

РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ КОДА RELAP 5/Mod 3/2 АВАРИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ НА СТЕНДЕ КМС В ЦЕЛЯХ ОПТИМИЗАЦИИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

В.И. Щеколдин, Ю.А. Безруков, Ю.А. Мигров, В.К. Ефимов, А.Н. Гудошников

Аннотация

Представлены результаты расчетов семи аварийных режимов крупномасштабного интегрального стенда (КМС) моделирующего работу реакторной установки ВВЭР-640. Расчет использовался для разработки технических требований по составу, месту расположения и характеристикам средств измерений стенда.

The calculations results of seven accidents of the large-scale test facility (KMS) simulated operation of VVER-640 reactor are presented.

The calculation was used for development of the technical requirements on structure, location and characteristics of devices of the test facility measurements .

Постановка задачи.

Стенд КМС, сооружение которого осуществляется на площадке НИТИ (Сосновый Бор), представляет собой интегральную экспериментальную установку, структурно моделирующую энергоблок средней мощности с реакторной установкой В-407. На стенде моделируется работа реакторной установки и контейнента со встроенными в него пассивными системами безопасности рассчитанными на работу в течении длительного времени. Для парогенератора и реакторной установки принят объемно-мощностной масштаб моделирования 1:23, а для контейнента 1:27.

Стенд должен вводиться в эксплуатацию поэтапно. При вводе в эксплуатацию первой очереди стенда должны проводиться экспериментальные исследования процессов теплопереноса внутри защитной оболочки и передачи тепла к конечному поглотителю стенда КМС. Вторая очередь интегрального стенда КМС предусматривает проведение экспериментов с имитатором активной зоны модели реакторной установки. Эксперименты на этом этапе направлены на моделирование процессов отвода остаточного тепла реактора в режимах с естественной циркуляцией теплоносителя, а также на моделирование проектных и аварийных связанных с отказами оборудования и течами теплоносителя из первого контура.

Для этих исследований программой экспериментов предусматривается широкий спектр режимов стенда. Для успешной их реализации необходимо иметь на стенде систему измерений, используемую для технологического контроля и для исследовательских измерений. Задача состоит в правильном выборе первичных преобразователей и вторичных приборов по пределам измерения и частоте, а также установки датчиков в местах стенда, представляющих наибольший интерес. Эта задача решалась с помощью кода RELAP5/Mod 3.2 по разработанной в НИТИ технологии позволяющей к коду RELAP подключить для совместного расчета блоки кода PARNAS разработанного в НИТИ. Код RELAP использовался для расчета внутриконтурных теплогидравлических процессов, а код PARNAS для расчета внутриконтурных теплогидравлических процессов и процессов в системе отвода тепла от защитной оболочки (СПОТ ГО). Были выполнены расчеты характерных режимов, охватывающих всю совокупность изменяющихся параметров стенда. Для этого перечня экспериментальных режимов были выбраны семь режимов:

- Разрыв холодного трубопровода ГЦК полным сечением
- Разрыв горячего трубопровода ГЦК полным сечением
- Разрыв холодного трубопровода ГЦК Ду=46 (15%)
- Разрыв холодного трубопровода ГЦК Ду=10 (0.7%)
- Режим обесточивания с потерей питания собственных нужд.

- Разрыв паропровода (до БЗОК) в режиме обесточивания.
- Течь из первого контура во второй при разрыве трех трубок ПГ вблизи горячего коллектора.

На основании анализа схемы системы экспериментальных измерений модели реакторной установки были определены те параметры, характеристики которых заранее неизвестны и их необходимо определять при помощи предварительных расчетов. Из рассмотрения были исключены параметры стенда, связанные с измерением температуры, уровня и паросодержания, т.к. их пределы измерения заранее известны.

2. Методика расчета и описание нодализационной схемы.

Во всех рассмотренных в данной работе режимах в качестве исходного состояния стенда КМС принята работа стенда в стационарном режиме в течение 100 секунд с параметрами, показанными в табл. 1. Далее режим изменялся в соответствии со сценарием эксперимента. Учитывая то обстоятельство, что на стенде не обеспечивается требуемый по условиям масштабирования уровень номинальной мощности в расчетах мощность в течение ~ 5-19 с задерживалась на номинальном уровне для стенда и лишь потом начинала снижаться согласно кривой спада остаточных тепловыделений /1/.

Таблица 1

Начальные условия для расчета аварий с номинальных параметров

№ п/п	Параметр	АЭС с ВВЭР-640	КМС
1.	Мощность, МВт	1872	15,0
2.	Максимальный коэффициент неравномерности энерговыделения по сечению активной зоны	1,94	1,94
3.	Давление на выходе реактора, МПа	15,7	15,7
4.	Расход теплоносителя через реактор, кг/с	10710	470
5.	Температура на входе/выходе активной зоны, °С	296,9/326,6	288,1/294,1
6.	Давление во II контуре ПГ, МПа	7,0	7,0
7.	Расход пара на турбину, кг/с	1012	36,8
8.	Температура питательной воды, °С	230	230

При разработке нодализационной схемы использовалось описание “Модели реакторной установки В-407 стенда КМС”. Расчетная схема, принятая за основу, представлена на рис. 1. Для каждого аварийного режима схема незначительно изменялась, чтобы учесть особенности аварии. В схему были включены: модель реактора, три циркуляционные петли с ГЦН (одна – имитирующая аварийную с компенсатором давления, вторая – имитирующая вторую циркуляционную петлю и третья петля, имитирующая третью и четвертую петли, находящиеся в одинаковых условиях), САОЗ низкого и высокого давления, три модели парогенератора, их подпитка, имитатор турбины, СПОТ, топливный и аварийный бассейны, система трубопроводов, арматура, насосы КВА и герметичная оболочка. Каждый из представленных элементов оборудования описывается значительным количеством объемов, подробно описывающих геометрические особенности модели. Там где необходимо, задаются граничные условия и тепловая структура. В тех случаях, когда несколько элементов схемы моделируются одной компонентой, её площадь живого сечения и поверхности теплообмена пропорционально увеличиваются. Режим полного обесточивания с потерей питания собственных нужд соответствует нодализационной схеме взятой за основу.

В режиме с разрывом паропровода до БЗОК, на выходе парогенератора устанавливалась компонента 552, отсекающая ПГ от паропровода, а пар полным сечением отводился от паропровода через компоненту 553 (см. рис. 2).

Подразделочная схема расчета аварийных режимов стелла КМС

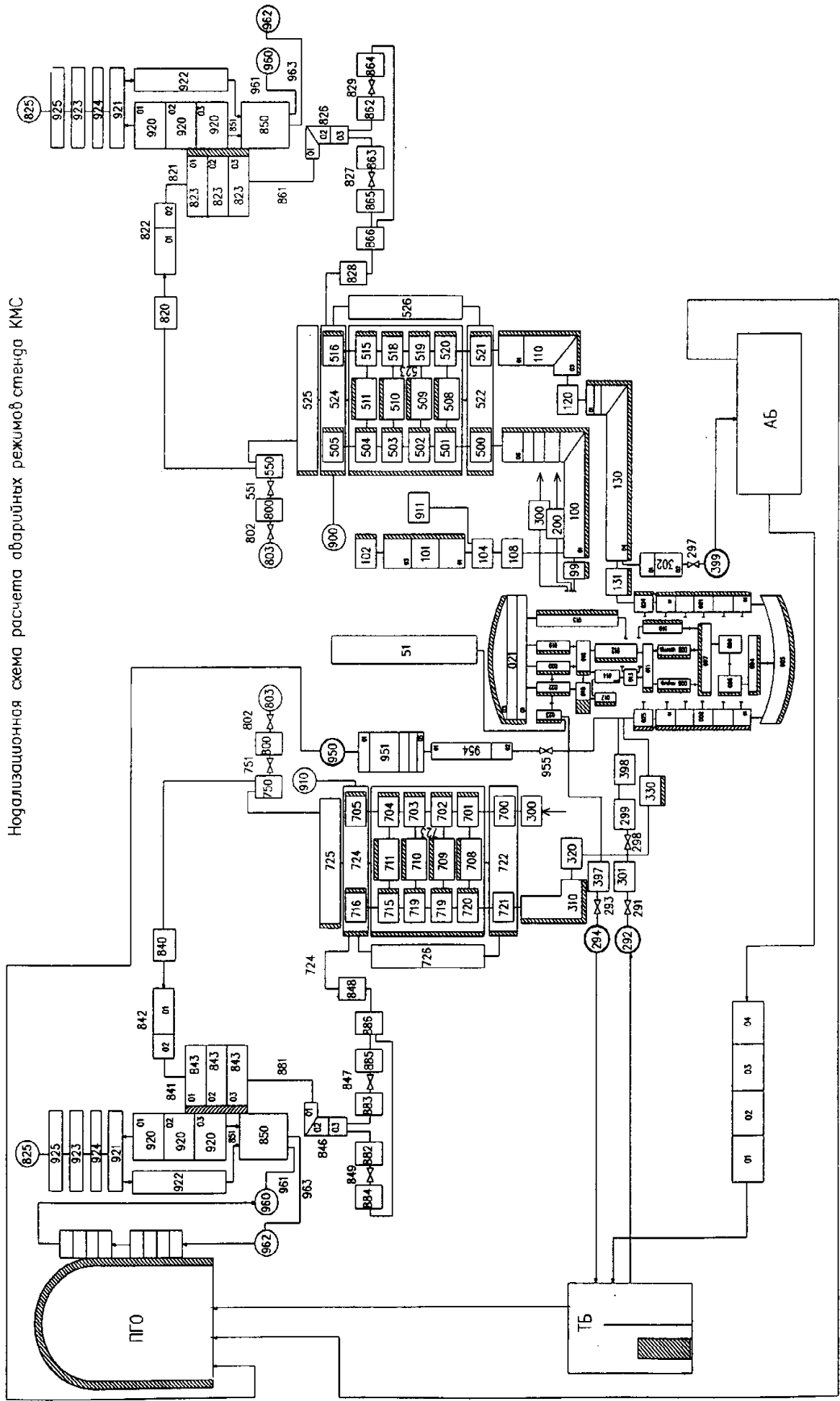
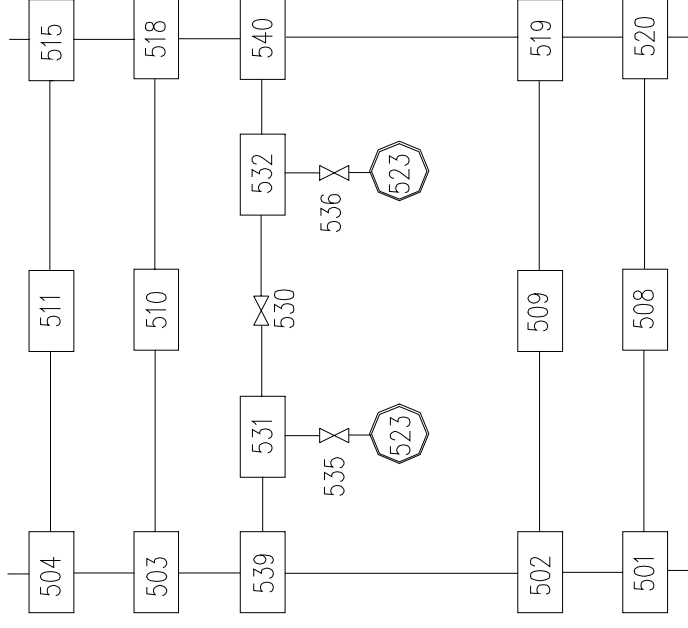


Рис. 1

Разрыв трех трубок ПГ-1



Разрыв паропровода го БЗ0К.

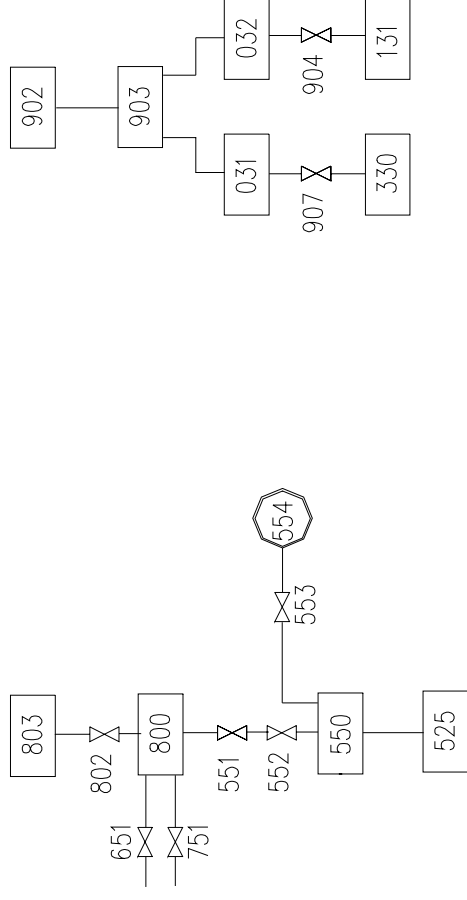


Рис. 2

В режиме с разрывом трех трубок парогенератора из нодализационной схемы исключена система пассивного отвода тепла. Насосы КВА моделируются баком большого объема (на рис 2 компонента 902), давление в котором равно давлению насоса на закрытую задвижку. Расход из бака задавался равным подаче насоса КВА, разделенной на два трубопровода (0,1055 кг/с) с учетом объемно-мощностного коэффициента. Разрыв трубок парогенератора моделировался с помощью компонент, представленных на рис 2. Из пучка труб ПГ выделялись три трубки (компоненты 531 и 532), в середине которых был установлен «мгновенно» закрывающийся клапан 530. С помощью клапанов 535 и 536 объемы трех трубок соединялись со вторым контуром ПГ.

В режимах с разрывом холодной нитки ГЦК (петля 1) предусматриваются дополнительные компоненты 302, 297 и 399, моделирующие двухстороннее истечение теплоносителя из первого контура (131, 130) в аварийный бассейн (компонента 399). Через компоненты 294 и 292 контур АБР подключается, соответственно, по горячему и холодному трубопроводам к топливному бассейну. Контур аварийного разуплотнения I контура через клапаны АБР связывает модель реакторной установки с той секцией топливного бассейна, в которой отсутствует отработавшее топливо. По горячему трубопроводу контур АБР через обратный клапан (компонента 293) подключается к верхней камере модели реактора (компонента 23), а по холодному трубопроводу через обратный клапан (компонента 291) к входной камере модели реактора.

Режим с разрывом горячего трубопровода ГЦК смоделирован аналогично холодному трубопроводу.

4. Результаты расчетов

Результаты расчетов показывают (рис. 3), что наибольший диапазон изменения теплогидравлических характеристик наблюдается в режимах, моделирующих аварии с большой течью теплоносителя. При этом наиболее резкое изменение параметров происходит на начальной стадии этих аварийных режимов, длительность которых составляет 100 с. Этот момент характеризуется значительной потерей теплоносителя и резким снижением давления в первом контуре модели реакторной установки (рис. 3.1). В различных элементах оборудования первого контура возникают высокочастотные колебания давления. Для регистрации таких пульсаций давления (рис. 3.2) необходима частота измерений от 25 до 100 Гц.

После подачи холодной воды из гидроемкостей и баков САОЗ реализуется длительная стадия постепенного опорожнения баков САОЗ и наполнения аварийного и топливного бассейнов. Формируется система сообщающихся сосудов (реактор, топливный бассейн, аварийный бассейн), связанных между собой трубопроводами АБР, аварийными петлями ГЦК и переливным трубопроводом. В конечном итоге модель реакторной установки переходит в стадию длительного расхолаживания через аварийный бассейн, которая характеризуется низкочастотными колебаниями теплогидравлических параметров.

Амплитудно-частотные характеристики колебаний теплогидравлических параметров в других авариях, как правило, не отличались от характеристик в авариях с большой течью теплоносителя.

Рисунки 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 и 3.8 иллюстрируют (как пример) расчетные параметры стенда, по которым только и возможно выбрать пределы шкал измерений для приборов стенда.

На основании анализа результатов расчетного исследования изменения основных теплогидравлических параметров стенда КМС в семи указанных выше авариях были составлены технические требования к точкам измерения стенда, характеристики которых можно определить только при помощи предварительных расчетов.

Следует отметить, что при выборе средств измерения необходимо отдавать предпочтение в первую очередь датчикам, имеющим высокую точность (порядка 0.1...0.2%) и широкий диапазон измерения. Для надежной регистрации параметров, изменяющихся в

Результаты расчетов.

Разрыв горячей трубы ГЦК полным сечением		Разрыв холодной трубы ГЦК полным сечением	
RELAP5/MOD2	3.1. Давление на входе в активную зону	RELAP5/MOD2	3.2. Перепад давления между входом в а.з. и днищем.
Разрыв холодной трубы ГЦК полным сечением		Разрыв холодной трубы ГЦК полным сечением	
RELAP5/MOD2	3.3. Массовый расход жидкости от CAOЗ низкого давления.	RELAP5/MOD2	3.4. Массовый расход пара в горячей трубе АБР
Режим обесточивания с потерей питания собственных нужд		Режим с разрывом трех трубок парогенератора	
RELAP5/MOD2	3.5. Расход в СПОТ	RELAP5/MOD2	3.6. Давление в хвостовиках кассет
<p> ▴ Расход в СПОТ 1, кг/с ▣ Расход в СПОТ 2, кг/с ▢ Расход в СПОТ 3, кг/с </p>		<p>▣ Давление в хвостовиках кассет, Па</p>	
Режим с разрывом трех трубок парогенератора		Разрыв холодной трубы ГЦК Ду=46 (15%) полным сечением	
RELAP5/MOD2	3.7. Расход в трубе компенсатора давления.	RELAP5/MOD2	3.8. Расход теплоносителя от CAOЗ высокого давления.
<p>▣ Расход в трубе компенсатора давления, кг/с</p>			

Рис. 3.

процессе одного эксперимента более чем в 20 раз, потребуется установка двух датчиков с разными диапазонами измерения.

Кроме того как показал анализ результатов прогнозных расчетов, при измерении таких параметров, как расход (скорость) теплоносителя и перепад давления, необходимо регистрировать как положительные сигналы так и отрицательные.

Таким образом на основании анализа результатов расчетного исследования изменения выбранных основных теплогидравлических параметров стенда в перечисленных выше аварийных режимах сформулированы технические требования по месту расположения и характеристикам средств измерений КМС второй очереди.

Литература.

1. С.Н. Волкова, А.Н. Гудошников, Ю.А. Мигров и др. “Предварительный анализ моделирования процессов АЭС с ВВЭР-640 на стенде КМС”. Труды международной конференции “Теплофизика-98”, Обнинск, 1998.