



«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

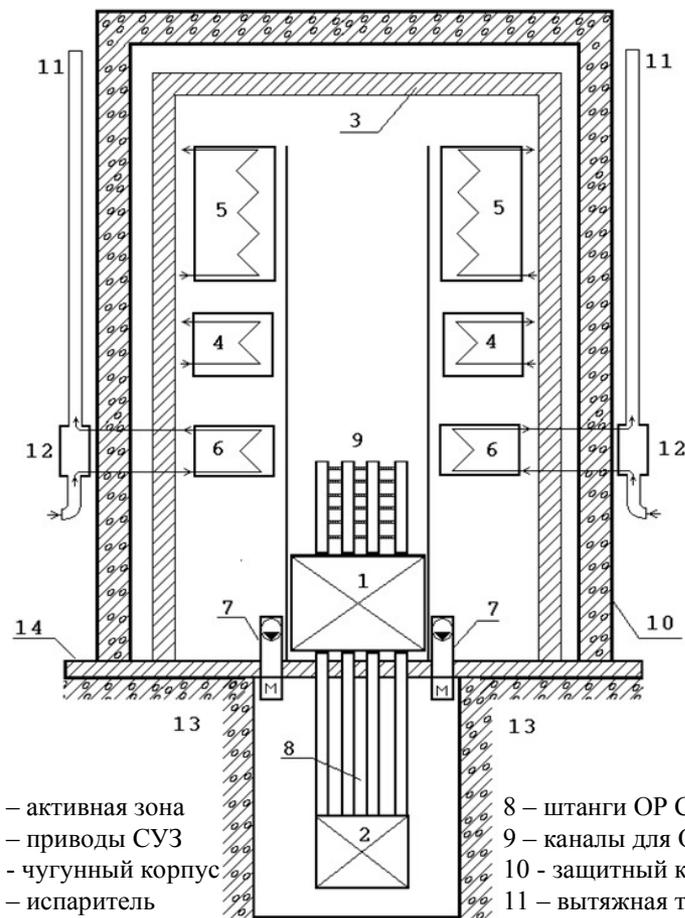
Объемное энерговыделение 10 МВт/м³

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 CO₂ 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)

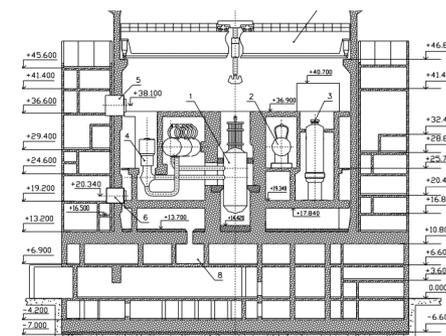
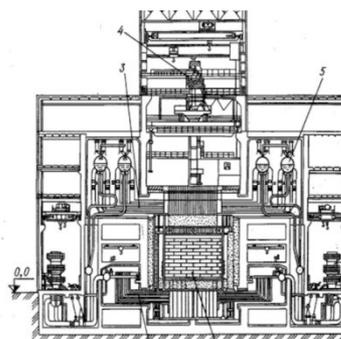
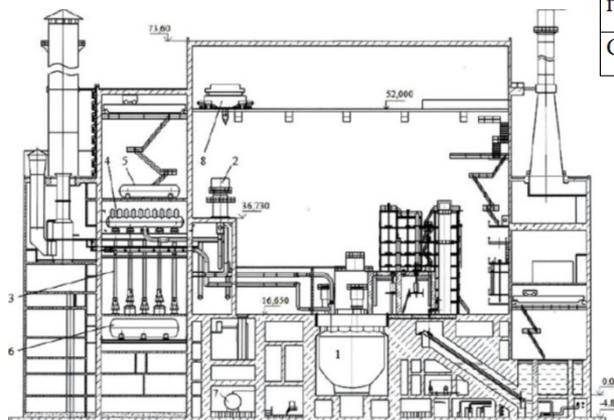
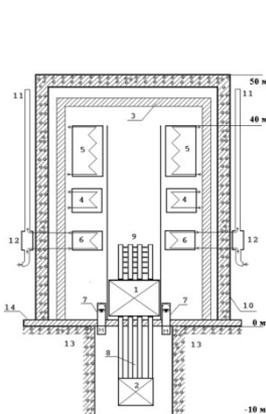
Основные параметры реакторной установки

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 ₂ :	
на входе в активную зону, °C	400,0
на выходе из активной зоны, °C	600,0
Расход CO ₂ , кг/с	8730,0
Мощность на прокачку CO ₂ , 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 ²	74114
Проходное сечение, м ²	275
Поверхность теплообмена модуля испарителя (по газу), м ²	22040
Поверхность теплообмена модуля основного пароперегрева (по газу), м ²	17140
Поверхность теплообмена модуля промежуточного пароперегрева (по газу), м ²	9790
Средний коэффициент теплоотдачи в парогенераторе, Вт/м ² К	102





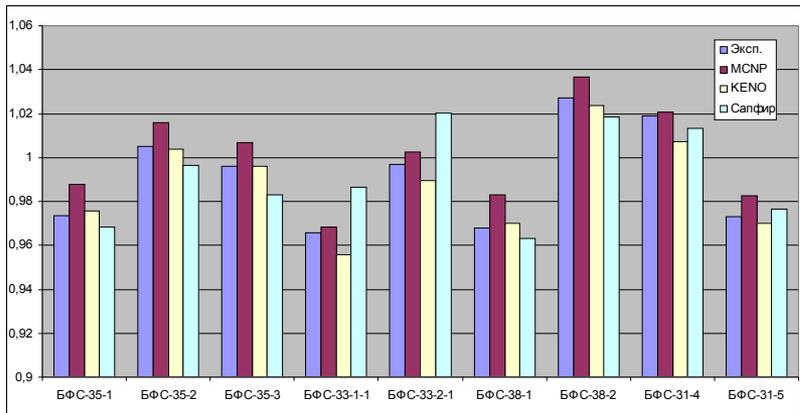
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Обоснование нейтронно-физической части Верификация программных средств

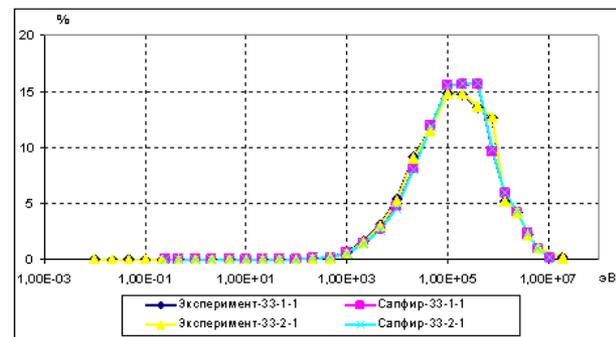
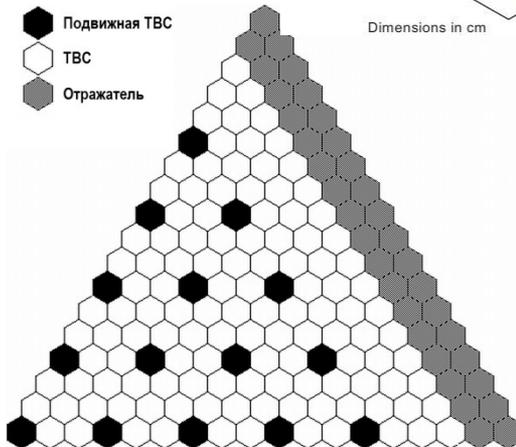
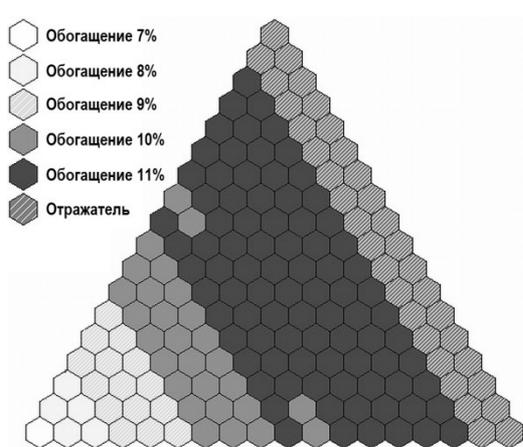
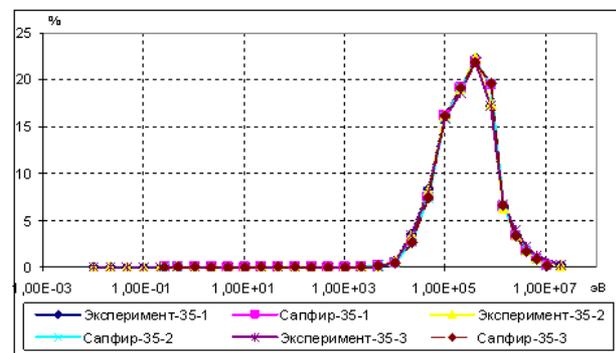
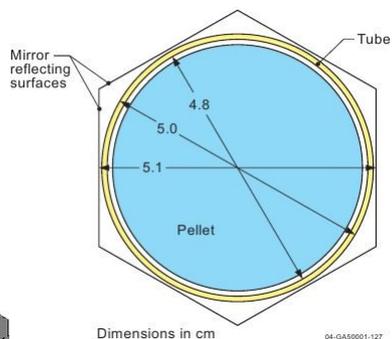
Расчет 8-ми групповых НФХ САПФИР-РФ

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



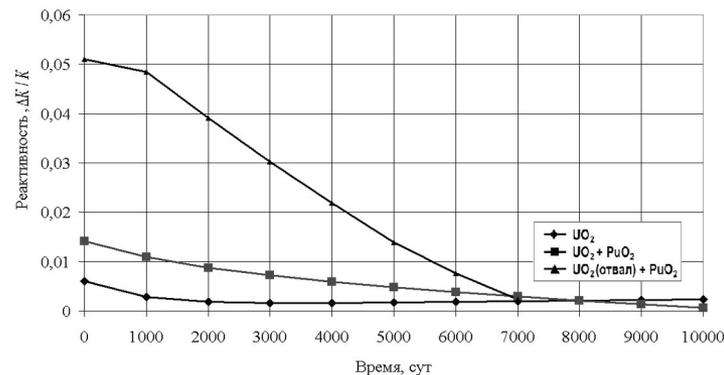
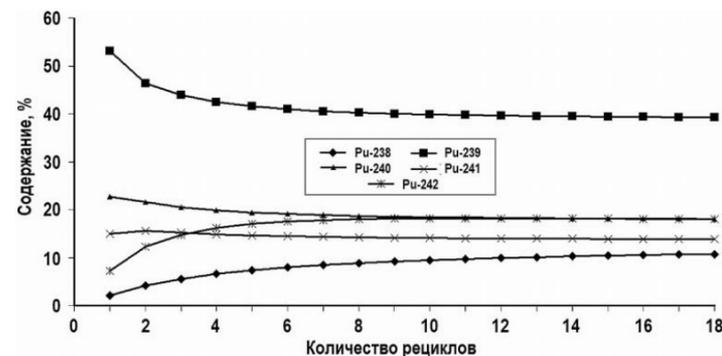
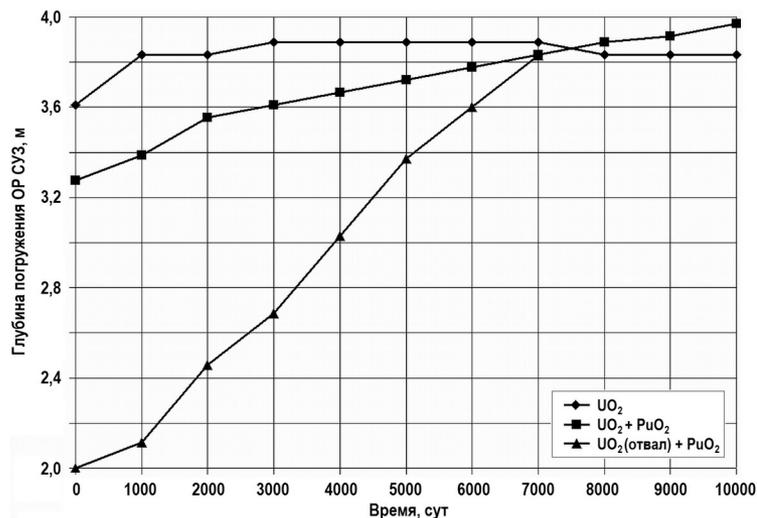
Картограмма топливной загрузки

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
Добобогащенный плутонием оксид отвалного урана	5,1	11,95	11,08

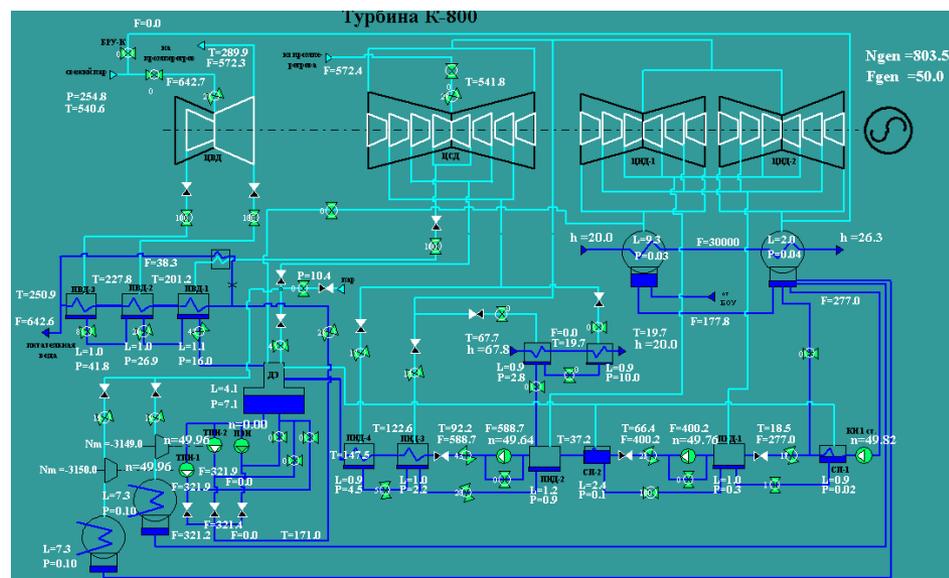
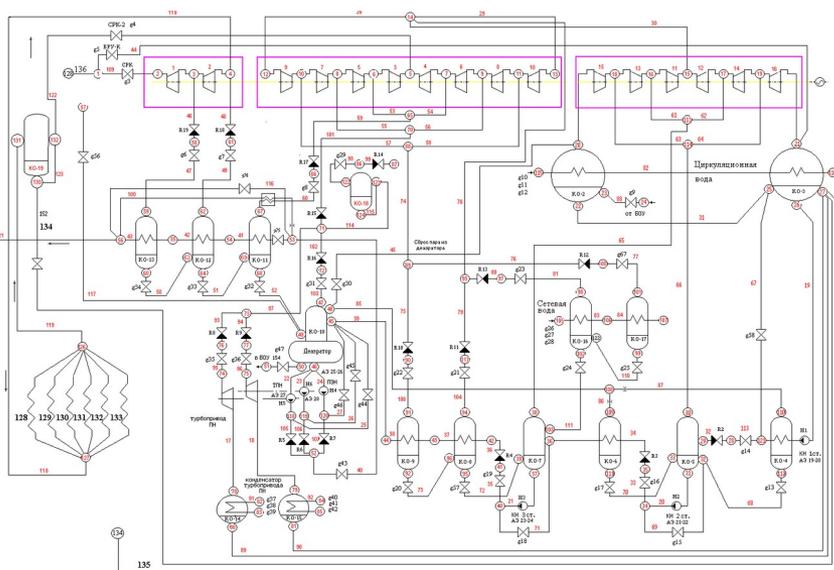
Коэффициент реактивности по температуре топлива

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



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

Обоснование теплогидравлической части концепции



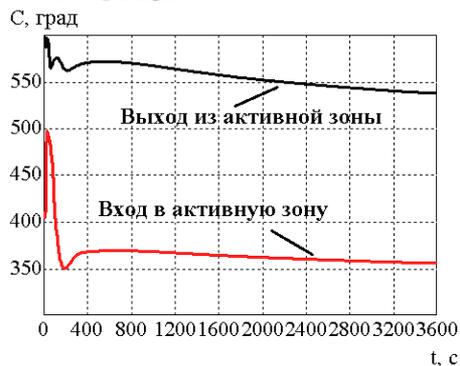
Теплогидравлическая модель второго контура включает в себя все основные системы турбоустановки К-800-240. Моделируются цилиндры высокого, среднего и низкого давлений, отборы пара на регенеративный подогрев и на приведение турбопитательных насосов, возможность приведения турбопитательных насосов от котельной 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.).

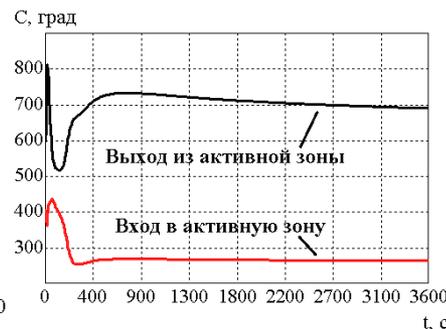
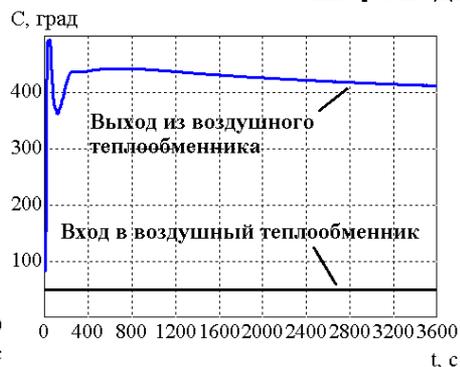


«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

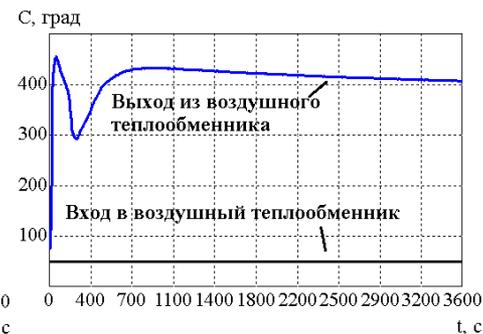
Переходные режимы



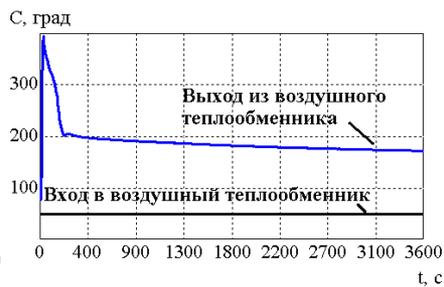
7% мощности, в первом контуре CO₂



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!