

**ИТОГИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
АЭС С РБМК В 2010-2012 ГОДАХ.
ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО ЭТАПА ЭКСПЛУАТАЦИИ
РЕАКТОРОВ РБМК**

**Драгунов Ю.Г. – директор-генеральный конструктор
ОАО «НИКИЭТ», член-корреспондент РАН;**

Петров А.А. – главный конструктор ОАО «НИКИЭТ»;

Бурлаков Е.В. – директор ОКР ИАС НИЦ «Курчатовский институт»

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПО АЭС С РБМК ЗА 2011 ГОД

- **энерговыработка – 77 664,5 млн.кВт/ч (45% от общей выработки АЭС);**
- **коэффициент использования установленной мощности – 80,32%;**
- **коэффициент эксплуатационной готовности – 81,03%;**
- **количество нарушений – 11;**
- **количество остановов со срабатыванием аварийной защиты – 7.**

Примечание: В этот период проводились работы по завершению модернизации спецсистем на энергоблоке № 1 Смоленской АЭС, расширенное обследование реактора энергоблока № 1 Ленинградской АЭС.

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ НА ЭНЕРГОБЛОКАХ АЭС С РБМК, выполняемые в 2010-2012 годах

- 1. Модернизация и продление срока эксплуатации**
- 2. Внедрение комплекса управляющих систем**
- 3. Внедрение уран-эрбиевого топлива обогачением 2,8%**
- 4. Внедрение кластерных регулирующих органов**
- 5. Совершенствование топлива**
- 6. Повышение безопасности и улучшение нейтронно-физических характеристик**
- 7. Работы по увеличению устойчивости к экстремальным внешним воздействиям**
- 8. Решение проблемы по растрескиванию сварных соединений трубопроводов Ду300 по механизму МКРПН (подробно было доложено на МНТК-2010)**

1. Работы по модернизации и продлению срока эксплуатации

Смоленская АЭС, энергоблок № 1:

- ✓ Выполнена полномасштабная модернизация
- ✓ Проведена подготовка к ПСЭ
- ✓ Разработан отчёт по углублённой оценке безопасности
- ✓ Выполнен ремонт сварных соединений трубопроводов Ду800. Отремонтированы сварные соединения с высоконикелевыми подварками и с аустенитными заварками, имеющими дефекты

Ленинградская АЭС, энергоблок № 4:

- ✓ Получена лицензия на ПСЭ

К настоящему времени полномасштабная модернизация проведена на 9 энергоблоках с реакторами РБМК, из них процедуру ПСЭ прошли 6 энергоблоков

2. Внедрение комплекса управляющих систем

Состав комплекса управляющих систем:

- комплексная система контроля, управления и защиты (КСКУЗ);
- управляющие системы безопасности для технологических систем;
- компьютерные системы с комплексами вывода информации;
- блочный и резервный пульты управления;
- системы бесперебойного электроснабжения;
- информационно-вычислительная система «Скала-микро».

2010 год – Ленинградская АЭС, энергоблок № 4

2011 год – Смоленская АЭС, энергоблок № 1

3. Внедрение уран-эрбиевого топлива

АЭС- энергоблок	Начало загрузки ТВС 2,6%/ТВС 2,8%	Доля ТВС 2,8% в загрузке	Рост средней энерговыработки с начала загрузки ТВС 2,6%
ЛАЭС-1	04.1997/11.2005	94%	28%
ЛАЭС-2	04.1997/01.2001	85%	31%
ЛАЭС-3	10.1998/03.2004	93%	30%
ЛАЭС-4	04.1997/10.2005	92%	34%
КуАЭС-1	07.1999/01.2007	88%	34%
КуАЭС-2	06.2000/04.2007	86%	44%
КуАЭС-3	06.2000/01.2005	97%	33%
КуАЭС-4	06.1999/01.2005	97%	38%
САЭС-1	11.1999/02.2005	99%	36%
САЭС-2	11.1999/09.2005	99%	33%
САЭС-3	06.1999/02.2005	98%	28%

4. Внедрение кластерных регулирующих органов (КРО)

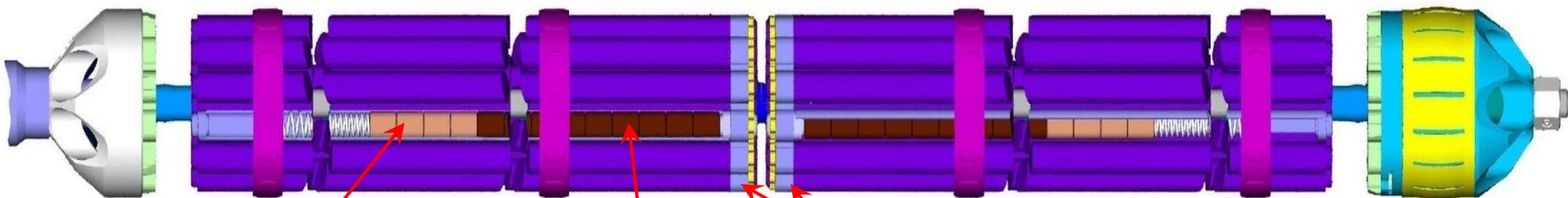
АЭС- энергоблок	Оснащение КРО
ЛАЭС-1	осталось установить <20
ЛАЭС-2	переведён полностью
ЛАЭС-3	переведён полностью
ЛАЭС-4	осталось установить 54
КуАЭС-1	осталось установить 63
КуАЭС-2	переведён полностью
КуАЭС-3	осталось установить <20
КуАЭС-4	переведён полностью
САЭС-1	переведён полностью
САЭС-2	осталось установить <20
САЭС-3	переведён полностью

Комплект КРО для ручного и автоматического регулирования реакторов разных энергоблоков включает от 135 до 166 исполнительных механизмов

5. Совершенствование топлива

Проектные характеристики ТВС-ПФЦ:

- ресурс – 3 940 МВт·сут/ТВС
(для ТВС с обогащением 2,8% - 3 380 МВт·сут/ТВС);
- надёжность – $(1-2) \cdot 10^{-5}$ отказов твэлов в год на энергоблок;
- назначенный срок службы – 10 лет.

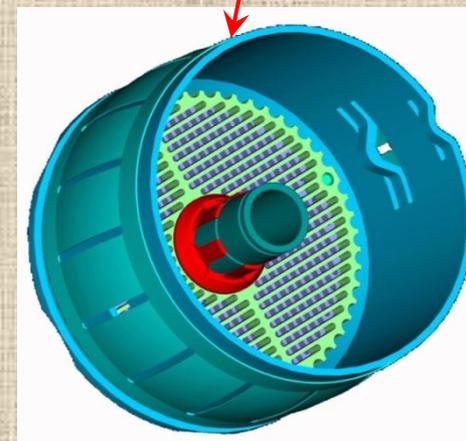
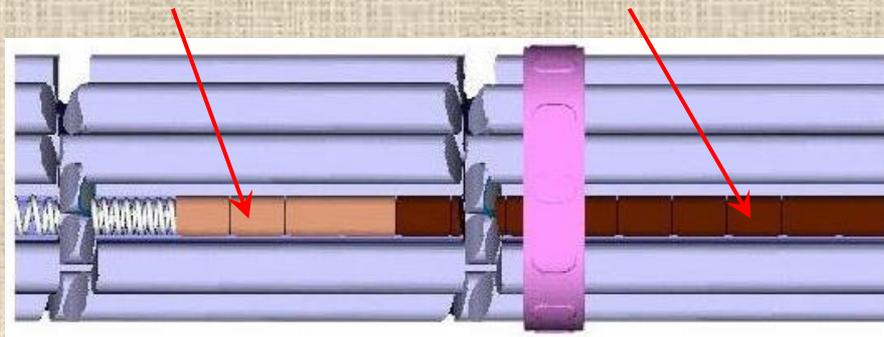


Топливные таблетки
2,5% обогащения с
содержанием эрбия
0,3% (длина 935 мм)

Топливные таблетки
3,2% обогащения с
содержанием эрбия
0,7% (длина 2590 мм)

Опорные решетки,
обеспечивающие
центральное
закрепление твэлов

Хвостовик-фильтр



6. Повышение ядерной безопасности и улучшение нейтронно-физических характеристик

Повышение ядерной безопасности достигается за счёт:

- **внедрения КСКУЗ с двумя быстродействующими независимыми системами остановки (АЗ, БСМ)**

Отрицательная реактивность $-1 \beta_{эф}$ вводится:

- **в режиме АЗ – за 1,3 секунды,**
 - **в режиме БСМ – за 1,2 секунды,**
 - **в режиме АЗ+БСМ – за 0,9 секунды**
- **установки КРО, снижающей положительный эффект реактивности при обезвоживании контура охлаждения СУЗ с $2 \beta_{эф}$ до $<1 \beta_{эф}$;**
 - **снижения парового эффекта реактивности до $(0,3-0,8) \beta_{эф}$.**

7. Работы по увеличению устойчивости к экстремальным внешним воздействиям

- Участие в проведении стресс-тестов на АЭС и выпуске отчётов**
- Выпуск технических требований, технических заданий на мероприятия по повышению устойчивости энергоблоков в условиях запроектных аварий**
- Анализ запроектных аварий с длительным обесточиванием и потерей источников подпитки охлаждающей водой**

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО ЭТАПА ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕАКТОРОВ РБМК

Основные факторы, ограничивающие ресурс реактора

- 1. Растрескивание графитовых блоков, искривление ТК и каналов СУЗ**
- 2. Осевая усадка колонн графитовой кладки и уменьшение величины зацепления в телескопическом соединении «Тракт ТК – графитовая колонна»**
- 3. Диаметральная и продольная ползучесть трубы ТК и изменение свойств циркониевого сплава трубы ТК**

1. Растрескивание графитовых блоков, искривление ТК и каналов СУЗ

Динамика нарастания количества треснувших графитовых блоков (по результатам контроля энергоблока № 1 Ленинградской АЭС)

Параметр	Год	2008	2010	2011
ТВ-осмотр графита после извлечения ТК, ячеек		64	71	22
Обнаружено ячеек с трещинами блоков, шт.		32 (50%)	45 (63%)	19 (90%)
Всего треснувших блоков, шт.		75 из 896 (8%)	164 из 994 (16%)	93 из 280 (33%)

1. Растрескивание графитовых блоков, искривление ТК и каналов СУЗ

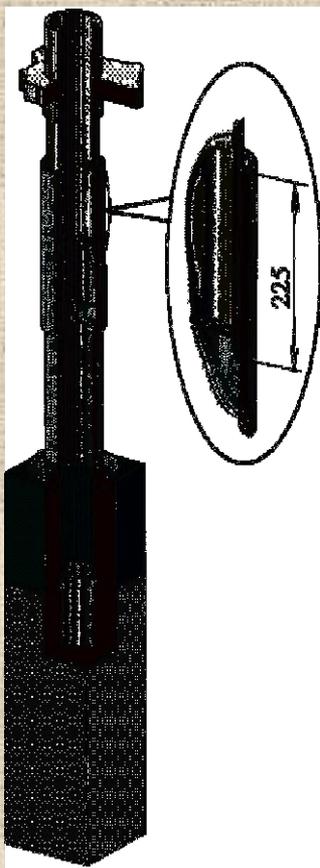
Дополнительная программа экспериментальных и расчётных исследований энергоблока № 1 Ленинградской АЭС

- **оценка состояния реакторной установки;**
- **анализ работоспособности внутризонных устройств в условиях формоизменения графитовой кладки;**
- **прочностное обоснование элементов активной зоны при эксплуатации в условиях формоизменения графитовой кладки;**
- **анализ возможности изменения условий протекания аварийных ситуаций, связанных с деформациями элементов активной зоны**

Вывод: В качестве обоснованной величины допустимого прогиба каналов ТК и СУЗ на 2011-2012 годы с учётом прогноза скорости нарастания деформаций принята величина 100 мм.

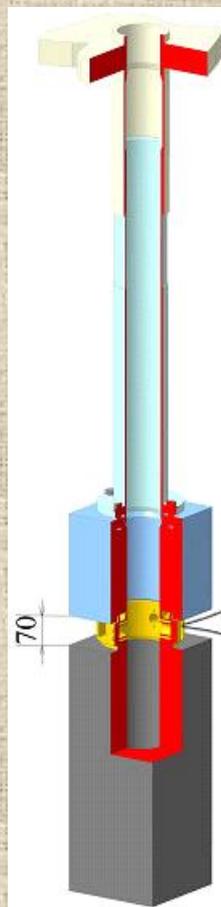
2. Осевая усадка колонн графитовой кладки и уменьшение величины зацепления в телескопическом соединении «тракт ТК – графитовая колонна»

Восстановление ТСТ методом установки сегментных вкладышей



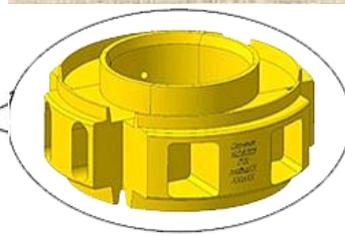
ПРОЕКТНОЕ
СОСТОЯНИЕ ТСТ

225 мм – величина зацепления ТСТ в холодном состоянии, обеспечивающая 30 лет эксплуатации реакторной установки

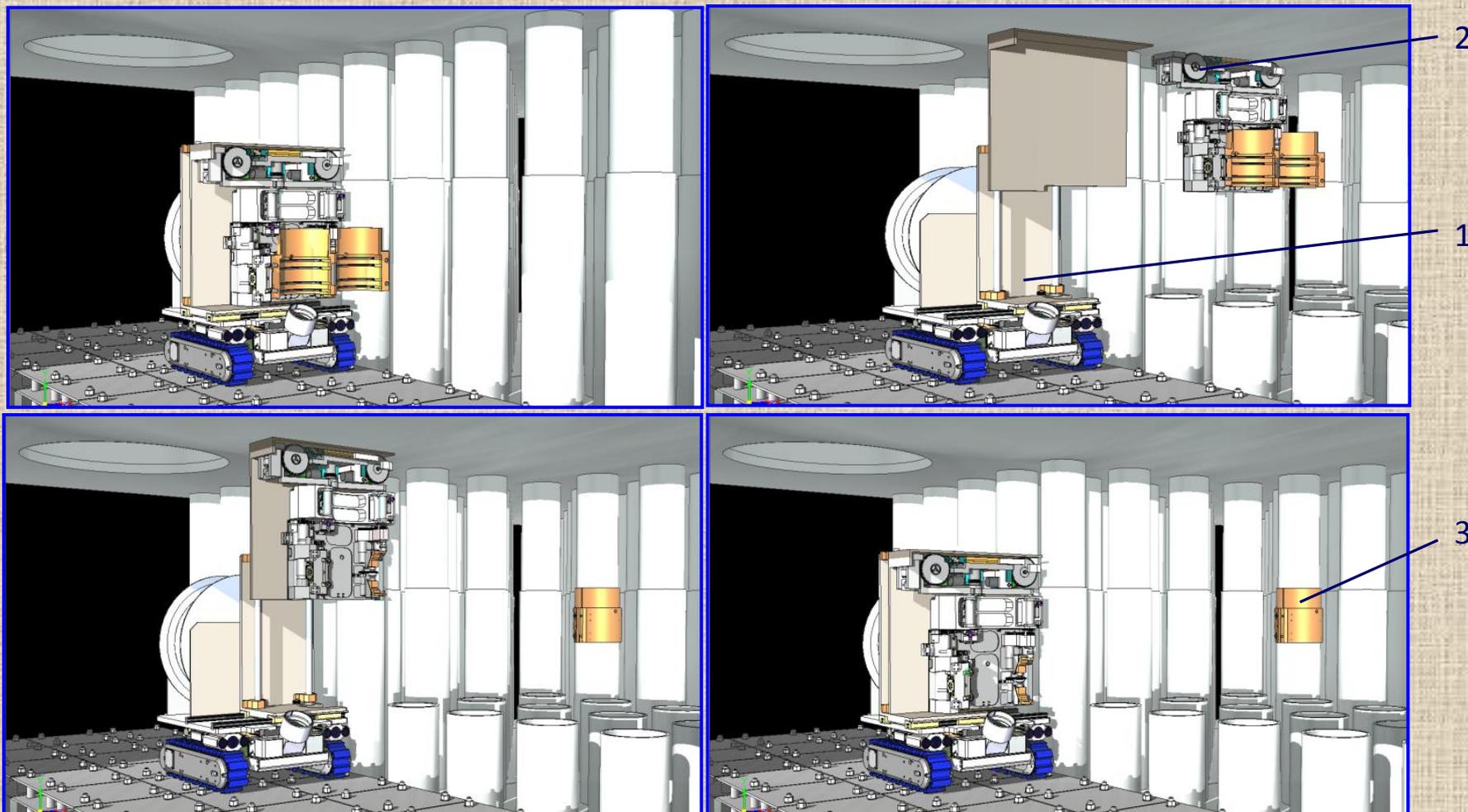


ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ТСТ

сегментный
вкладыш
(компенсатор)

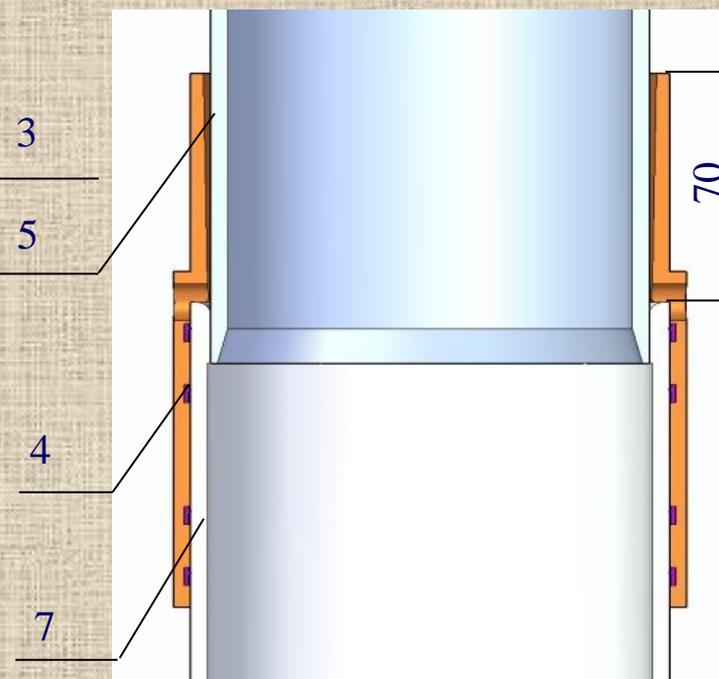
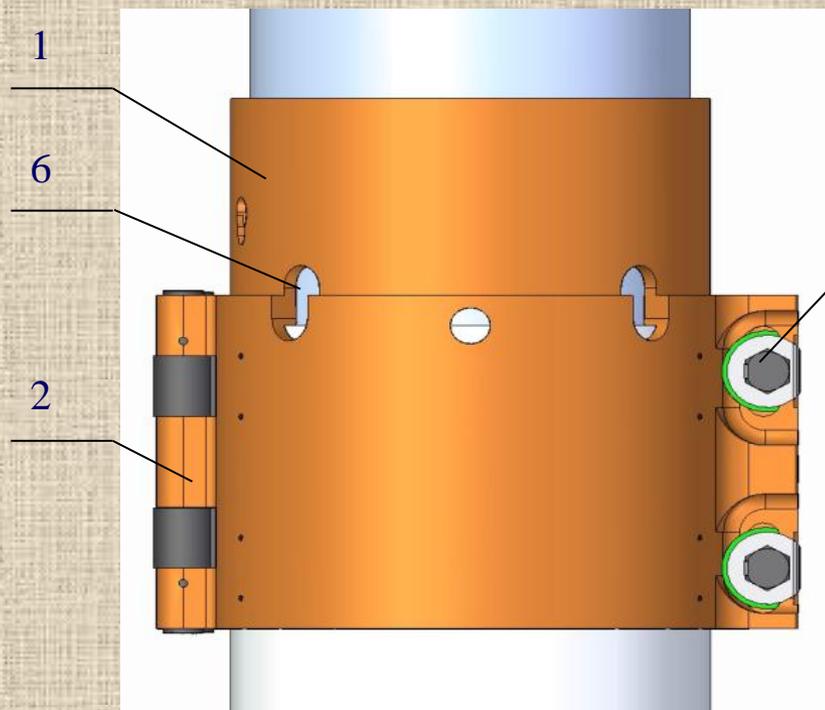


Альтернативное восстановление ТСТ с использованием робототехнического комплекса



1 – робот-доставщик; 2 – робот-установщик; 3 – хомут-удлиннитель

Хомут-удлиннитель



- 1 – хомут-удлиннитель
- 2 – осевой шарнир
- 3 – винтовое соединение
- 4 – фиксирующий элемент

- 5 – труба тракта
- 6 – окна с контрольными рисками
- 7 – труба фланца

Момент затяжки винтового соединения – $10_{-0,5}$ Н·м

3. Диаметральная и продольная ползучесть трубы ТК и изменение свойств циркониевого сплава трубы ТК

Причина изменения	Чем опасно	Способ устранения или компенсации
Диаметральная ползучесть ТК, увеличение внутреннего диаметра ТК	Снижение запасов до кризиса теплообмена ТВС и увеличение вибрации	Определение предельного, с точки зрения допустимой вибрации и достаточного теплосъёма, увеличения внутреннего диаметра. При превышении – замена ТК.
Осевая ползучесть, удлинение ТК	Исчерпание хода нижнего сильфонного компенсатора, возможное утыкание и изгиб ТК	Замена сильфона на новый или восстановление его хода поджатием.
Изменение свойств циркониевого сплава трубы ТК (упрочнение и охрупчивание, коррозия, наводораживание)	Повышение вероятности потери целостности ТК	Контроль динамики изменения свойств циркониевого сплава по результатам послереакторных исследований. Расчётное определение предельных характеристик. Своевременная замена ТК.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ СТАРЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ РБМК

- 1. Совершенствование контроля и мониторинга состояния элементов активной зоны**
- 2. Моделирование и прогнозирование процессов формоизменения графитовой кладки**
- 3. Анализ развития аварийных ситуаций в условиях формоизменения графитовой кладки**
- 4. Исследование влияния процессов формоизменения на нейтронно-физические характеристики активной зоны**

- 5. Прочностные обоснования элементов активной зоны и ограждающих конструкций**
- 6. Расчётно-экспериментальные исследования работоспособности регулирующих органов СУЗ и ТВС, процессов теплообмена**
- 7. Обоснование пределов и условий безопасной эксплуатации**
- 8. Разработка компенсирующих мероприятий (модернизация конструкций и элементов реактора, разработка технологий ремонта, оптимизация режимов эксплуатации, корректировка регламентной документации)**

Компенсирующие мероприятия для обеспечения безопасной эксплуатации реакторной установки в условиях формоизменения графитовой кладки

1. Цель – уменьшение скорости изменения стрелы прогиба

Способы реализации:

- **Увеличение жёсткости отражателя**
(установка модернизированных КОО)
- **Выполнение локального восстановительного (поддерживающего) ремонта**
(формирование «второй трещины» в графитовом блоке оппозитно существующей, выпрямление колонн с помощью натяжителей)
- **Установка натяжителей в отдельные ячейки ТК**
- **Оптимизация режимов эксплуатации. Профилирование поля энерговыделения**

2. Цель – обеспечение работоспособности внутризонных устройств

Способы реализации:

- **Модернизация исполнительных механизмов СУЗ**
(уменьшение длины звеньев поглощающих элементов исполнительных механизмов СУЗ, уменьшение жёсткости гильзы КРО)
- **Модернизация ТВС**
(увеличение числа дистанционирующих решёток)

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!