



НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

КУРЧАТОВСКИЙ КОМПЛЕКС АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Всероссийская научно-техническая конференция
Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики»
Госкорпорация «Росатом» АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», г. Обнинск
28.05.2024 – 31.05.2024

Моделирование реакторных экспериментов на энергоблоках ВВЭР с использованием кода ATHLET/VIPR-VVER

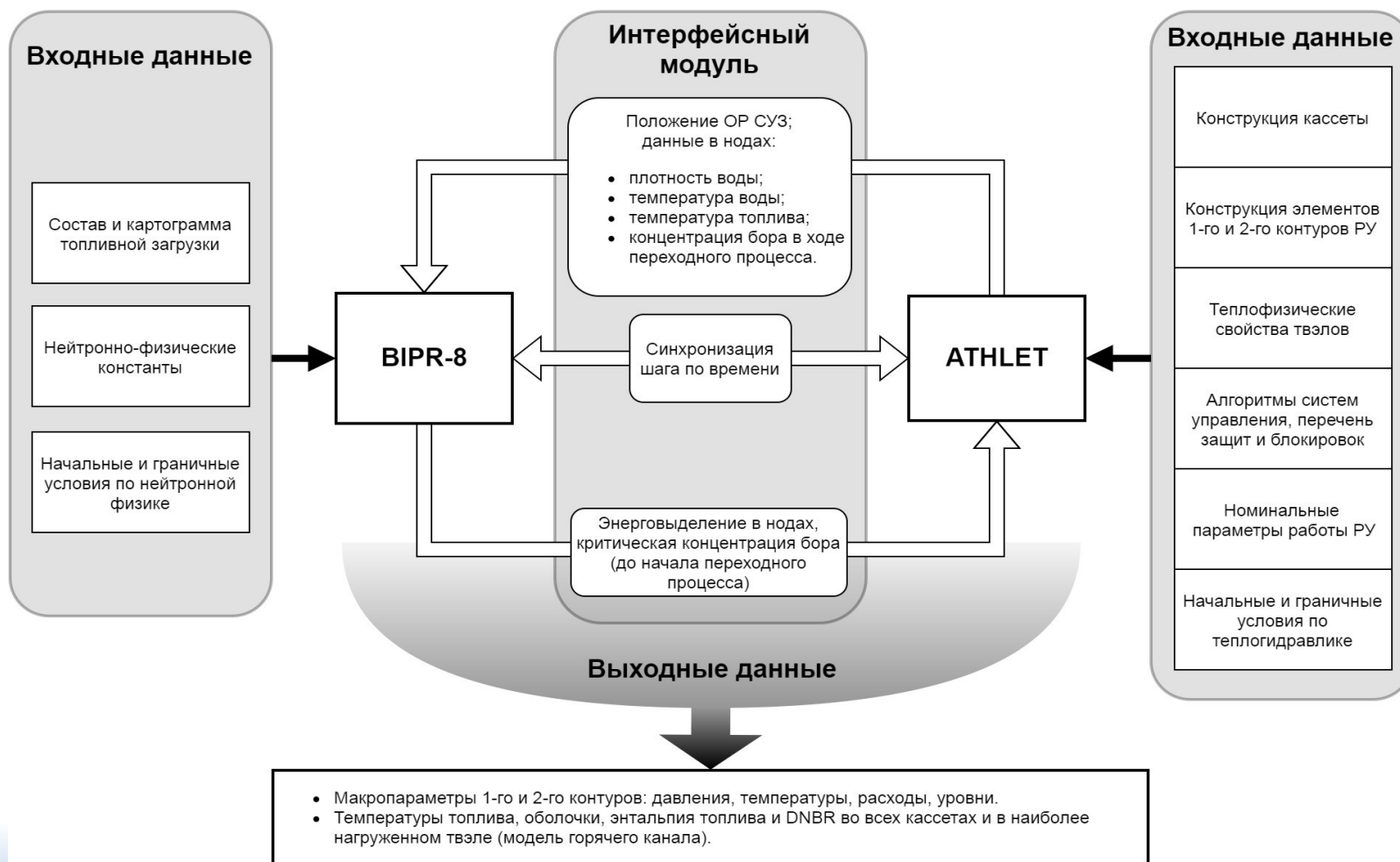
Авторы: Егоров В.В., Байков А.В., Коцарев А.В.,
Лизоркин М.П., Шумский Б.Е.
(НИЦ «Курчатовский институт»)

Содержание

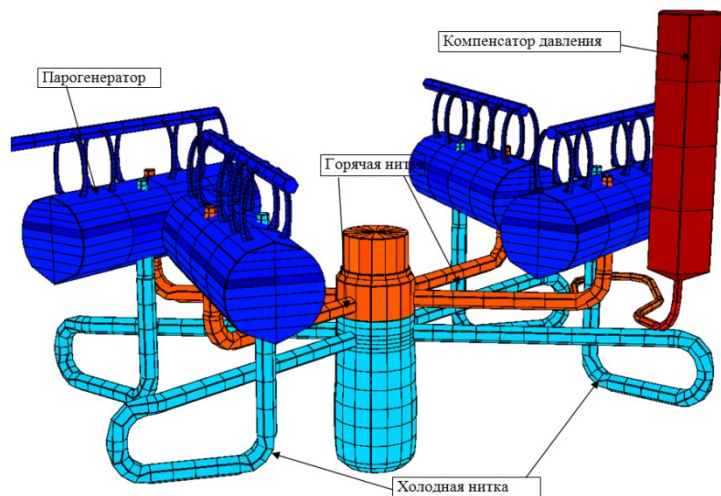
- Описание расчетных моделей реакторов ВВЭР в программном комплексе ATHLET/BIPR-VVER
- Краткие описания экспериментов:
 - *отключение одного из четырех ГЦНА на энергоблоке ВВЭР-1000;*
 - *подключение одного ГЦНА к трем работающим на энергоблоке ВВЭР-1200;*
 - *переход на режим естественной циркуляции при вводе в эксплуатацию энергоблока ВВЭР-1200.*
- Результаты расчетного и экспериментального сопоставления
- Выводы

ATHLET/BIPR-VVER

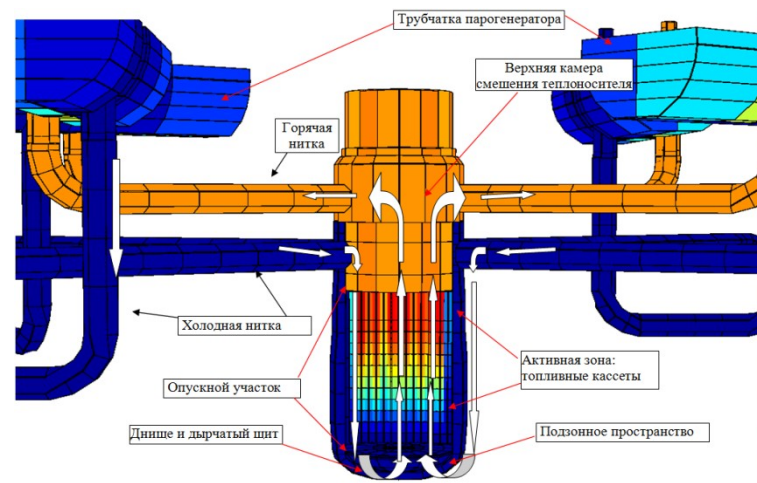
Схема комплекса ATHLET/BIPR-VVER



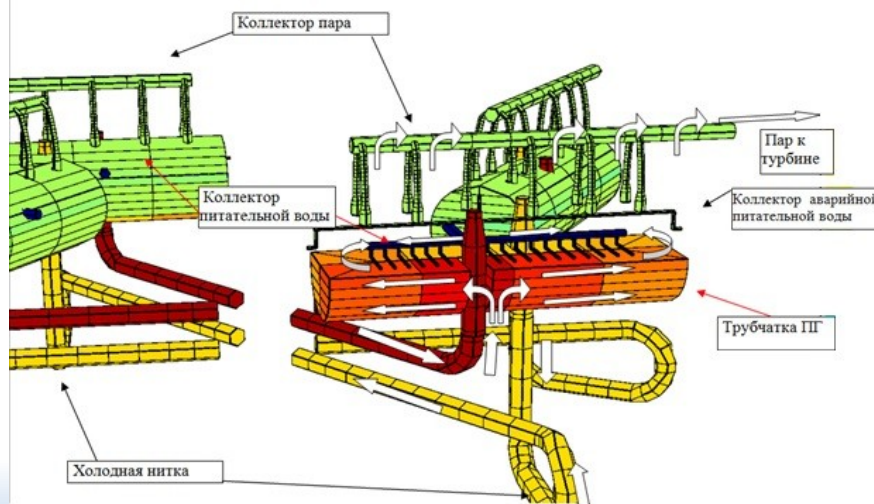
Описание расчетных моделей реакторов ВВЭР в программном комплексе ATHLET/VIPR-VVER (модель реактора ВВЭР-1000)



Пространственная модель реакторной установки

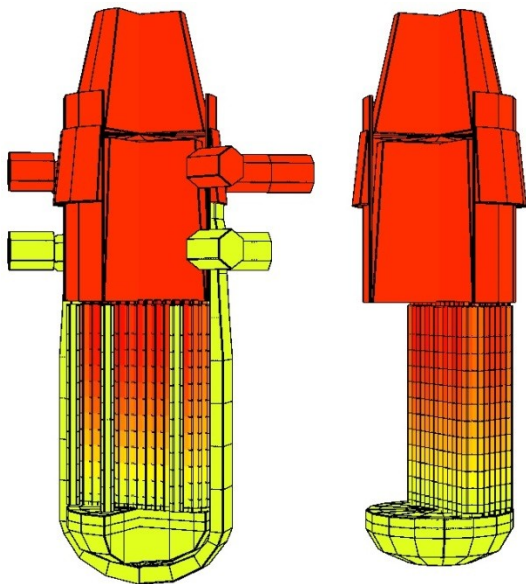


Модель первого контура в разрезе

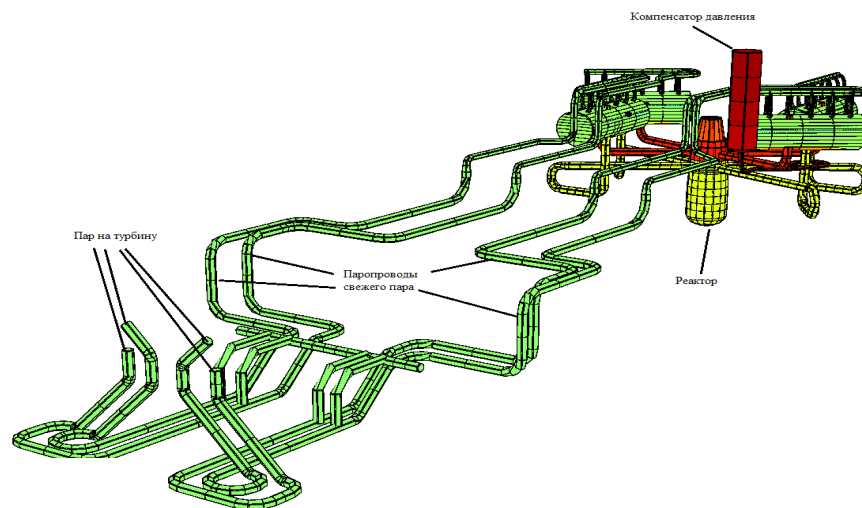


Модель парогенераторов и главный циркуляционный трубопровод

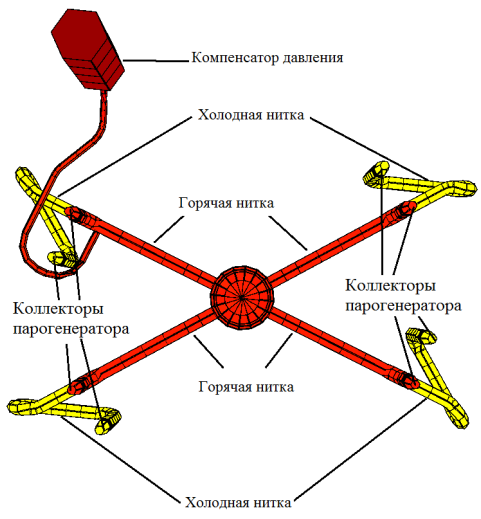
Описание расчетных моделей реакторов ВВЭР в программном комплексе ATHLET/BIPR-VVER (модель реактора ВВЭР-1200)



Нодализационная схема реактора ВВЭР-1200(опускной участок, пространство под активной зоной и ТВС)



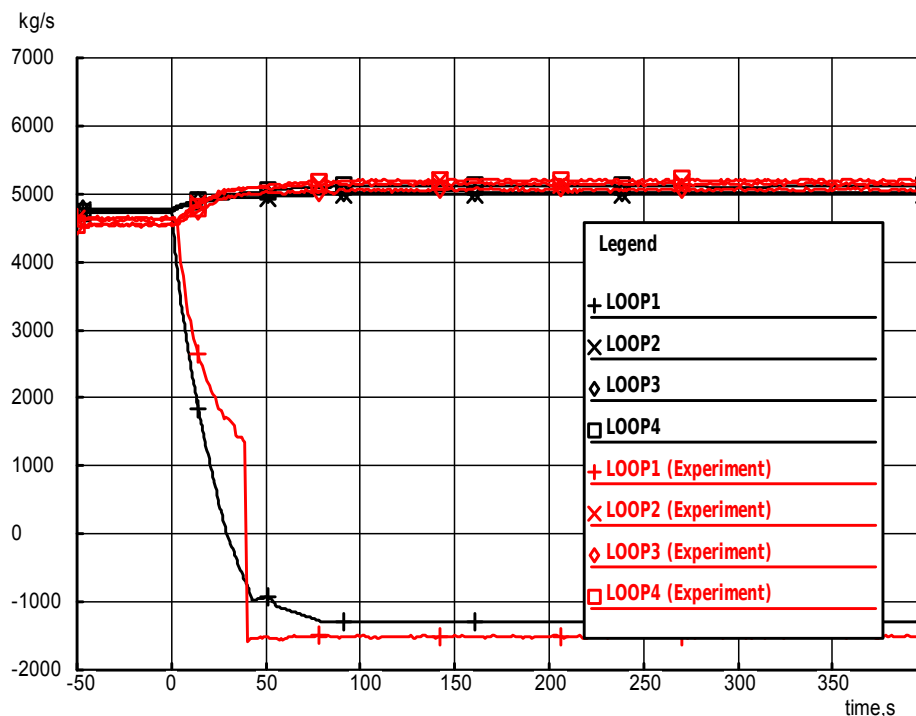
Нодализационная схема первого и второго контура



Нодализационная схема первого контура (вид сверху)

Отключение одного из четырех ГЦНА на энергоблоке ВВЭР-1000

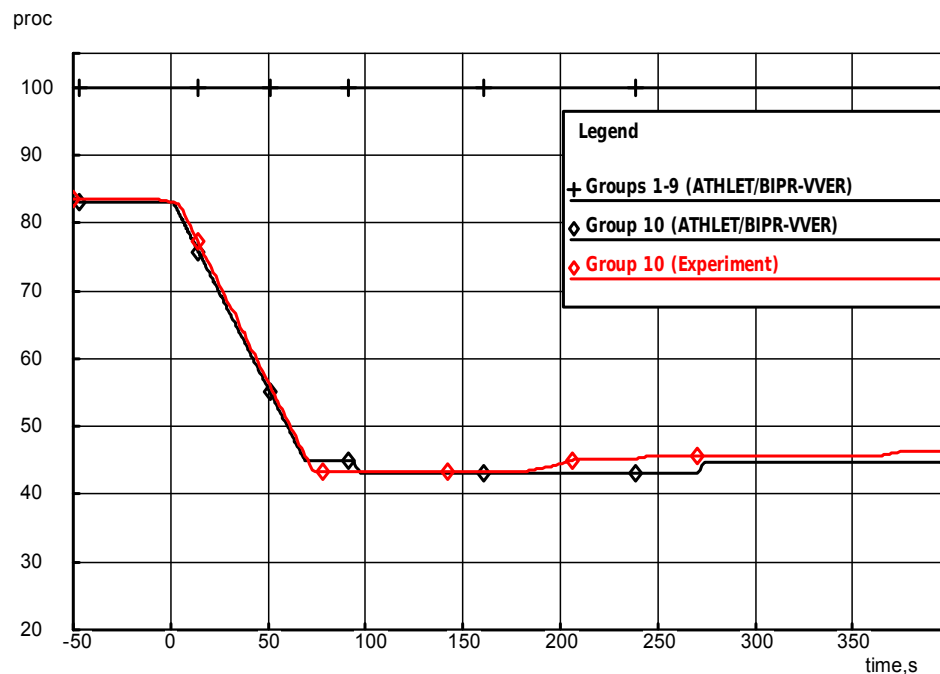
При отключении ГЦНА происходит уменьшение расхода теплоносителя через активную зону, в результате чего увеличивается подогрев и температура теплоносителя в активной зоне. Обратные связи приводят к уменьшению мощности реактора. На петле с отключенным ГЦНА течение теплоносителя меняет свое направление, образуется обратный ток: в верхней камере смешения поток теплоносителя, текущий от активной зоны в горячие патрубки работающих петель главного циркуляционного контура, засасывает теплоноситель из горячего патрубка отключенной петли, текущий через парогенератор от холодного патрубка ГЦТ.



Расход по петлям

Отключение одного из четырех ГЦНА на энергоблоке ВВЭР-1000

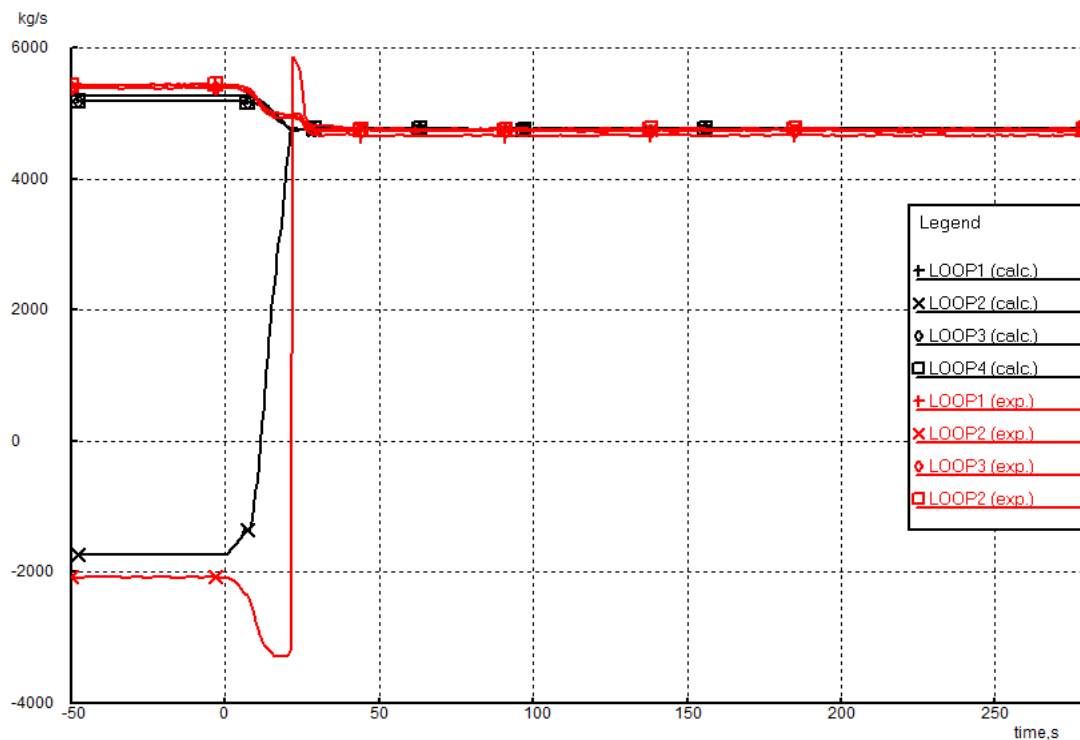
В данном эксперименте, с целью избежания кризисных явлений в активной зоне из-за понижения расхода теплоносителя, практически одновременно с началом выбега ГЦНА активируется устройство разгрузки и ограничения мощности (РОМ) для снижения мощности реактора по сигналу отключения ГЦНА. За 60 секунд РОМ снижает положение рабочей группы примерно на 120 см, переводя из положения 83 % в положение 45 % от низа активной зоны. В результате обоюдного действия РОМ и обратных связей мощность реактора уменьшается примерно на треть.



Положение ОП СУЗ аварийной защиты, ОП СУЗ рабочей группы

Подключение одного ГЦНА к трем работающим на энергоблоке ВВЭР-1200

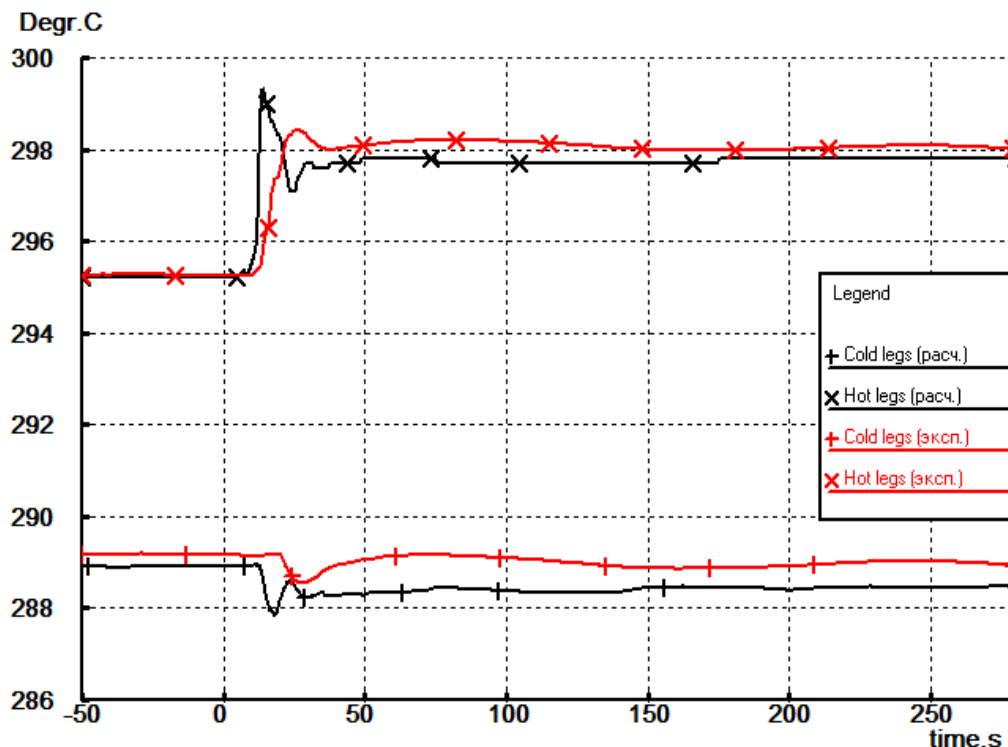
При работе реактора на трех петлях расход теплоносителя через реактор несколько ниже $\frac{3}{4}$ от номинального (примерно на 4 – 5 %), так как мощности работающих ГЦНА расходуются дополнительно на обеспечение расхода через остановленную петлю (в петле с остановленным ГЦНА теплоноситель движется в реверсивном направлении – от ГЦНА к парогенератору). При подключении ГЦНА расход через активную зону резко растет до достижения номинального расхода через реактор, что приводит к усилению теплоотдачи в активной зоне и в парогенераторах с временным понижением температуры теплоносителя в активной зоне и на выходе парогенераторов.



Расход по петлям

Подключение одного ГЦНА к трем работающим на энергоблоке ВВЭР-1200

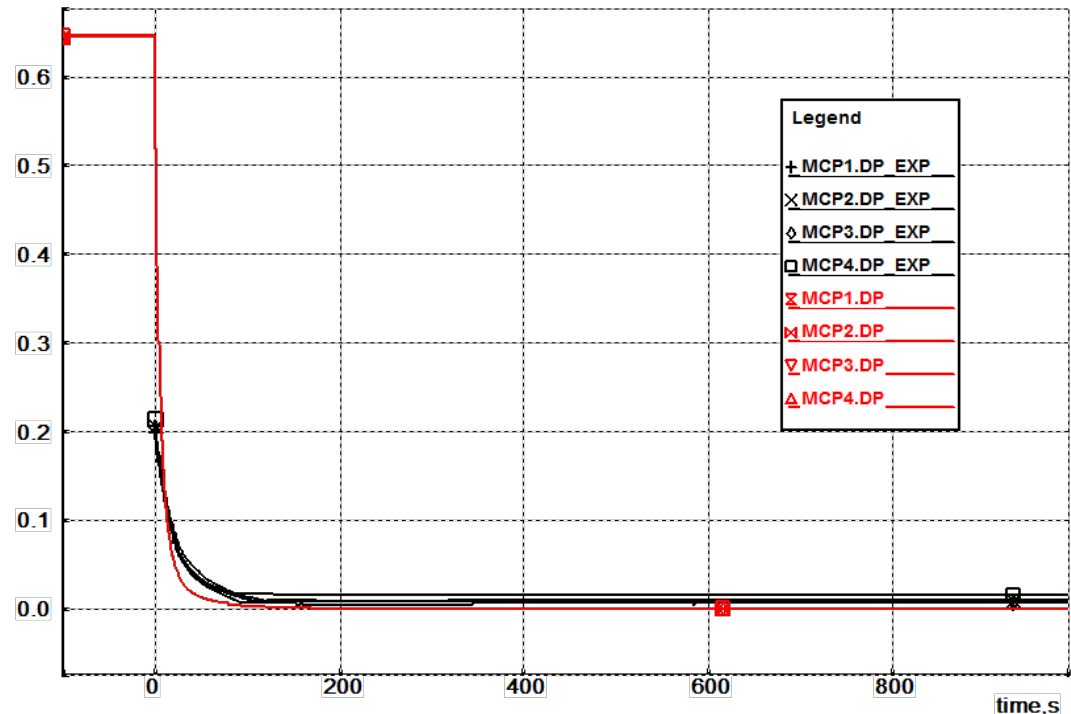
Одновременно с временным понижением температуры теплоносителя в активной зоне происходит восстановление правильного направления расхода в петле с подключаемым ГЦНА, в результате чего уже охлажденный теплоноситель на пути к активной зоне вторично проходит через парогенератор, дополнительно охлаждаясь. Усиление расхода и временное понижение температуры на входе в активную зону из-за поступления из подключаемой петли дважды охлажденного в парогенераторе теплоносителя, приводит к понижению температуры в активной зоне.



Средняя температура по ниткам

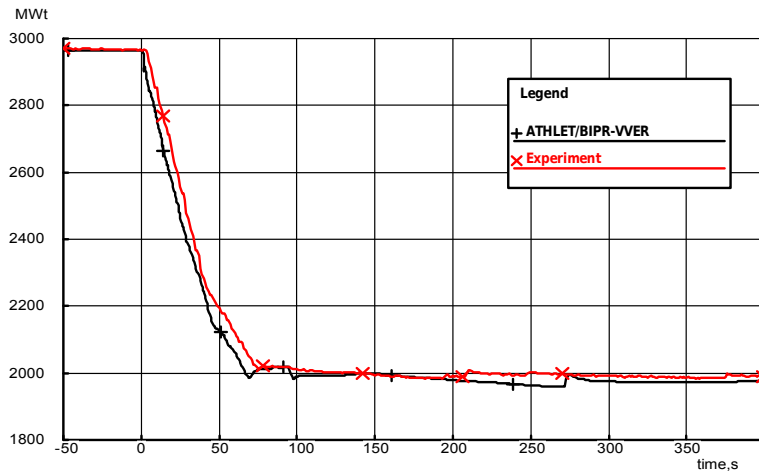
Переход на режим естественной циркуляции при вводе в эксплуатацию энергоблока ВВЭР-1200

Исходным состоянием для начала испытания являлось стабилизированное состояние РУ на уровне мощности 5 % от номинальной мощности (Nном) по показаниям аппаратуры контроля нейтронного потока с четырьмя работающими ГЦНА. Одновременное отключение ГЦНА в исходном состоянии принято за начало испытания. Выбеги ГЦНА после их отключения соответствовали проектным характеристикам.

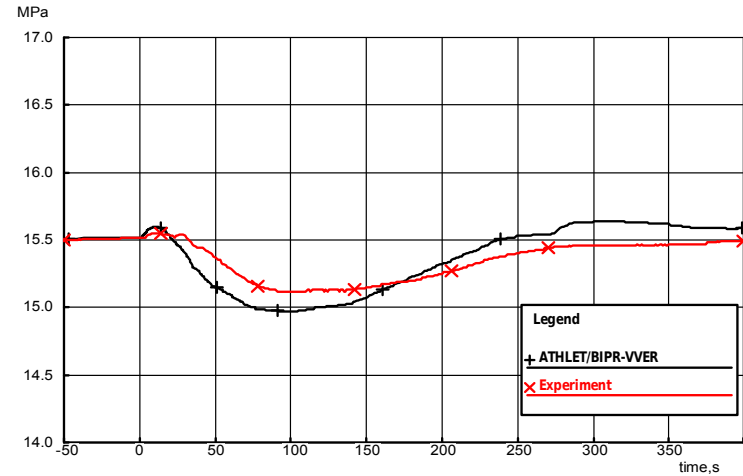


Изменение во время испытания перепада давления на ГЦНА

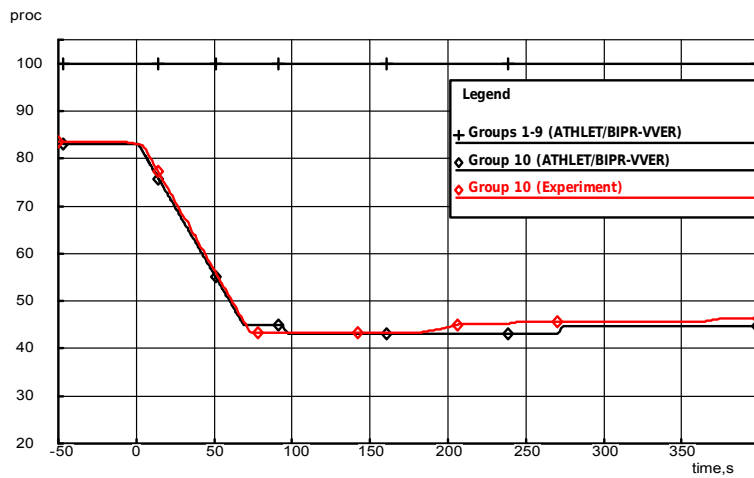
Результаты моделирования отключения одного из четырех ГЦНА на энергоблоке ВВЭР-1000



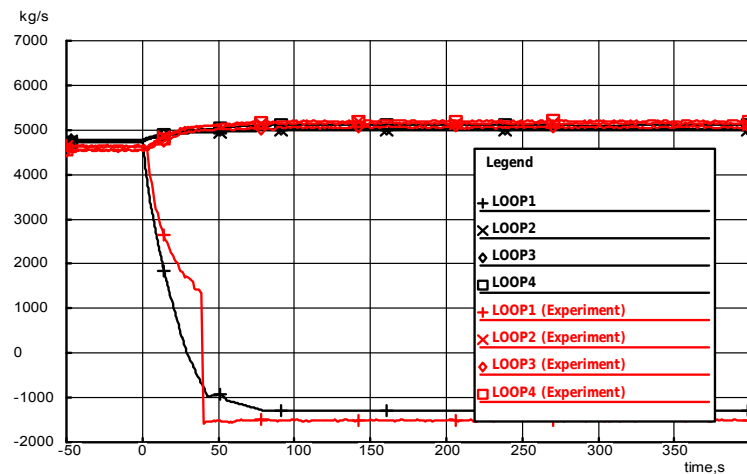
Мощность реактора



Давление теплоносителя на выходе реактора

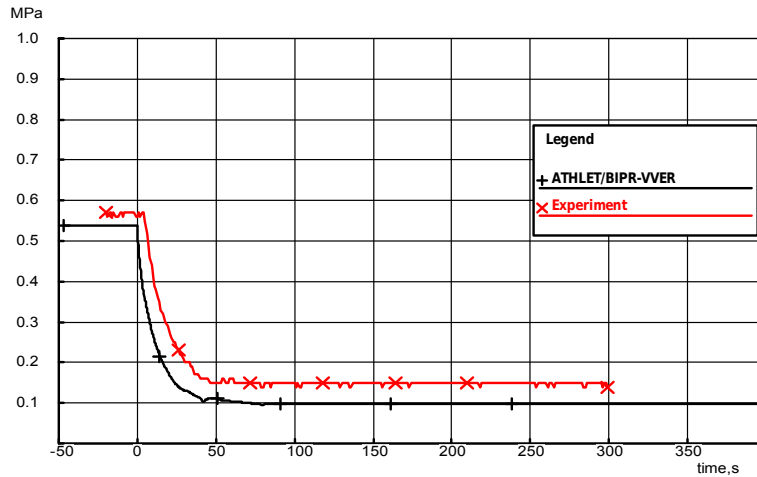


Положение ОР СУЗ аварийной защиты, ОР СУЗ рабочей группы

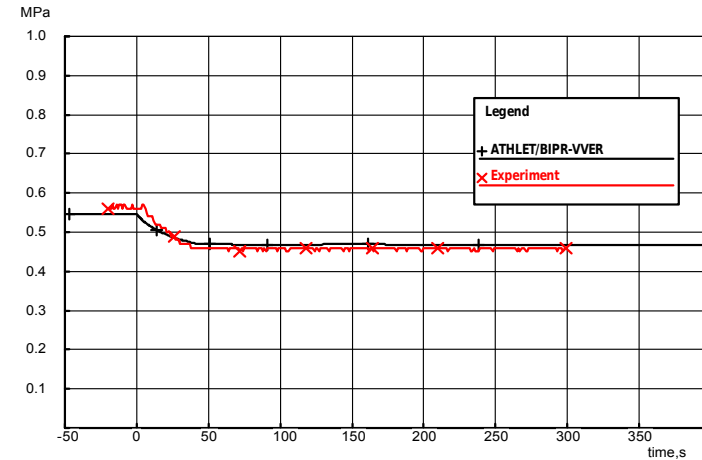


Расход по петлям

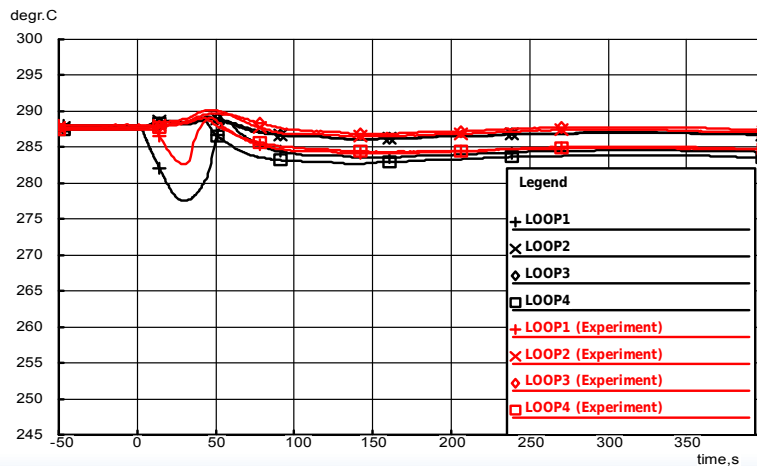
Результаты моделирования отключения одного из четырех ГЦНА на энергоблоке ВВЭР-1000



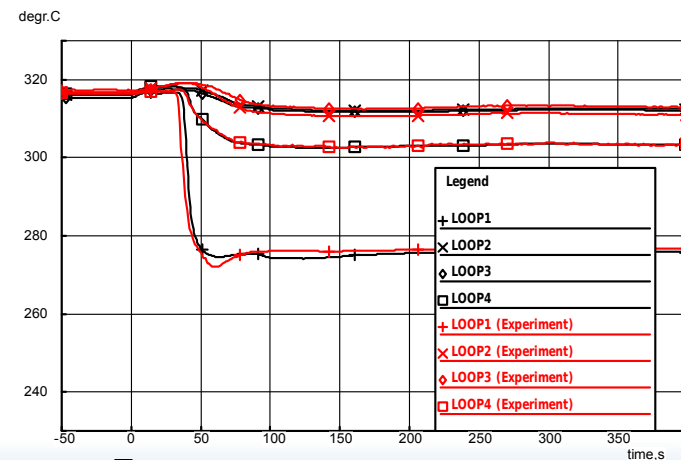
Перепад давления на ГЦНА петли №1



Перепад давления на ГЦНА петли №2

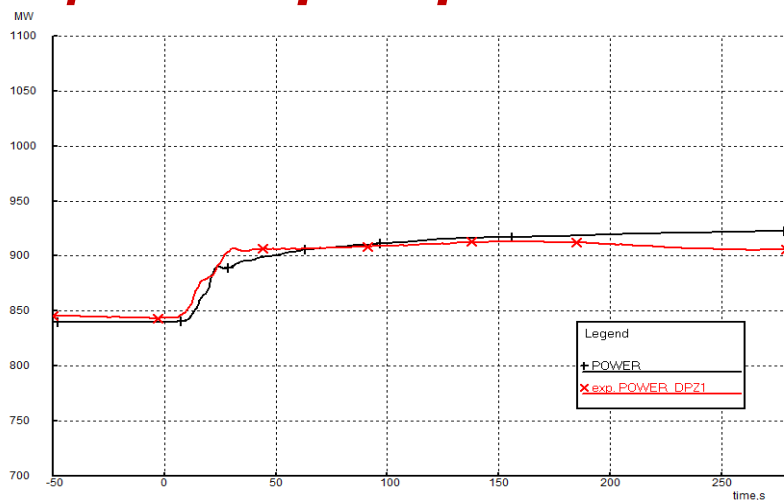


Температура в холодных нитках

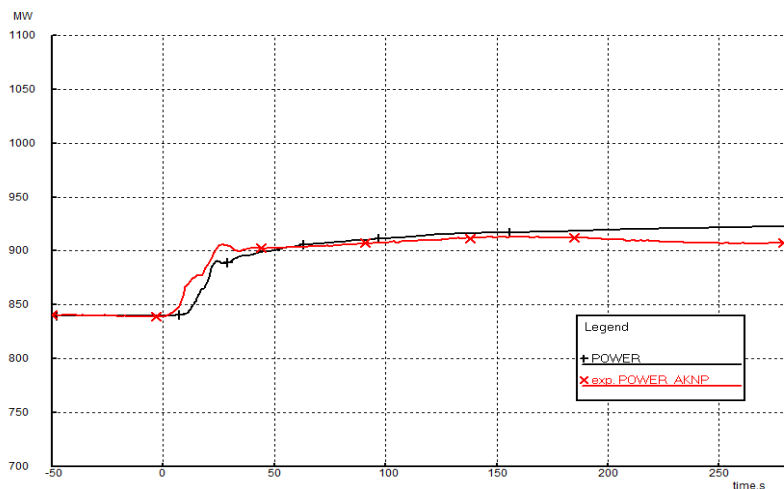


Температура в горячих нитках

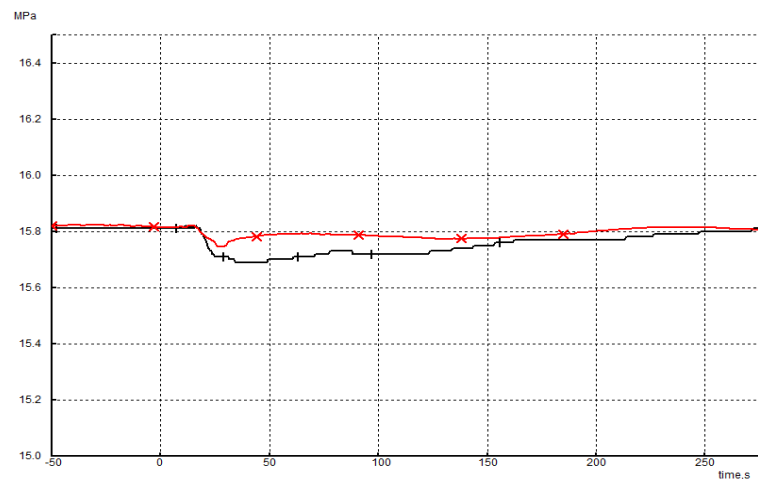
Результаты моделирования подключение одного ГЦНА к трем работающим на энергоблоке ВВЭР-1200



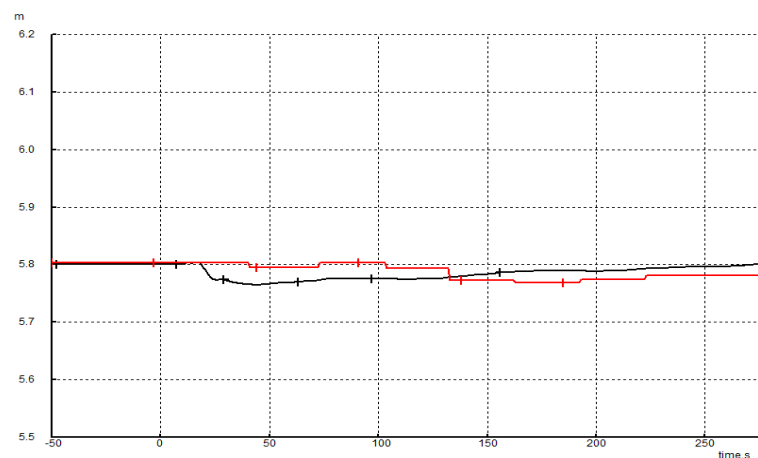
Мощность реактора: расчёт (+) и эксперимент (ДПЗ) (x)



Мощность реактора: расчёт (+) и эксперимент (АКНП) (x)

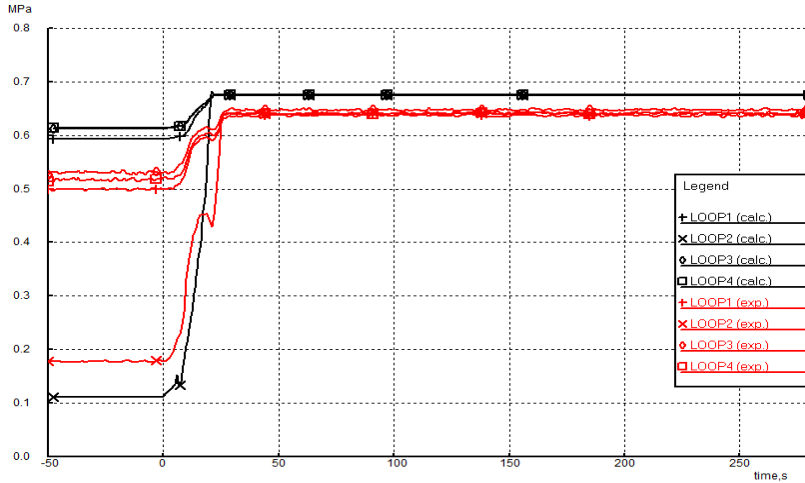


Давление теплоносителя на выходе реактора расчёт (+) и эксперимент (x).

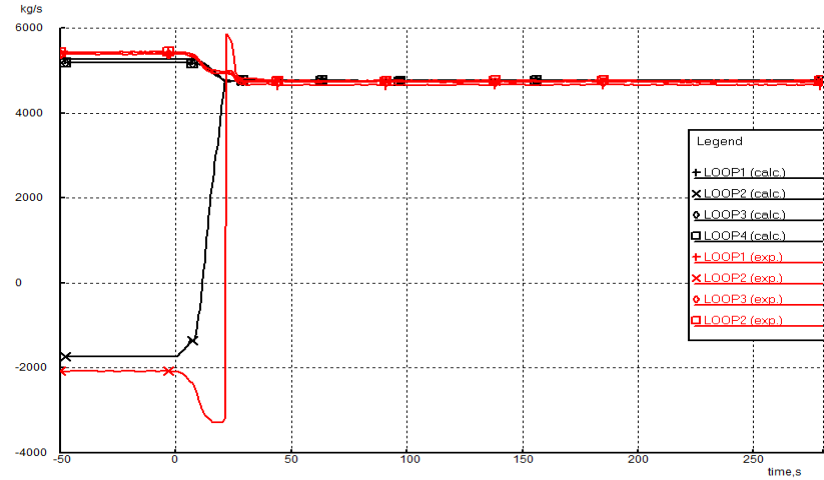


Уровень воды в КД: расчёт (+) и эксперимент (x)

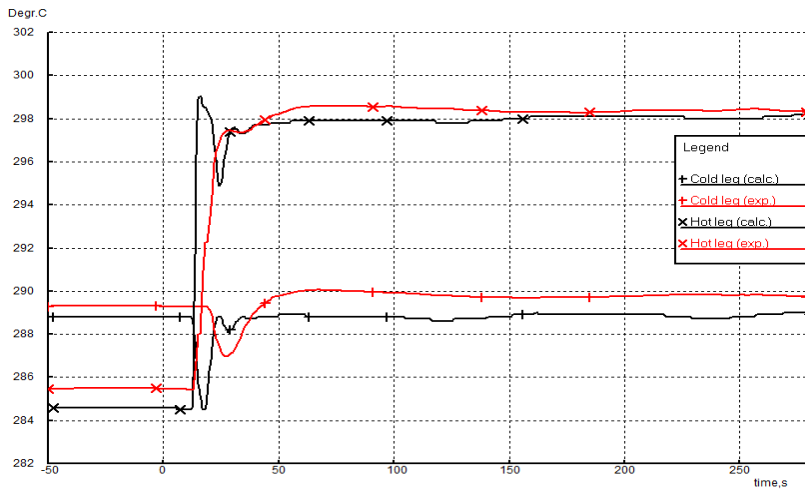
Результаты моделирования подключение одного ГЦНА к трем работающим на энергоблоке ВВЭР-1200



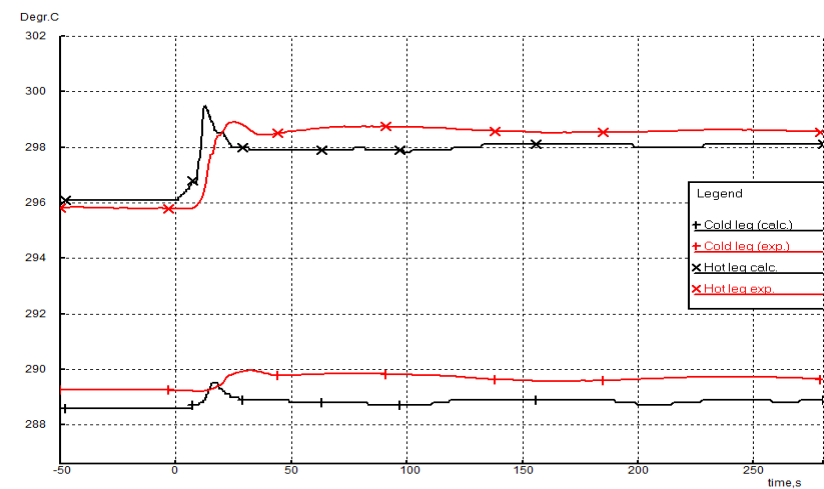
Перепад давления на ГЦНА



Расход по петлям

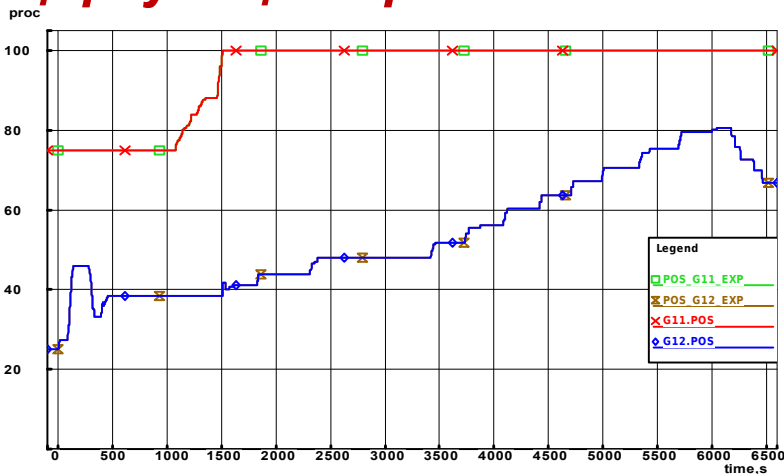


Температура в петле 2

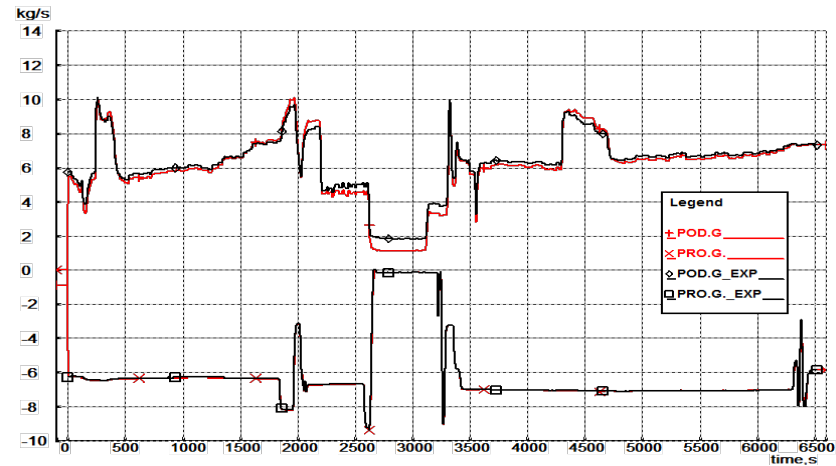


Температура в петле 1

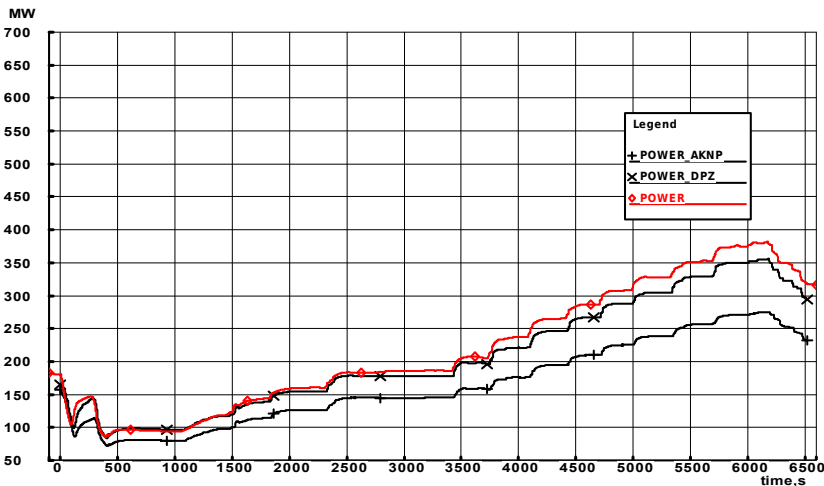
Результаты моделирования перехода на режим естественной циркуляции при вводе в эксплуатацию энергоблока ВВЭР-1200



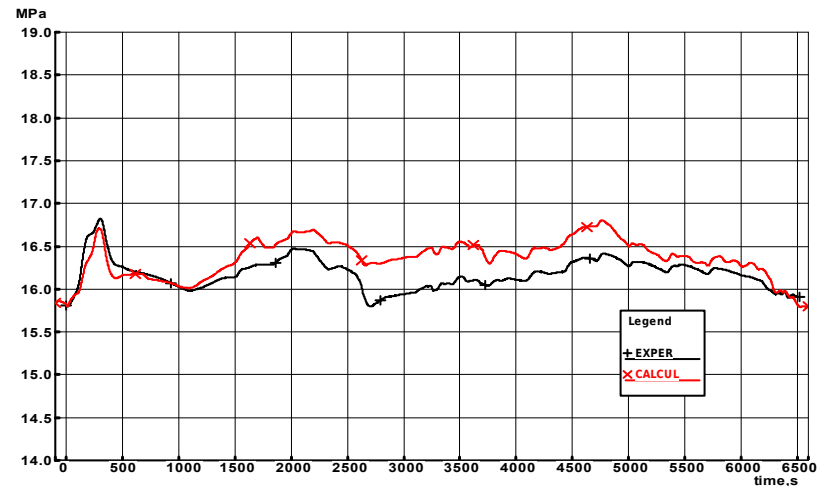
Положение ОР СУЗ



Суммарный расход систем подпитки и продувки первого контура

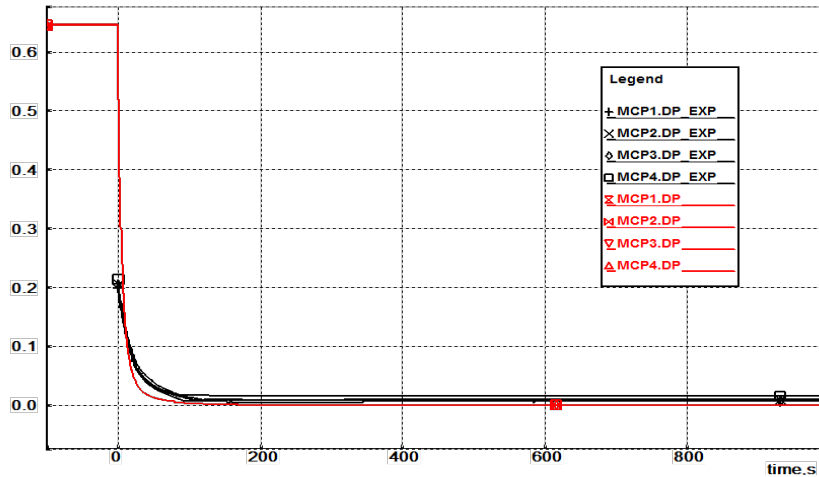


Мощность реактора по показаниям АКНП, по показаниям ДПЗ и по результатам модельного расчета

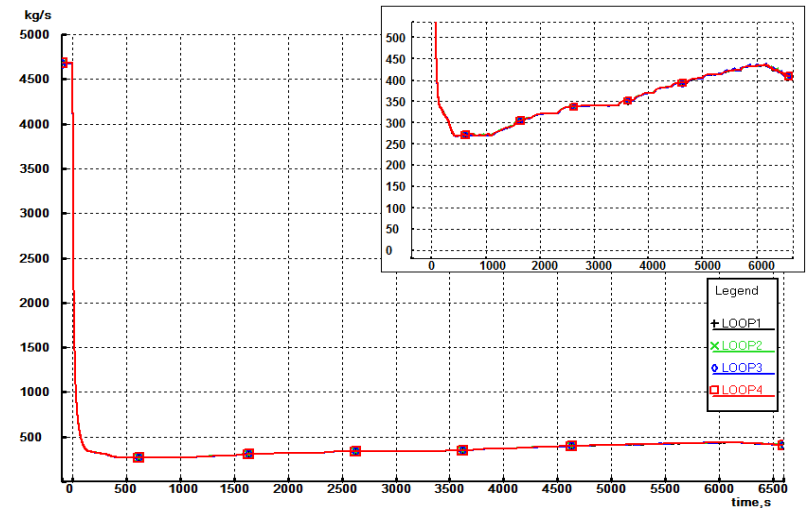


Давление теплоносителя на выходе реактора

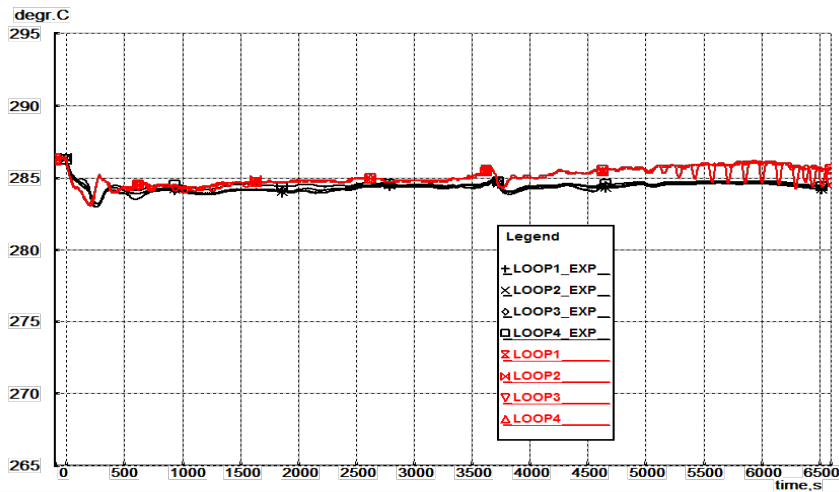
Результаты моделирования перехода на режим естественной циркуляции при вводе в эксплуатацию энергоблока ВВЭР-1200



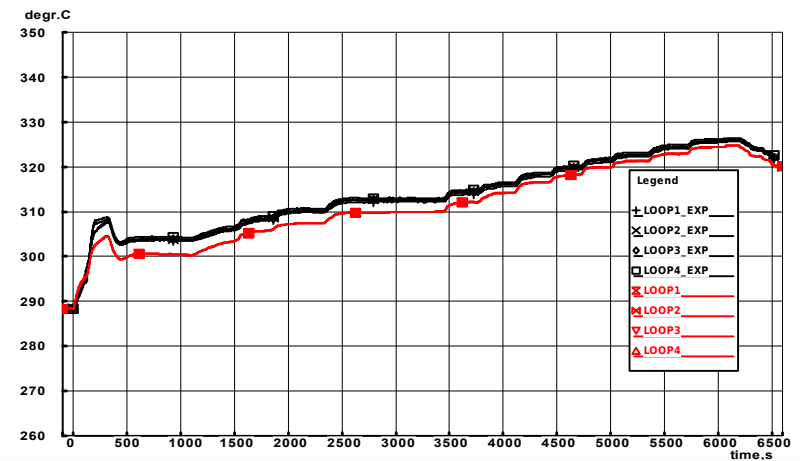
Перепад давления на ГЦНА



Расход по ниткам – расчетный (kg/s)



Температура на входе в реактор



Температура на выходе из реактора

Выводы

Результаты расчета отключения одной неработающей петли при четырех работающих, подключения одной неработающей петли к трем работающим, эксперимента по переходу на естественную циркуляцию теплоносителя достаточно близки к результатам измерений параметров блоков в ходе экспериментов. Максимальные относительные величины расхождений результатов расчетов и экспериментов приведены в таблице.

Таблица. **Максимальные относительные величины расхождений результатов**

Параметр	Относительное расхождение для отключения одной неработающей петли при четырех работающих		Относительное расхождение для подключения одной неработающей петли к трем работающим		Относительное расхождение для эксперимента по переходу на естественную циркуляцию теплоносителя	
	max	СКО	max	СКО	max	СКО
Мощность реактора	0.2 %	0.1 %	3.0 %	2.1 %	7.1 %	4.4 %
Давление на выходе реактора	1.2 %	0.8 %	0.2 %	0.1 %	3.1 %	2.4 %
Давление в ГПК	0.7 %	0.4 %	0.7 %	0.4 %	-	-
Расход через реактор	4.1 %	3.2 %	3,7 %	3,1 %	-	-
Температура теплоносителя в первом контуре	1.8 %	1.2 %	0.7 %	0.3 %	1.2 %	0.7 %

**Спасибо
за внимание!**

