициент запаса до кризиса теплообмена должен быть не менее 1 (с учетом погрешности формулы для расчета запаса до кризиса);
- давление в контуре теплоносителя, охлаждающего активную зону, не должно превышать рабочее на 15%.

Наиболее важные начальные условия:

- тепловая мощность реактора 1.402 МВт;
- расход теплоносителя через реактор 4092.5 кг/с (в работе 1,3,5 ГЦН);

- эффективная доля запаздывающих нейтронов 0.0052 (уменьшена на 20%);
- движение стержней АЗ по сигналу АЗ-1 блокировано;
- начало кампании по бору стационарной топливной загрузки;
- управляющая группа внизу активной зоны при стационарном отравлении.

Наиболее важные граничные условия:

- граница моделирования второго контура - стопорно-регулирующие клапаны турбогенератора, запорно-регулирующая аппаратура на линии питательной воды;
- в качестве граничных условий по второму контуру принят расход острого пара на турбину в зависимости от давления в ПГ; расход питательной воды в ПГ - в зависимости от уровня воды в ПГ.

Результаты расчетов приведены на рис. 22-31.

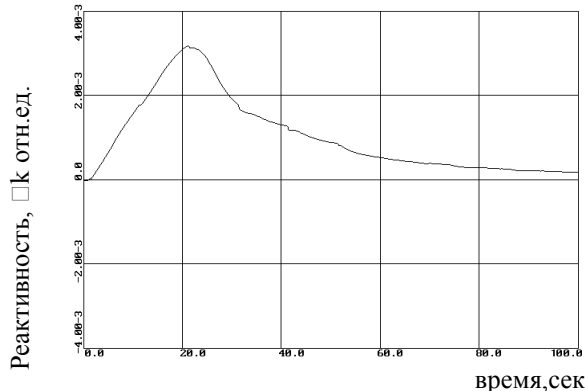


Рис.22 Изменение реактивности

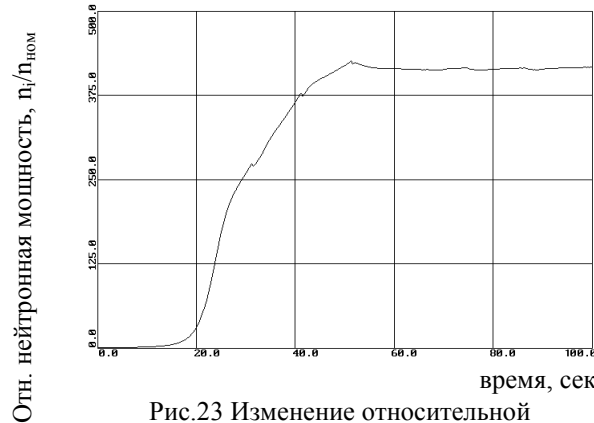


Рис.23 Изменение относительной нейтронной мощности

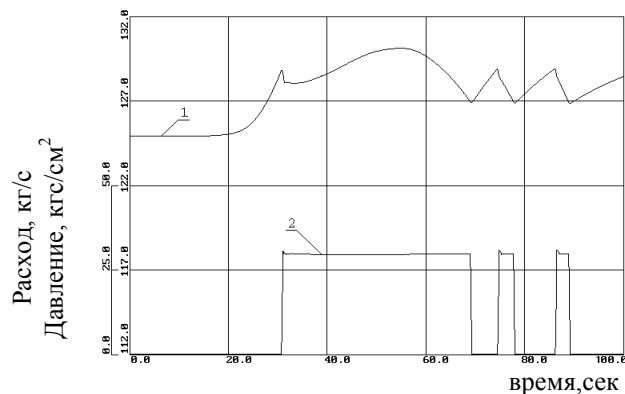


Рис.24 Изменение давления в I контуре (1) и расхода впрыска в КО (2)

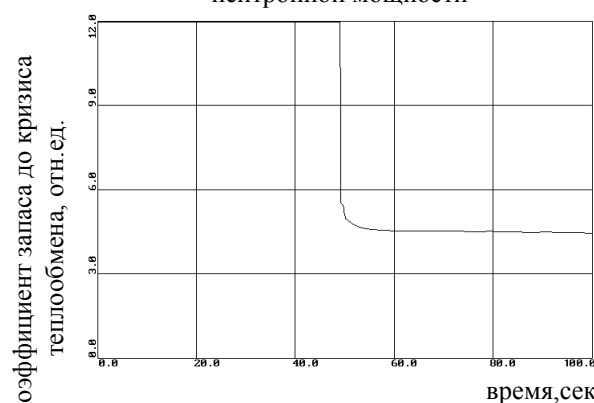


Рис.25 Минимальный запас до кризиса теплообмена в наиболее напряженном твэле

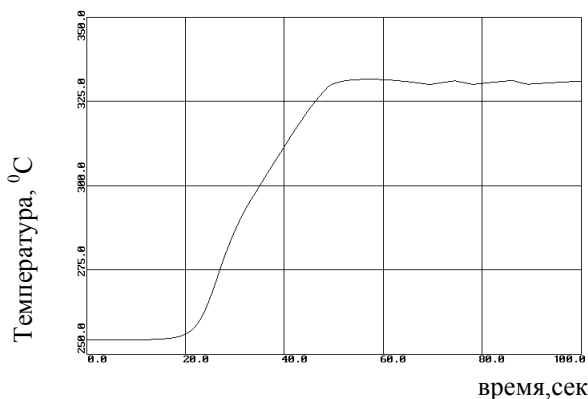


Рис.26 Максимальная температура оболочки наиболее напряженного твэла

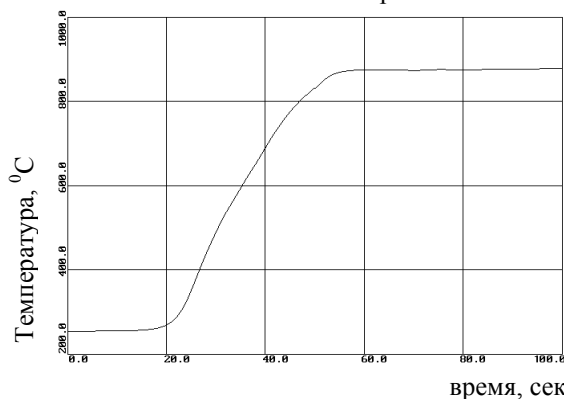


Рис.27 Изменение максимальной температуры топлива наиболее напряженного твэла

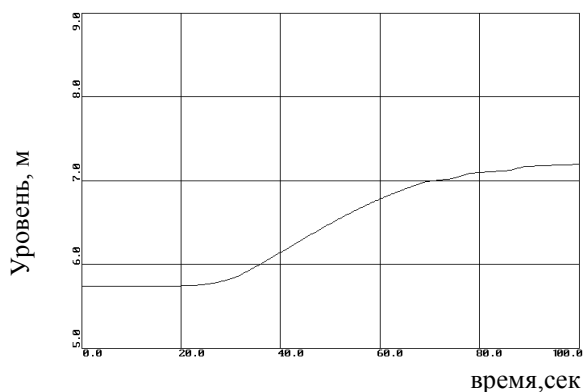


Рис. 28 Изменение уровня в КО

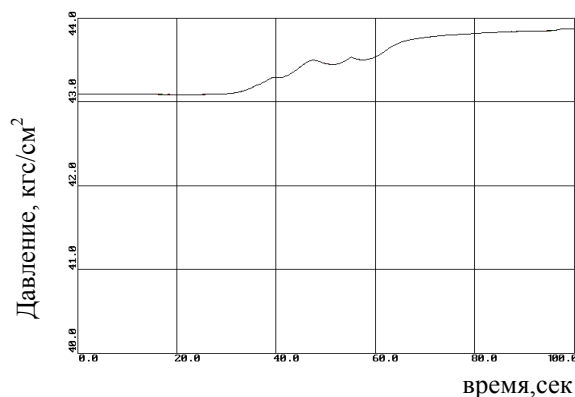


Рис. 29 Изменение давления во II контуре

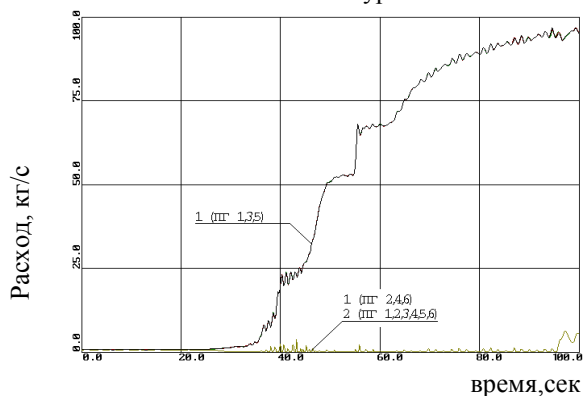


Рис. 30 Изменение расхода пара на турбину (1) и питательной воды (2) в ПГ

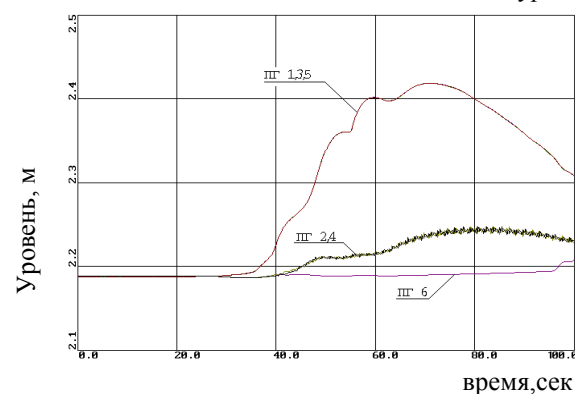


Рис. 31 Изменение уровня в ПГ

Наиболее важные события в ходе аварии:

0.0 с - исходное состояние;

1.0 с - время начала самопроизвольного извлечения регулирующей группы из зоны.

50 с - нейтронная мощность стабилизируется на уровне 600 МВт.

5.2 Выброс регулирующей кассеты

В качестве исходного события аварийного процесса полагается мгновенный поперечный разрыв механизма перемещения управляющей кассеты. Время выброса 0.1 с. С заданным запаздыванием срабатывает аварийная защита по превышению мощности или скорости нарастания потока нейтронов. Стержни АЗ вводятся в активную зону со скоростью 25 см/с. ОР СУЗ выбрасывается с половины высоты активной зоны. Рассматривается два сценария развития аварии - со срабатыванием АЗ-1 и с отказом АЗ-1.

Наиболее важные начальные условия:

-тепловая мощность реактора 1402 МВт;

-расход теплоносителя через реактор 8912 кг/с;

-эффективная доля запаздывающих нейтронов 0.0052 (уменьшена на 20%);

-начало движения стержней АЗ по сигналу АЗ-1 с запаздыванием 1 с, уставка по мощности 112%;

- два наиболее эффективных ОР СУЗ застревают в крайнем верхнем положении (рис. 32);

- конец кампании по бору стационарной топливной загрузки;

- управляющая группа находится на высоте 50% от низа активной зоны при стационарном отравлении;

- время выстреливания стержня с полной глубины 0.1 сек.

Основные результаты расчета указаны на рис. 33-38.



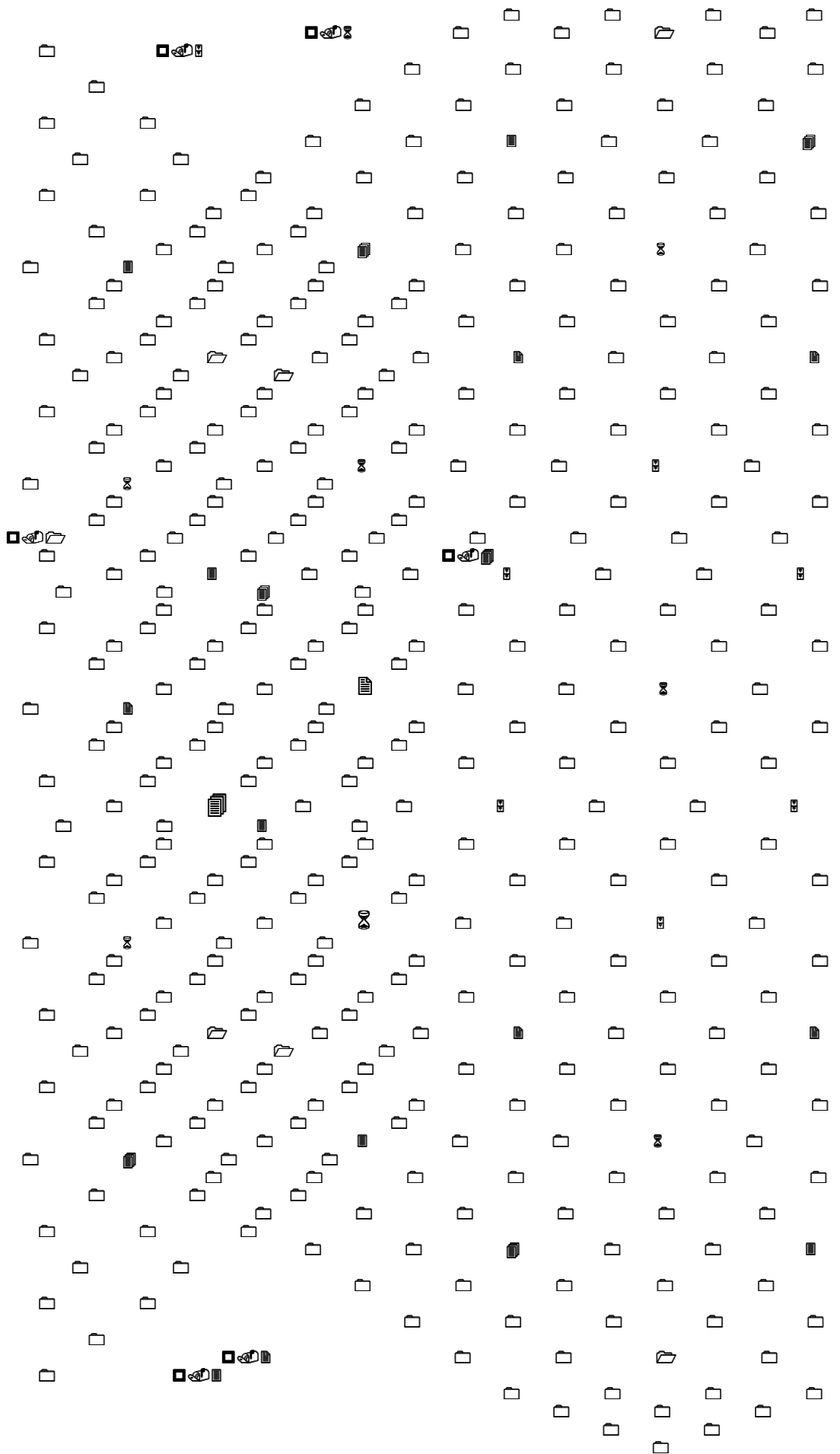


Рис.32 Схема расположения петель циркуляции, выбрасываемой кассеты ОР СУЗ (6) и двух наиболее эффективных ОР СУЗ, застрявших в крайнем верхнем положении (4,2).

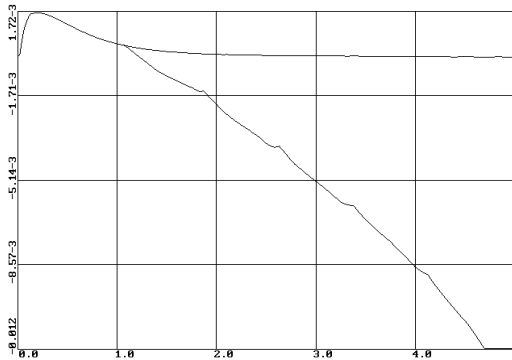


Рис. 33 Реактивность

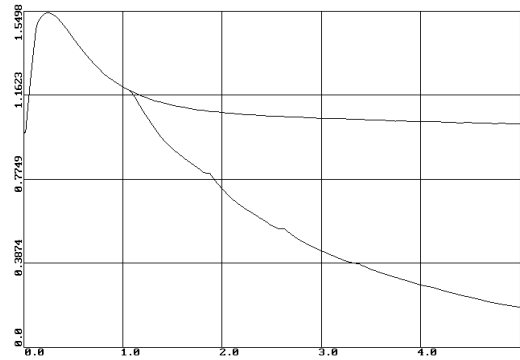


Рис. 34 Относительная нейтронная мощность

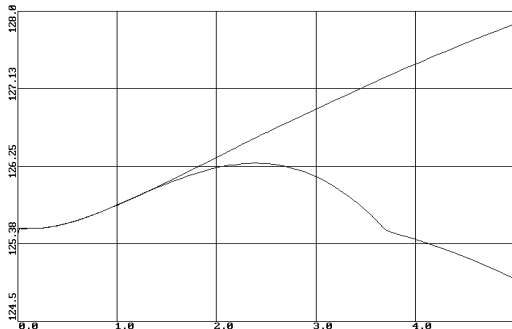
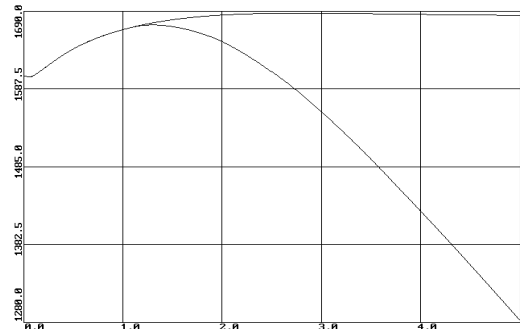
Рис. 35 Давление в ВКС, кгс/см²

Рис. 36 Максимальная температура топлива в наиболее напряженном ТВэле, °С

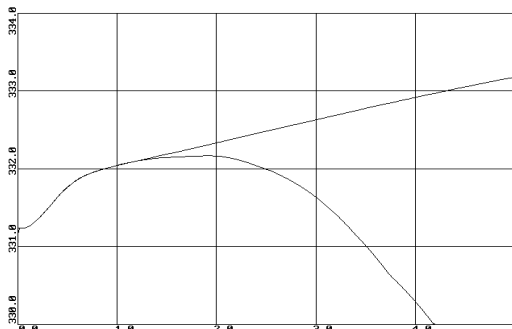


Рис. 37 Максимальная температура оболочки наиболее напряженного ТВЭла, °С

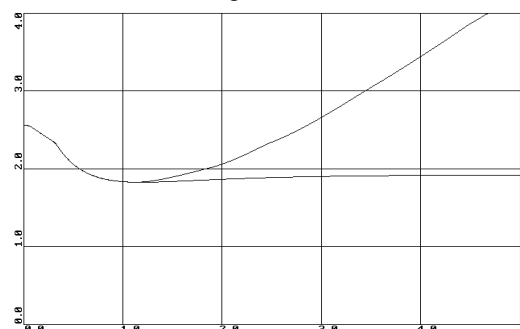


Рис. 38 Минимальный запас до кризиса теплообмена в наиболее напряженном ТВэле

Критерии приемки:

- отсутствие локального плавления;
- давление в контуре теплоносителя, охлаждающем активную зону, не должно быть выше рабочего на 15 % (15.8 МПа);
- давление второго контура не должно превышать рабочее на 15% (6.3 МПа).

5.3 Неисправности в системе подпитки 1 контура и борного регулирования, приводящие к уменьшению борной кислоты в первом контуре

5.3.1 Подключение 6-ой петли к 5-ти работающим при 85% мощности

Наиболее опасной является аварийная ситуация из-за понижения концентрации бора в теплоносителе, которая может возникнуть в том случае, если вода, поступающая в реактор из подключаемой главной циркуляционной петли, имеет концентрацию бора более низкую, чем вода поступающая в реактор из работающих главных петель.

Сценарий аварии.

При расчете аварийного процесса принято, что:

- работают пять циркуляционных петель № 1, 2, 3, 4, 5 и подключается одна неработающая петля №6;

- концентрация борной кислоты в подключаемой петле равна нулю, температура теплоносителя на 30 градусов меньше рабочей;

- из исходного состояния, в момент времени $t=0.0$ с на закрытую ГЗЗ включается ГЦН неработающей петли №6. В момент времени $t=15.0$ с - начало открытия ГЗЗ на холодной нитке.

Наиболее важные начальные условия:

- тепловая мощность реактора $85\% N_{\text{ном}}$ (1200 МВт);

- давление в первом контуре 12.74 МПа;

- температура на выходе из активной зоны 295.6 °С;

- расход теплоносителя через активную зону 8106.2 кг/с;

- температура питательной воды 223 °С;

- уровень в парогенераторах 2,0 м;

- работают ГЦН 1, 2, 3, 4, 5;

- управляющая группа ОР СУЗ находится на высоте 70% от низа активной зоны;

- эффективная доля запаздывающих нейтронов составляет 0.0052 (уменьшена на 20%);

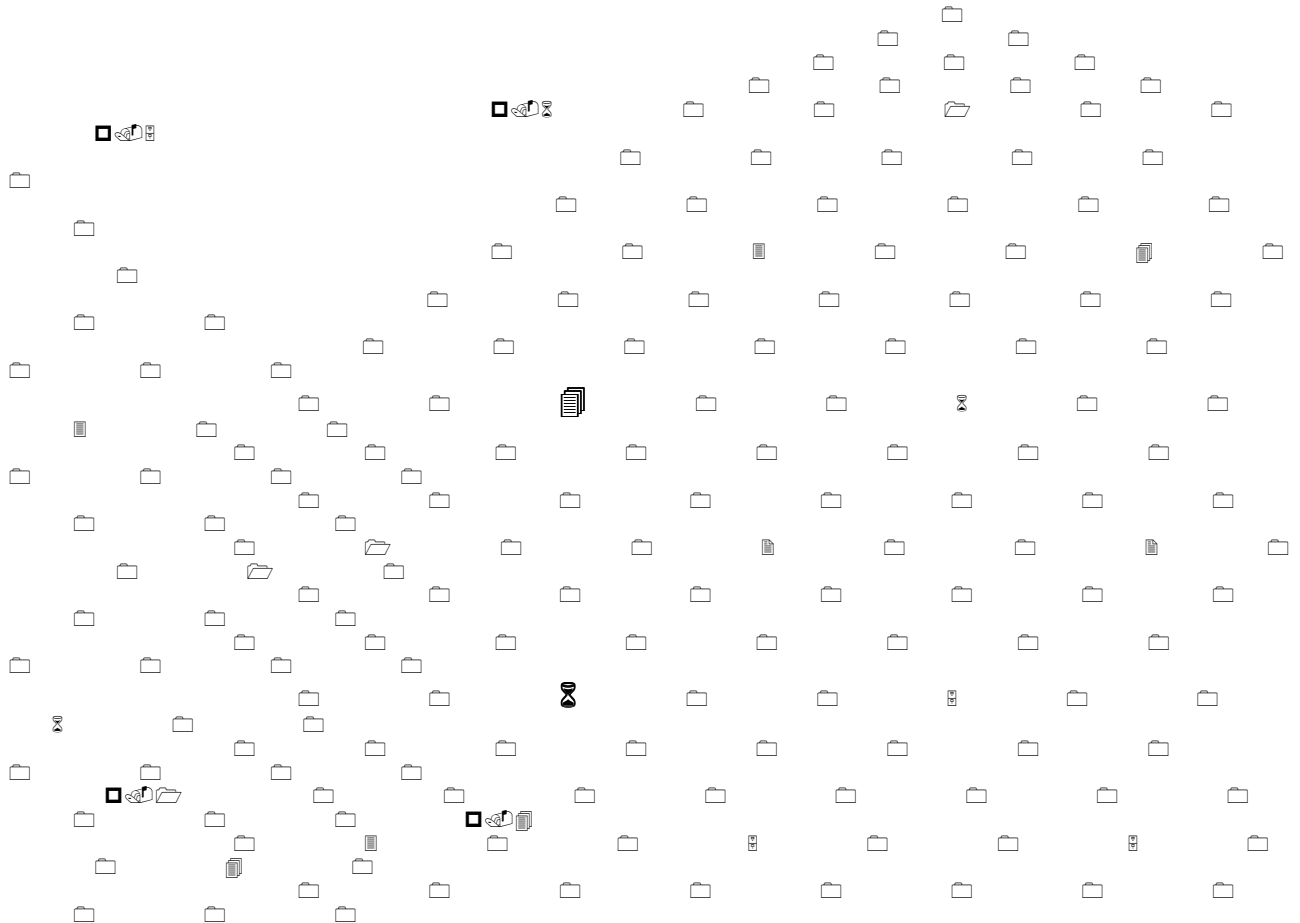
- время открытия ГЗЗ составляет 90 с;

- начало движения стержней аварийной защиты по сигналу АЗ-1 принято с запаздыванием в 1 с после достижения уставки по мощности 112% от номинала;

- при срабатывании АЗ-1 два ОР СУЗ застряли в крайнем верхнем положении (рис. 39);

- концентрация борной кислоты в подключаемой петле равна нулю;

- температура теплоносителя на 30 градусов меньше номинальной.



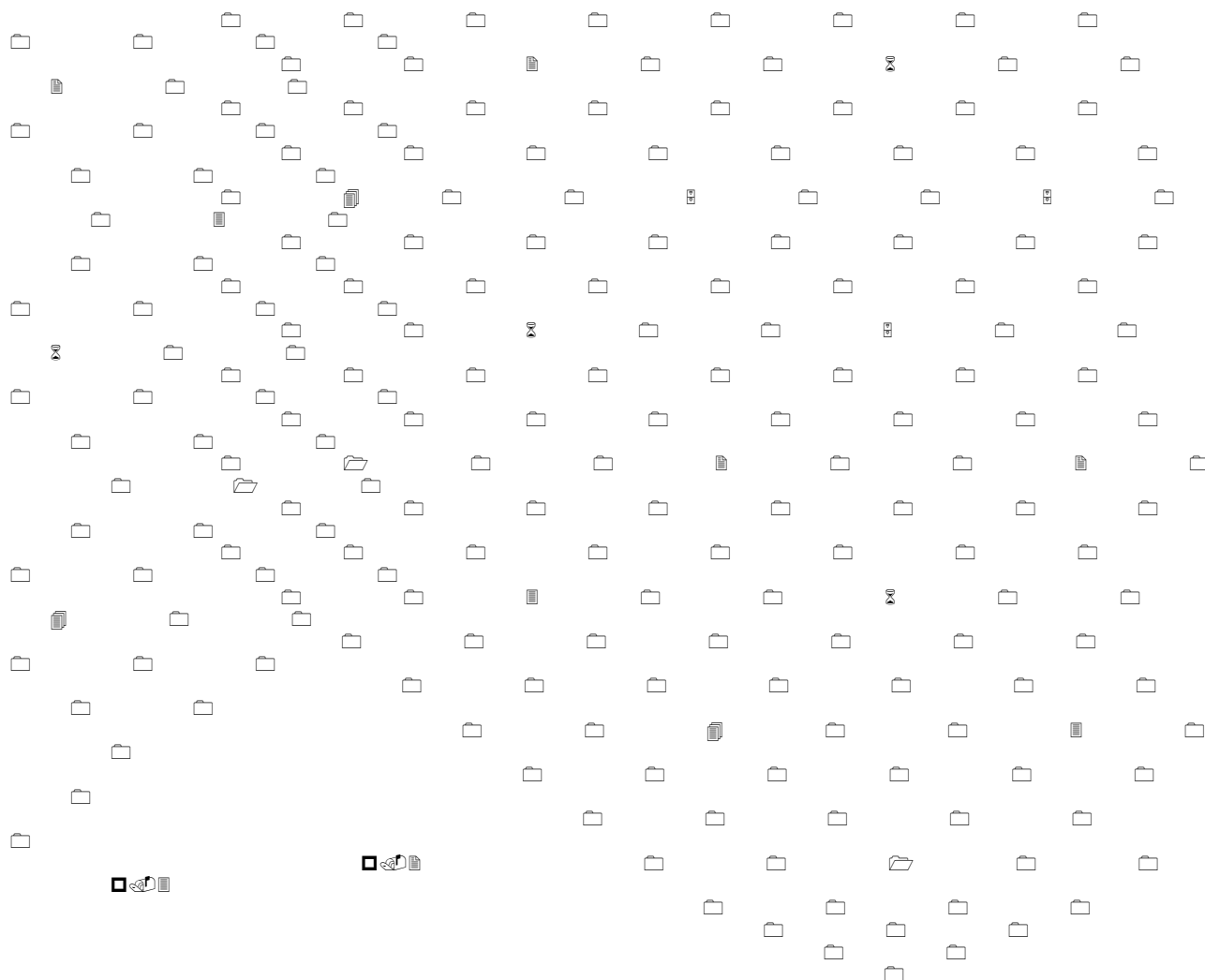


Рис.39 Схема расположения петель циркуляции, двух наиболее эффективных ОР СУЗ застрявших в крайнем верхнем положении (6, 4)
Основные результаты расчета представлены на рис. 40-49.

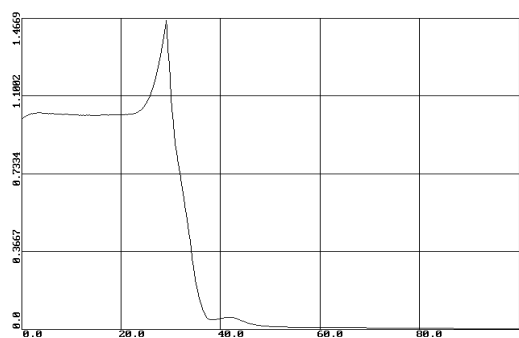


Рис. 40 Относительная нейтронная мощность

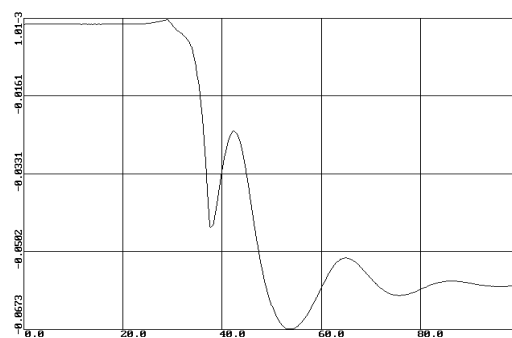


Рис. 41 Реактивность

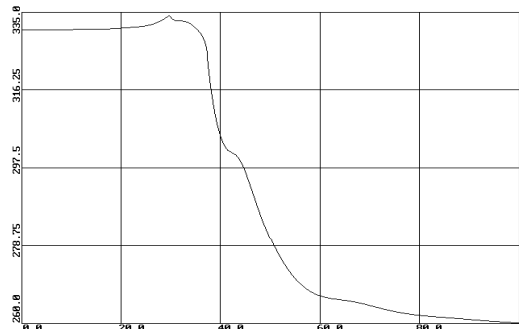


Рис. 42 Максимальная температура оболочки

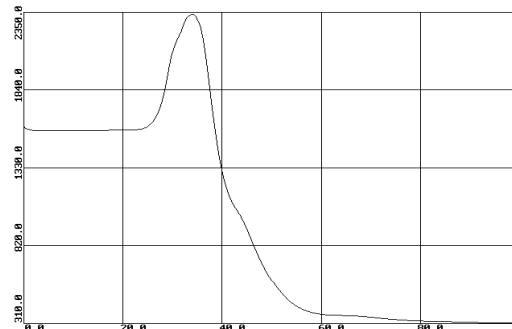


Рис. 43 Максимальная температура топлива

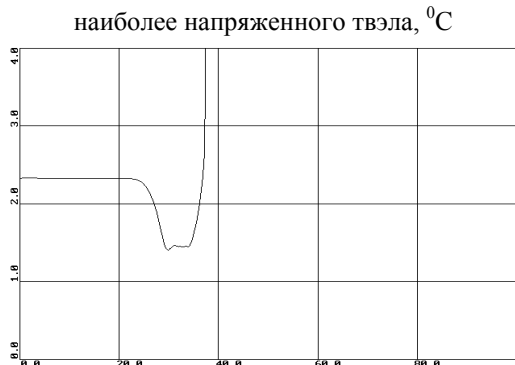


Рис. 44 Минимальный запас до кризиса теплообмена в наиболее напряженном твэе

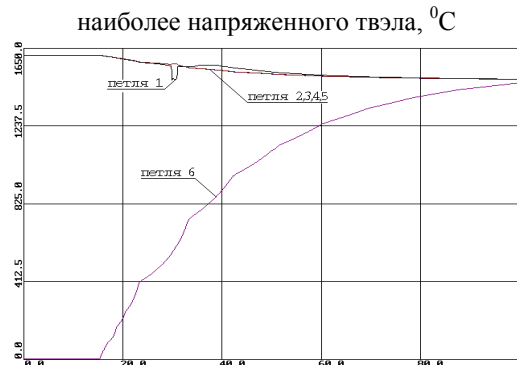


Рис. 45 Расход теплоносителя, кг/с

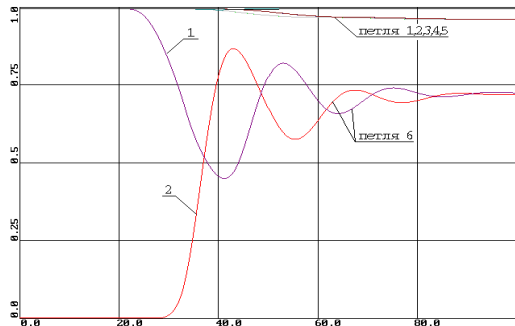


Рис. 46 Изменение концентрации бора, г/кг (1- на входе в НКС, 2- подключаемая петля)

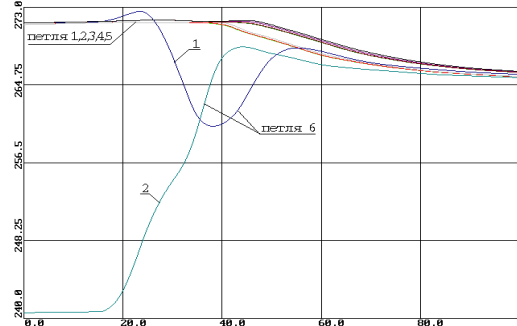


Рис. 47 Изменение энтальпии, ккал/кг, (1-на входе в НКС, 2- подключаемая петля)

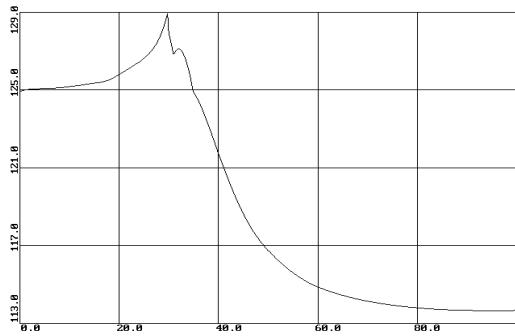


Рис. 48 Изменение давления в первом контуре, кгс/см²

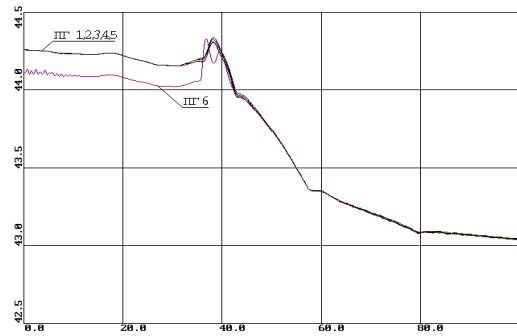


Рис. 49 Изменение давления во втором контуре, кгс/см²

Критерии приемки:

- отсутствие локального плавления топлива;
- минимальный коэффициент запаса до кризиса теплообмена не менее 1.0;
- давление в 1 контуре не превышает рабочее более чем на 15 %, во втором контуре на ту же величину (6.3 МПа).

6 Заключение

В рассматриваемых авариях с изменением реактивности при срабатывании аварийной защиты все критерии приемки оказываются выполненными.

Аварии с выбросом стержня или самоходои рабочей группы без срабатывания АЗ-1 являются запроектными. Однако их протекание аналогично протеканию авариям со срабатыванием АЗ-1, поскольку нарастание мощности ограничивается благодаря обратным связям (эффект Доплера и температурный коэффициент реактивности). В этих авариях возможно возникновение ситуации, когда происходит полное вытеснение пара из компенсатора давления и истечения жидкой фазы через предохранительный клапан.

Рассмотрение аварий с изменением реактивности с использованием полномасштабного нестационарного нейтронно-физического расчета для конкретной установки- явление пока достаточно редкое. По этой причине мы не приводим конкретные

результаты сравнения с расчетами других авторов. Однако, качественное сравнение с некоторыми результатами расчетов аварийных режимов, приводимых в ТОБах, в том числе рассчитанных по программам совместного нейтронно-теплогидравлического расчета показывает, что результаты расчета аварий с самоходом группы и выбросом стержня являются очень похожими. Что касается аварий с изменением реактивности, в которых влияние второго контура существенно, необходимо проведение работы по унификации сценариев этих аварий и разработки тестовых задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кавун О.Ю. Методика моделирования динамики энергоблока АЭС, реализованная в программном комплексе РАДУГА-ЭУ// Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика ядерных реакторов (-М.). -1999. -Вып.5. -С.17-39.

2. П.А. Болобов, О.Ю.Кавун, А.И. Попыкин. Расчетное исследование аварийной ситуации с выбросом регулирующей группы из активной зоны реактора ВВЭР-1000//Сб. трудов семинара “Алгоритмы и программы для нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов” НЕЙТРОНИКА-93. 26-28 октября 1993 г. Обнинск, 1996 г.

3. О.Ю. Кавун, Г.С. Таранов. Программный комплекс “РАДУГА” с трехмерной двухгрупповой моделью активной зоны, моделирующий динамические процессы в РУ ВВЭР, и результаты верификации нейтронно-физического модуля/ Сб. трудов семинара “Алгоритмы и программы для нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов” НЕЙТРОНИКА-95. 24-26 октября 1995 г. Обнинск, 1997 г.

4. Кавун О.Ю., Ложкин С.Н., Попыкин А.И. О верификации и валидации программ расчета аварийных режимов /Сборник трудов семинара ”Алгоритмы и программы для нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов” НЕЙТРОНИКА-95. 24-26 октября 1995г. Обнинск, 1997 г.

5. Кавун О.Ю., Суслов И.Р., Попыкин А.И. Разработка системы кинетических тестов для реакторов ВВЭР-1000 и ВВЭР-440 /Сборник трудов семинара ”Алгоритмы и программы для нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов” НЕЙТРОНИКА-97. 27-29 октября 1998г. Обнинск, 1999 г.

НЕКОТОРЫЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

ТОБ - техническое обоснование безопасности

РУ- реакторная установка

ОР СУЗ - орган регулирования системы управления и защиты

МКУ - минимальный контролируемый уровень мощности

ГЦН - главный циркуляционный насос

ГЗЗ - главная запорная задвижка

ПС - программное средство