



«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

# Основные положения концепции реакторной установки с быстрым реактором повышенной безопасности

Кафедра Э7 «Ядерные реакторы и установки»  
проф., д.т.н. О.Ю. Кавун, ст. преп. В.В. Семишин





# «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

## Основные параметры реакторной установки

Реакторная установка должна обеспечивать возможность пассивного отвода тепла в режимах с потерей электроснабжения собственных нужд и разгерметизацией контура

Тип реактора – на быстрых нейтронах

Теплоноситель – углекислый газ

Давление в первом контуре ~ 1 атм.

Турбоустановка – К-800-240

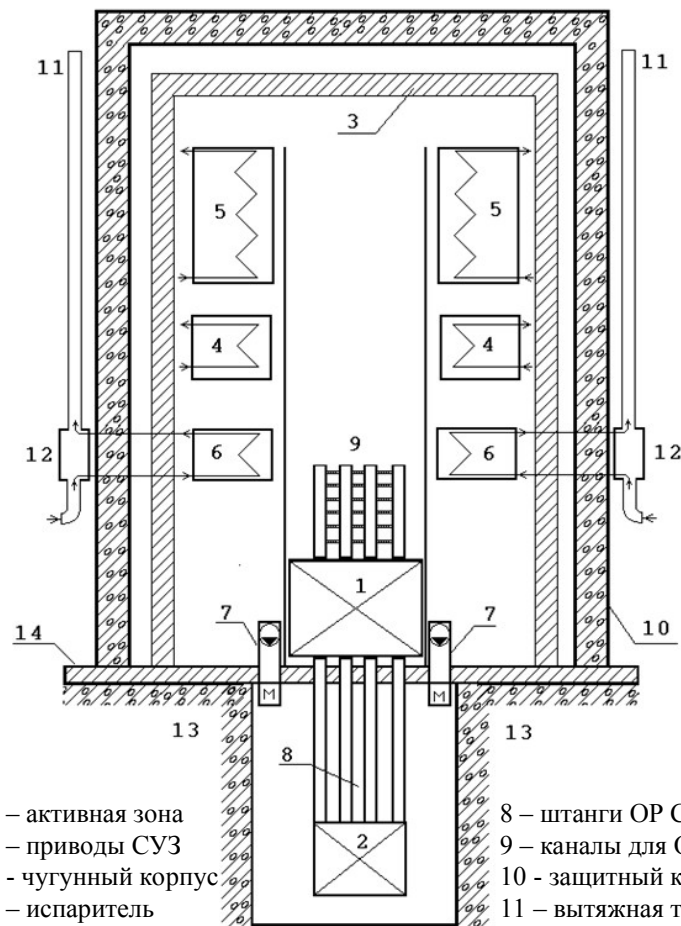
Объемное энерговыделение 10 МВт/м<sup>3</sup>

Материал оболочек твэлов – сталь 20/25/Nb

Материал теплопередающих поверхностей – стали, применяемые в пароперегревателях на ТЭС

## Преимущества предлагаемой реакторной установки

- Накоплен опыт эксплуатации реакторов с CO<sub>2</sub> в качестве теплоносителя на реакторах типа MAGNOX и AGR ;
- Высокий КПД АЭС, сопоставимый с КПД ТЭС;
- Минимальное количество систем безопасности и их пассивное действие;
- Высокая безопасность по нейтронно-физическим и теплотехническим параметрам;
- Возможность использования в замкнутом ядерном топливном цикле, утилизация ОЯТ реакторов типа ВВЭР. Вовлечение в ТЦ плутония накопленного в ходе эксплуатации тепловых реакторов, возможность дожигания в реакторе минорных актинидов;
- Затраты энергии на собственные нужды сопоставим с аналогичным в тепловой энергетике.



- |                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| 1 – активная зона     | 8 – штанги ОР СУЗ       |
| 2 – приводы СУЗ       | 9 – каналы для ОР СУЗ   |
| 3 - чугунный корпус   | 10 - защитный корпус    |
| 4 – испаритель        | 11 – вытяжная труба     |
| 5 – пароперегреватель | 12 – шиберы             |
| 6 – теплообменник     | 13 – бетонное основание |
| 7 – газодувка         | 14 – опорная плита      |



# «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

## Постановка задачи для обоснования концепции РУ

### Обоснование нейтронно-физической части

Разработка трехмерной НФ+ТГ модели активной зоны САПФИР-РФ + Десна-9

- исследование топливных кампаний с разными видами топлива
- выбор СУЗ и определение ее эффективности
- определение коэффициентов реактивности

- переходные режимы, связанные с введением положительной реактивности

### Обоснование теплогидравлической части

Разработка полномасштабной модели энергоблока ПК РАДУГА-ЭУ

- определение геометрических параметров РУ
- определение номинальных параметров РУ

- моделирование переходных режимов:
- пуск энергоблока
- маневрирование мощностью
- нарушения работы ГЦН
- работа на неполном числе петель
- полное обесточивание энергоблока
- пассивный отвод тепла от активной зоны атмосферным воздухом



# «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

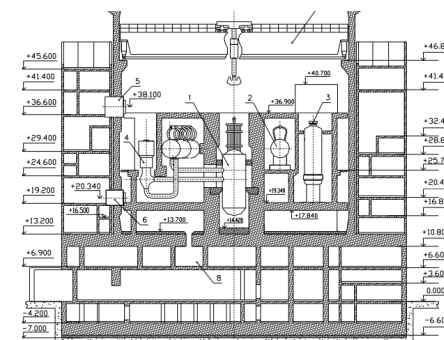
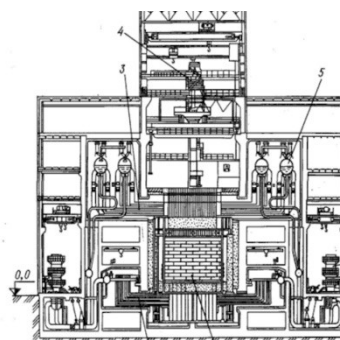
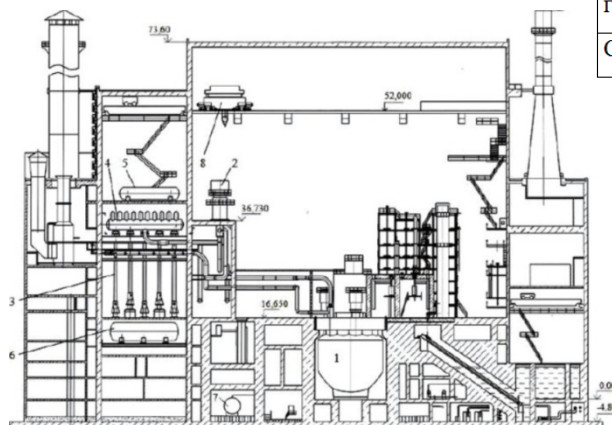
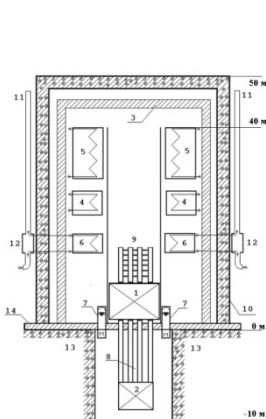
## Основные параметры реакторной установки

Основные параметры реакторной установки в номинальном режиме работы

Основные геометрические параметры активной зоны и теплообменного оборудования

Параметр	Значение
Мощность реактора:	
тепловая, МВт	1896,0
электрическая, МВт	800,0
Давление в первом контуре, атм.	2,0
Температура CO <sub>2</sub> :	
на входе в активную зону, °C	400,0
на выходе из активной зоны, °C	600,0
Расход CO <sub>2</sub> , кг/с	8730,0
Мощность на прокачку CO <sub>2</sub> , МВт	46,0

Параметр	Значение
Количество:	
ТВС, шт.	721
ТВЭЛОВ в ТВС, шт.	612
Шаг расположения:	
ТВС в активной зоне, мм.	735
ТВЭЛОВ в ТВС, мм.	30
Высота активной зоны, м	4
Эквивалентный диаметр активной зоны, м	16
Площадь поверхности теплообмена, м <sup>2</sup>	74114
Проходное сечение, м <sup>2</sup>	275
Поверхность теплообмена модуля испарителя (по газу), м <sup>2</sup>	22040
Поверхность теплообмена модуля основного пароперегрева (по газу), м <sup>2</sup>	17140
Поверхность теплообмена модуля промежуточного пароперегрева (по газу), м <sup>2</sup>	9790
Средний коэффициент теплоотдачи в парогенераторе, Вт/м <sup>2</sup> К	102





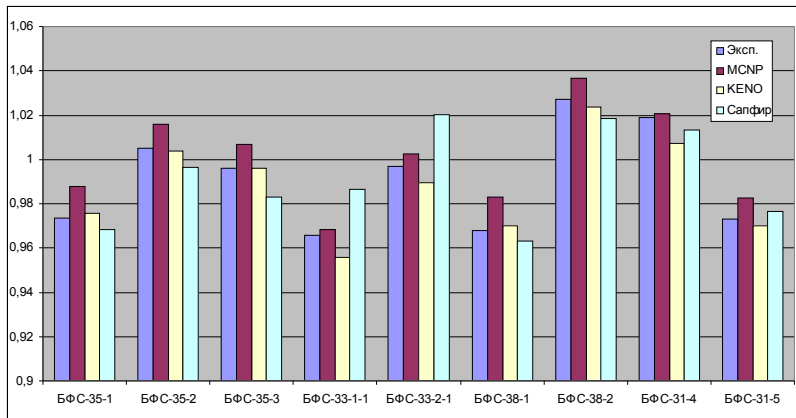
# «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

## Обоснование нейтронно-физической части Верификация программных средств

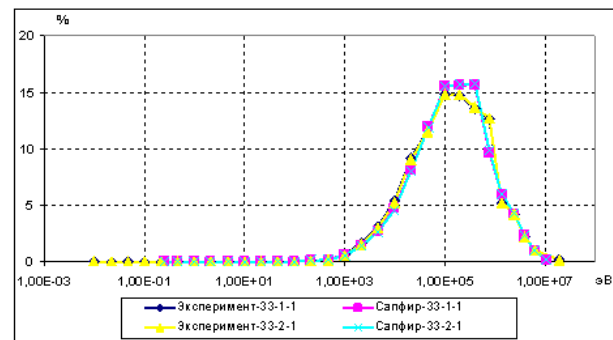
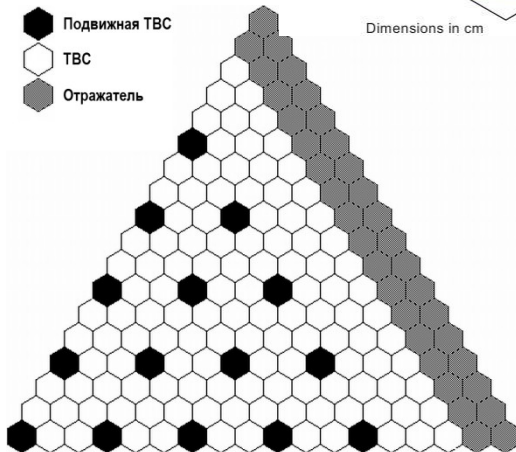
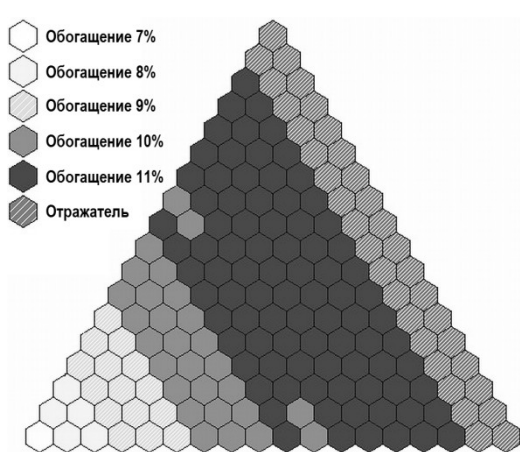
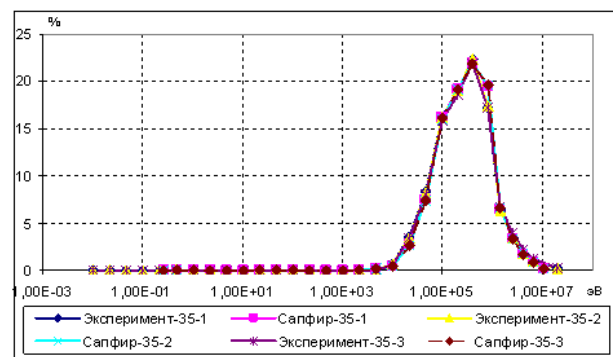
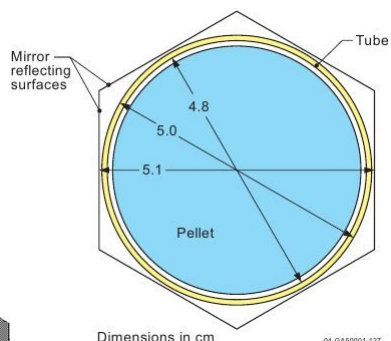
Расчет 8-ми групповых НФХ САПФИР-РФ

Формирование библиотеки НФХ

Расчет активной зоны Десна-9



Для оценки возможности применения указанных программных средств для расчета реакторов на быстрых нейтронах выполнены верификационные расчеты ячеек сборки БФС с быстрым спектром нейтронов



Картограмма топливной загрузки

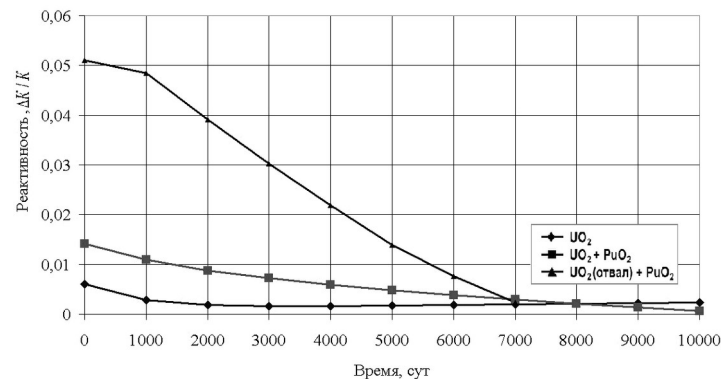
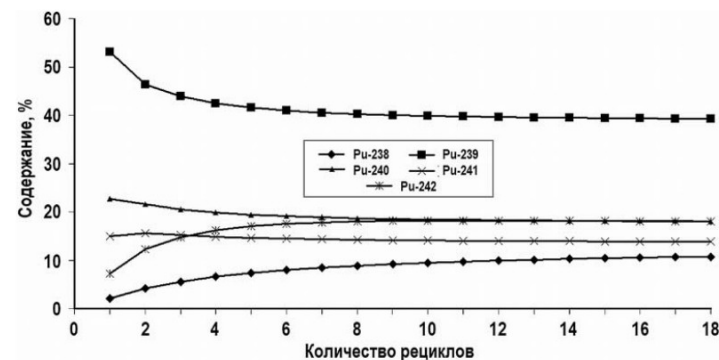
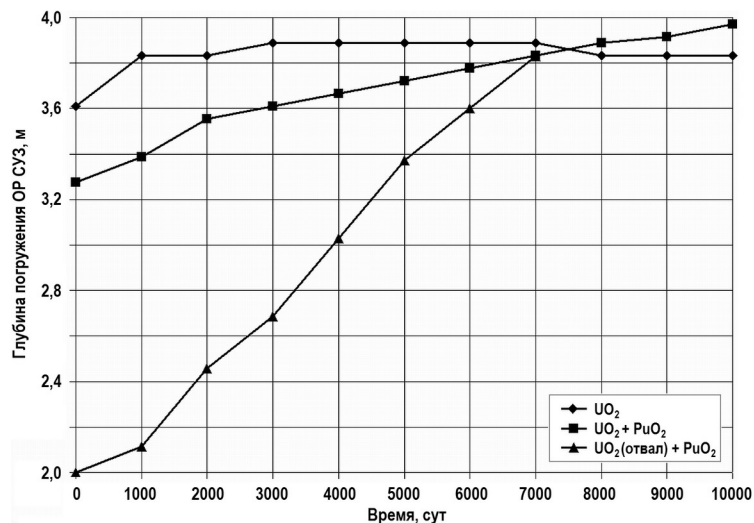
Картограмма расположения ОР СУЗ





# «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

## Рассматриваемые топливные загрузки



### Суммарный вес компенсирующих органов

Тип топлива	Начальная избыточная реактивность, %	Суммарный вес компенсирующих органов, %	
		Начало кампании	Конец кампании
Обогащенный оксид урана	0,6	11,30	11,27
Смесь оксидов урана и плутония	1,4	12,05	11,90
Добогащенный плутонием оксид отвалного урана	5,1	11,95	11,08

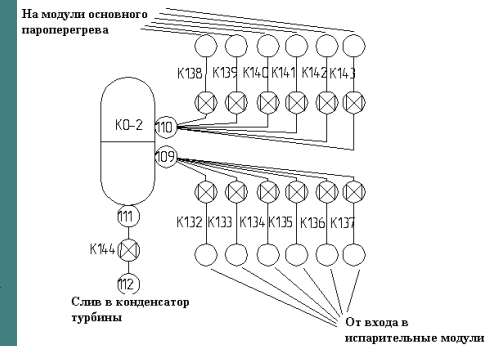
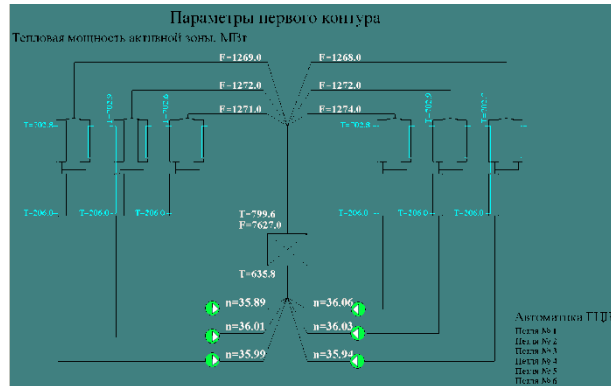
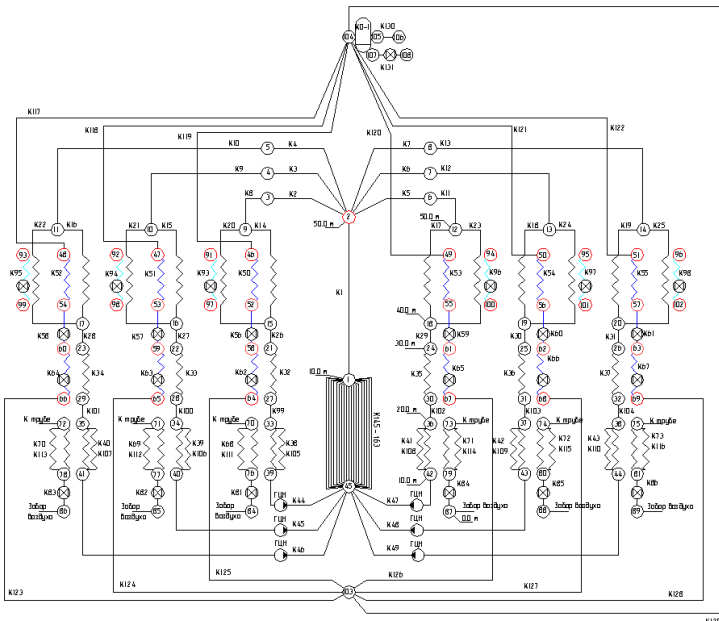
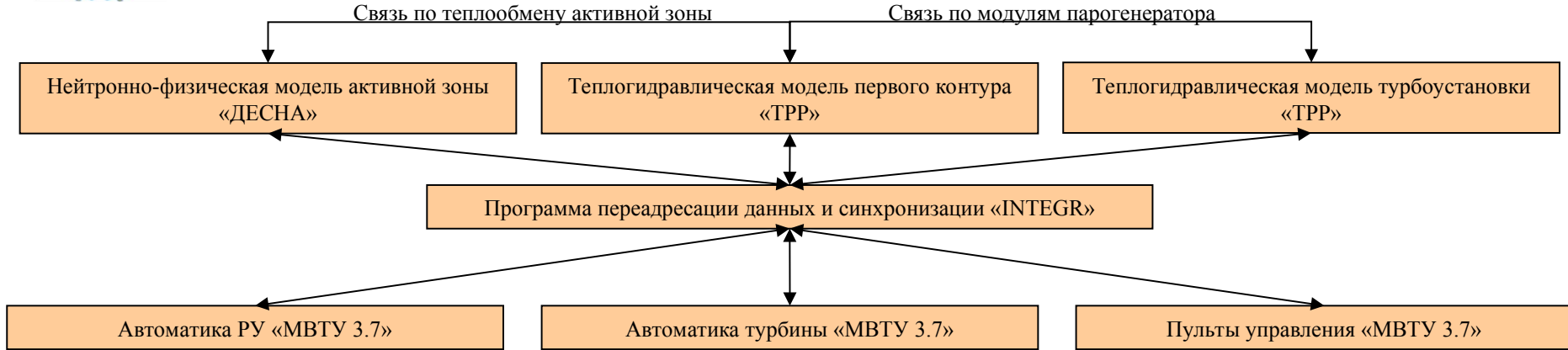
### Коэффициент реактивности по температуре топлива

Тип топлива	Коэффициент реактивности по температуре топлива, 1/°C, ×10 <sup>-5</sup>	
	Начало кампании	Конец кампании
Обогащенный оксид урана	-2,6	-1,5
Смесь оксидов урана и плутония	-1,7	-0,9
Добогащенный плутонием оксид отвалного урана	-2,2	-0,8



# «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

## Обоснование теплогидравлической части



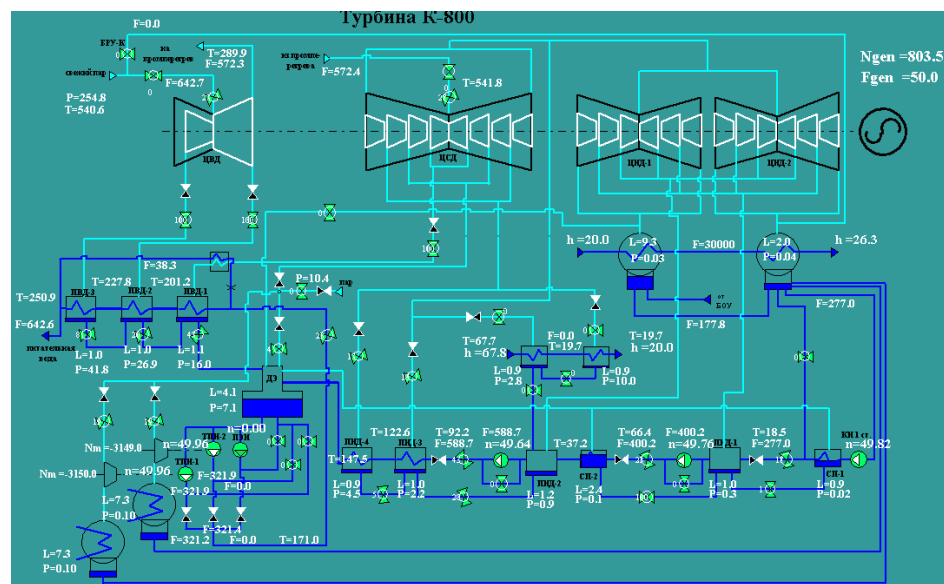
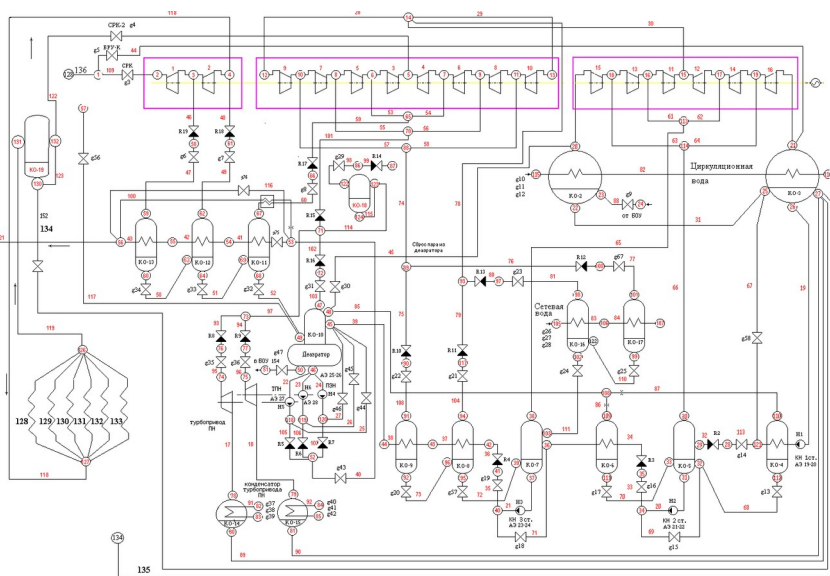
Теплогидравлическая модель первого контура, применявшаяся при исследованиях, включает в себя активную зону и шесть петель теплообмена первого контура с теплоносителем второго контура

Для моделирования пуска энергоблока и режимов с потерей мощности предусмотрен пусковой контур, позволяющий обеспечивать циркуляцию теплоносителя при низких уровнях мощности



# «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

## Обоснование теплогидравлической части концепции



Теплогидравлическая модель второго контура включает в себя все основные системы турбоустановки К-800-240. Моделируются цилиндры высокого, среднего и низкого давлений, отборы пара на регенеративный подогрев и на приведение турбопитательных насосов, возможность приведения турбопитательных насосов от котельной собственных нужд в случае падения расхода пара с цилиндров среднего давления и т.д.

Управление элементами оборудования турбоустановки также осуществляется с мнемосхемы, на которой представлено текущее состояние оборудования (положение задвижек, режим работы: автоматический или ручной, работа насосов), а также текущие параметры рабочего тела в разных участках схемы (температуры, давления, расходы и т.д.).



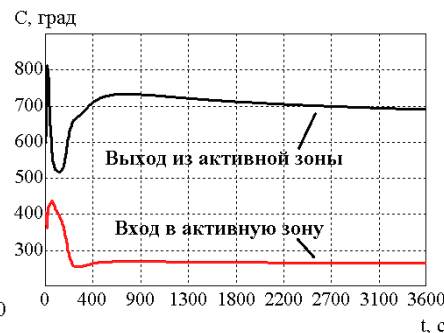
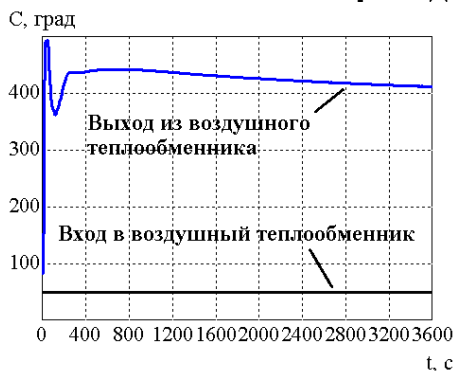


# «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

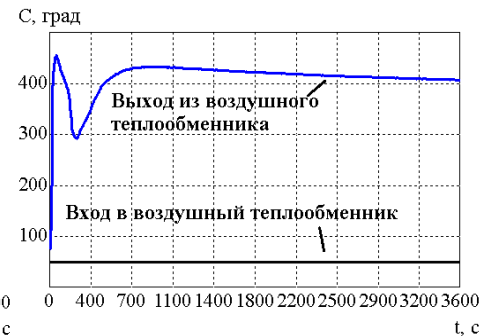
## Переходные режимы



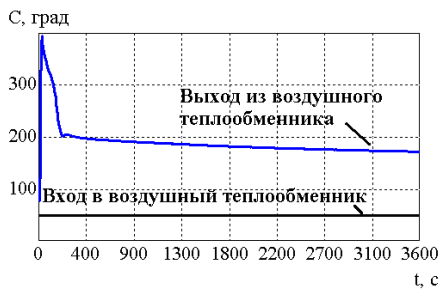
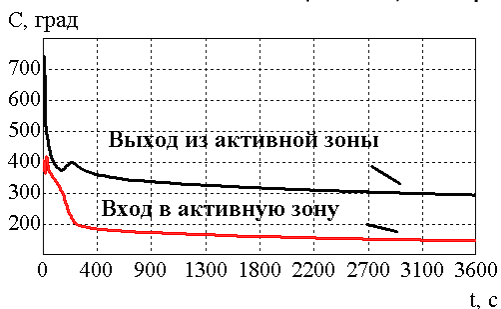
7% мощности, в первом контуре CO<sub>2</sub>



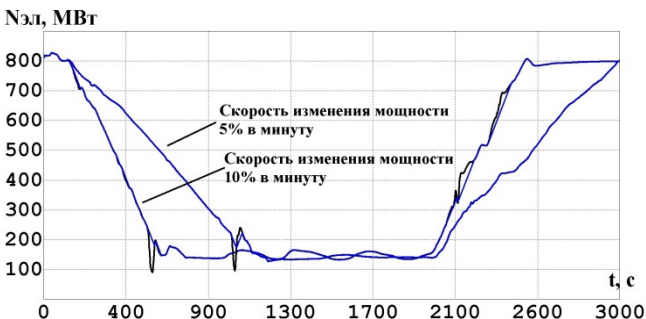
7% мощности, в первом контуре воздух



Реактор заглушен, в первом контуре воздух.



Маневр 800 МВт – 100 Мвт – 800 Мвт





## Заключение

1. Предложена концепция атомной станции повышенной безопасности с ядерным реактором на быстрых нейтронах с топливом  $UO_2$  или  $(U-Pu)O_2$ , охлаждаемым углекислым газом при атмосферном давлении, с применением серийно выпускаемой турбины мощностью 800 МВт электрических на сверхкритических параметрах К-800-240 с возможностью пассивного отвода тепла от активной зоны при потере теплоносителя первого контура.
2. Выполнено расчетное обоснование нейтронно-физических и теплогидравлических параметров РУ в номинальном и переходных режимах
3. Подтверждено надежное охлаждение РУ в режимах полного обесточивания как основным теплоносителем, так и в случае замены его атмосферным воздухом



«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**Спасибо за внимание!**