



РОСАТОМ



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

РЕШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО ЭТАПА ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕАКТОРОВ РБМК

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

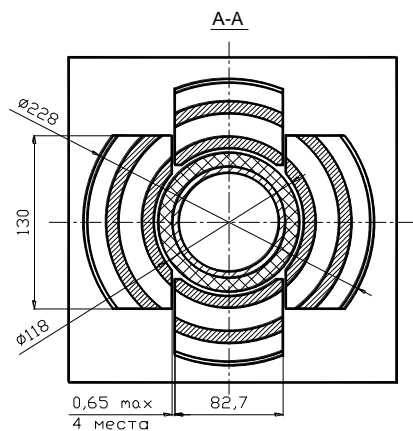
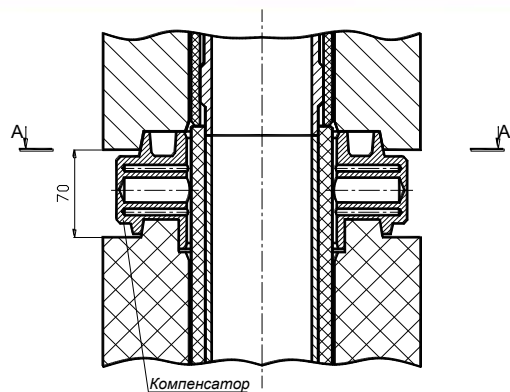
Петров А.А. – главный конструктор ОАО «НИКИЭТ»

МНТК-2014

1. ПРОБЛЕМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ:

- ЗАЦЕПЛЕНИЕ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ ТРАКТОВ (ТСТ) (ЛАЭС-1,2; КуАЭС-1; САЭС-1);
- УДЛИНЕНИЕ ТОПЛИВНОГО КАНАЛА (ТК) (ЛАЭС-1,2; КуАЭС-1,2; САЭС-1);
- ВНУТРЕННИЙ ДИАМЕТР ТК (ВСЕ ЭНЕРГОБЛОКИ);
- ИСКРИВЛЕНИЕ ЯЧЕЕК (ВСЕ ЭНЕРГОБЛОКИ)

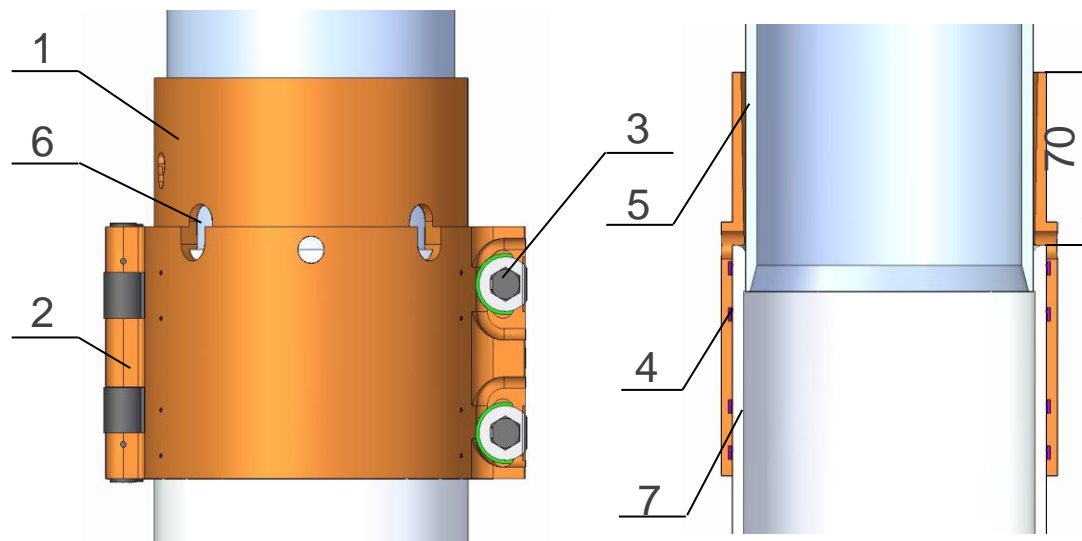
СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ТСТ



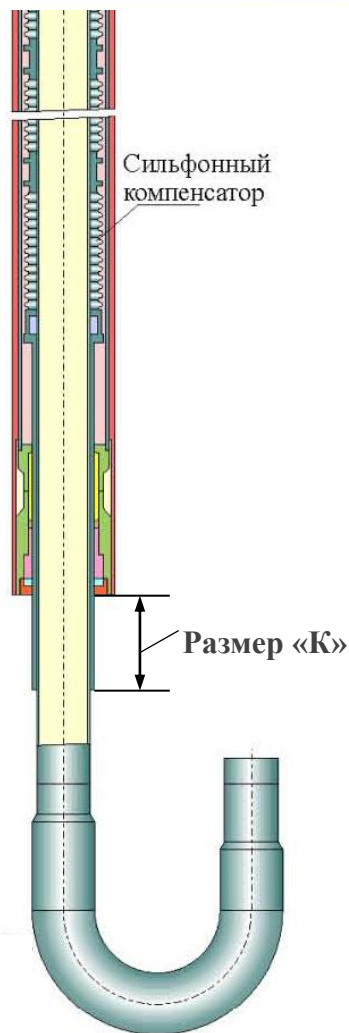
Установка вкладышей
между верхней защитной
плитой и верхним
графитовым блоком

Хомут-удлиннитель

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| 1 – хомут-удлиннитель | 4 – фиксирующий элемент |
| 2 – осевой шарнир
контрольными | 5 – труба тракта |
| 3 – винтовое соединение | 6 – окна с рисками |
| | 7 – труба фланца |



УДЛИНЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ КАНАЛОВ И КАНАЛОВ СУЗ



Предельно-допустимое значение удлинения ТК из-за радиационно-термической ползучести (изменение размера «К») согласно регламенту составляет 30 мм. Для КСУЗ – 20 мм.

При замене ТК первого комплекта величина поджатия сифонов была восстановлена. Однако, из-за увеличенного срока службы ТК второго комплекта (по сравнению с первым) в некоторых ячейках хода сифонного компенсатора до окончания ДСЭ энергоблоков может не хватить.

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ, СВЯЗАННЫХ С УДЛИНЕНИЕМ ТК И КСУЗ

Для обеспечения достижения 45-летнего срока эксплуатации необходимо:

- на основе измерений размера «К» установкой РКМ-16 при работе реактора на мощности уточнить температурное перемещение низа ТК;
- на основе полученных данных уточнить предельно-допустимое значение удлинения (ПДЗ);
- периодическое выполнение 100% контроля для выявления критических ячеек и выполнение на них восстановления хода сильфона путём его поджатия

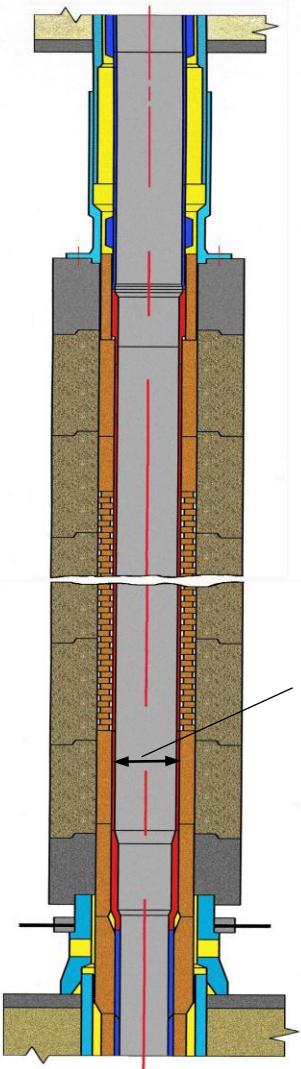
ВНУТРЕННИЙ ДИАМЕТР ТК

Регламентное предельное значение внутреннего диаметра ТК равно 82,6 мм. Оно было определено из опыта безопасной эксплуатации ТВС в ТК первого комплекта и обосновано расчетными работами.

Выполненные прогнозные оценки внутреннего диаметра ТК показали, что его величина к окончанию срока эксплуатации в единичных ячейках может достигнуть 84 мм.

Средняя скорость прироста внутреннего диаметра ТК составляет 0,34 мм на 1000 эфф·сут.

Завершены работы по уточнению предельно-допустимого значения внутреннего диаметра ТК. В настоящий момент обоснованное значение составляет 84 мм.



Внутренний диаметр ТК

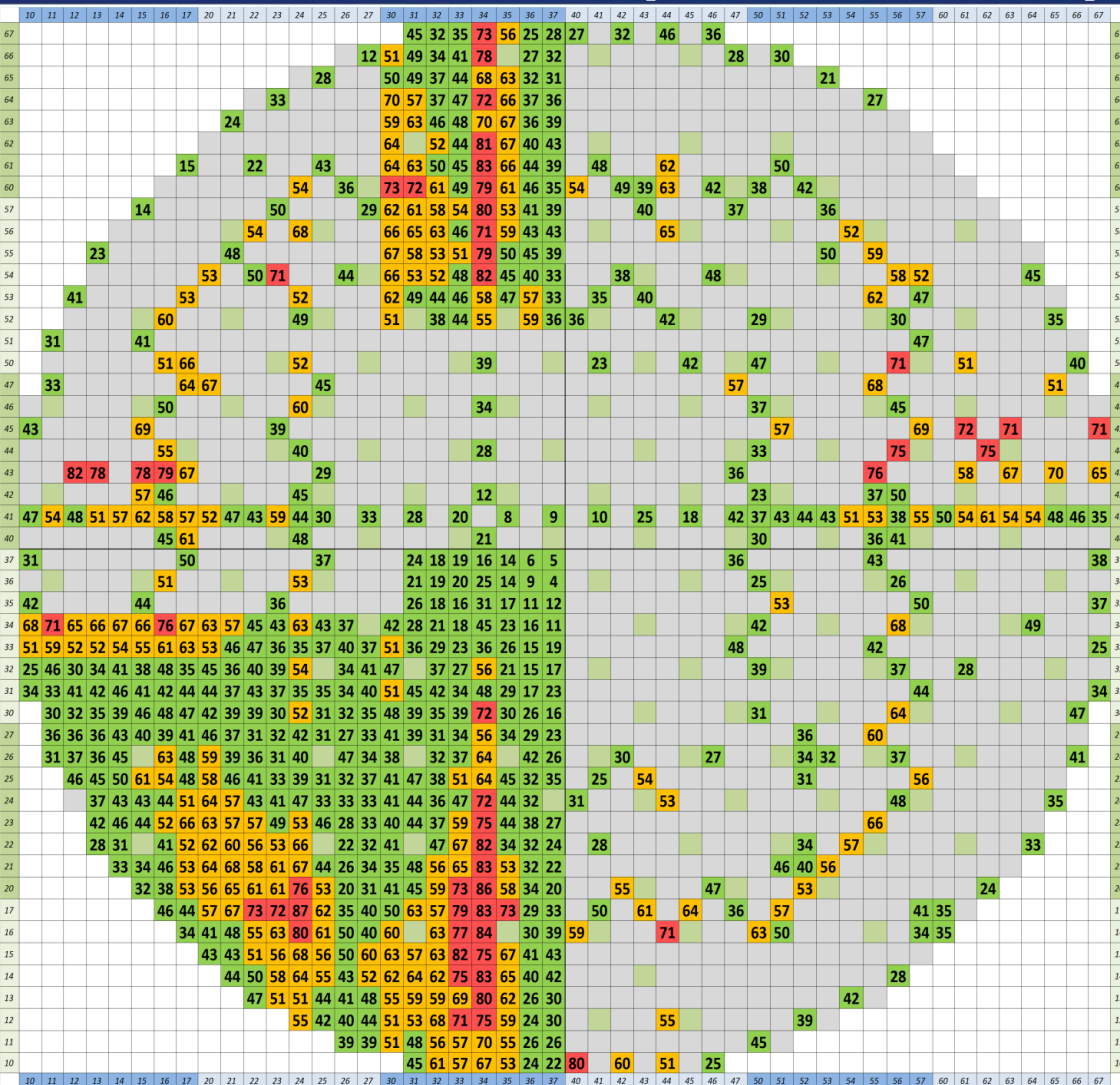
ПРЕДЛАГАЕМЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ, СВЯЗАННЫХ С ИСКРИВЛЕНИЕМ ЯЧЕЕК

Для обеспечения достижения 45-летнего срока эксплуатации необходимо:

- внести в Регламент эксплуатационного контроля новое предельно-допустимое значение искривление ячеек. В настоящий момент обоснованное значение составляет 107 мм для остановленного реактора;
- выполнять своевременный контроль искривления и проводить ремонтно-восстановительные работы;
- верифицировать методику прогнозирования искривления колонн;
- продолжить поиск средств и методов контроля искривления ячеек на работающем реакторе

2. РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Состояние энергоблока № 1 Ленинградской АЭС перед началом ремонта



Задачи ремонта:

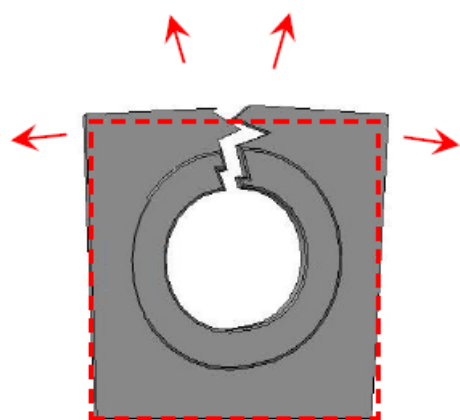
- уменьшение стрелы прогиба технологических каналов и каналов СУЗ;
- уменьшение скорости дальнейшего формоизменения графитовой кладки

- - величина прогиба до 50 мм
- - величина прогиба от 51 до 70 мм
- - величина прогиба от 71 до 84 мм

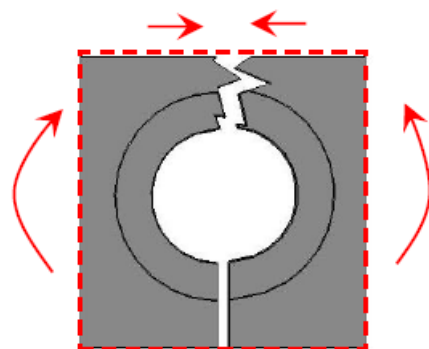
ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

- измерение пространственного формоизменения технологических каналов;
- оценка состояния колонн графитовой кладки;
- выбор зон и оптимальных вариантов сочетания механической обработки и воздействия натяжителями;
- продольная резка графитовых блоков в направлении, перпендикулярном стреле прогиба, либо продольная резка графитовых блоков на 4 части;
- силовое воздействие на графитовые колонны при различной конфигурации установки устройств силового воздействия;
- калибровка фрагментированной колонны под монтаж технологического канала;
- контроль геометрии ячейки

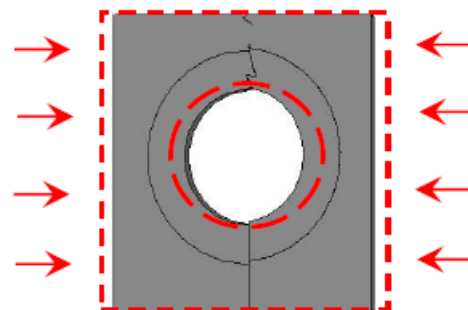
СХЕМА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ



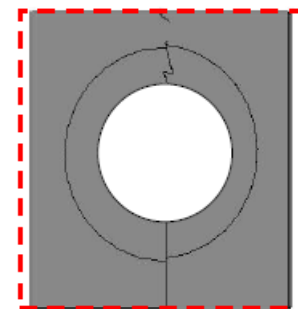
Раскрытие
трещины



Продольная
оппозитная
резка



Силовое
воздействие



Калибровка
графитовой
колонны

СХЕМА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ

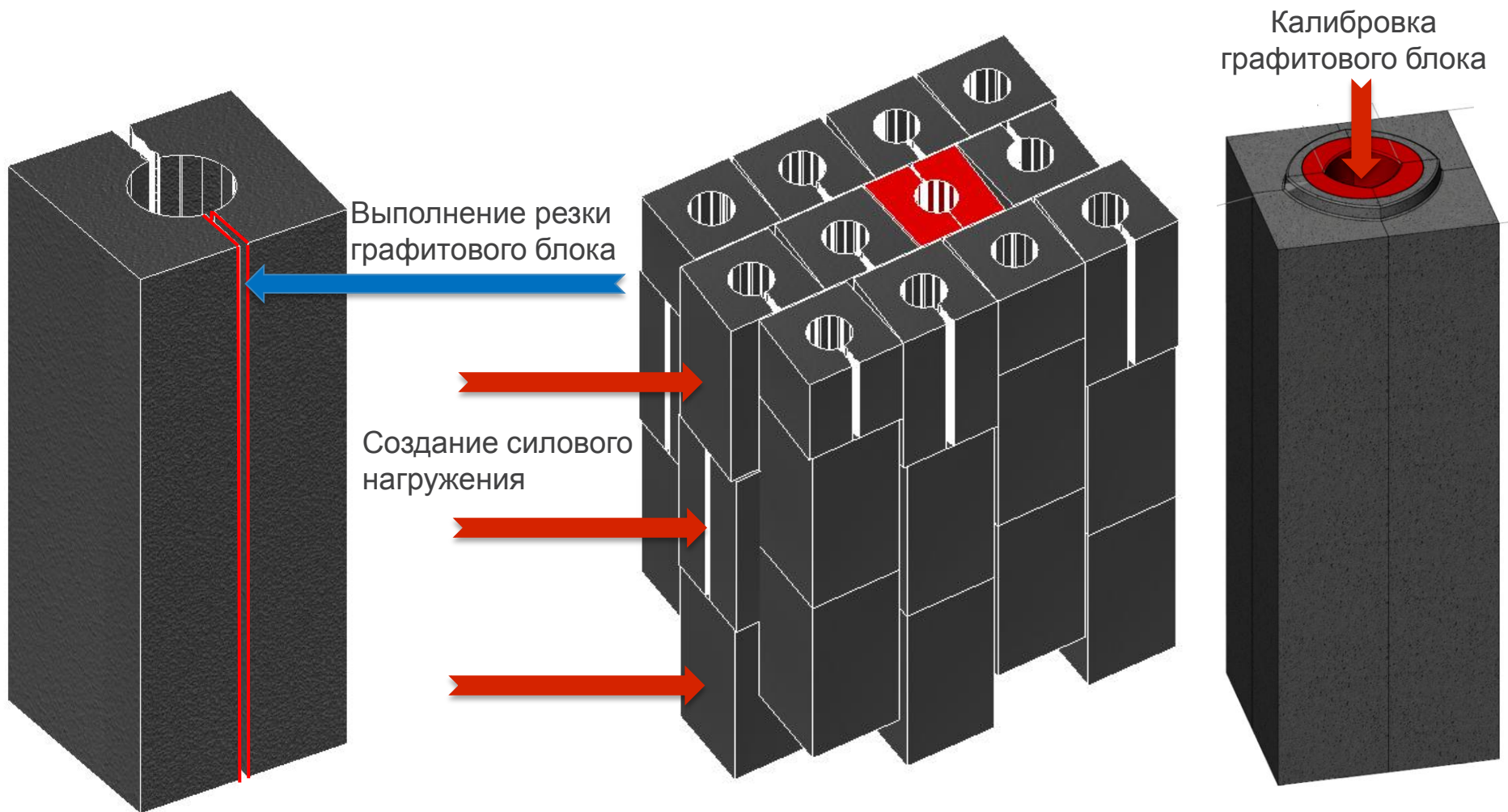


СХЕМА ВЫПОЛНЕНИЯ РЕЗКИ

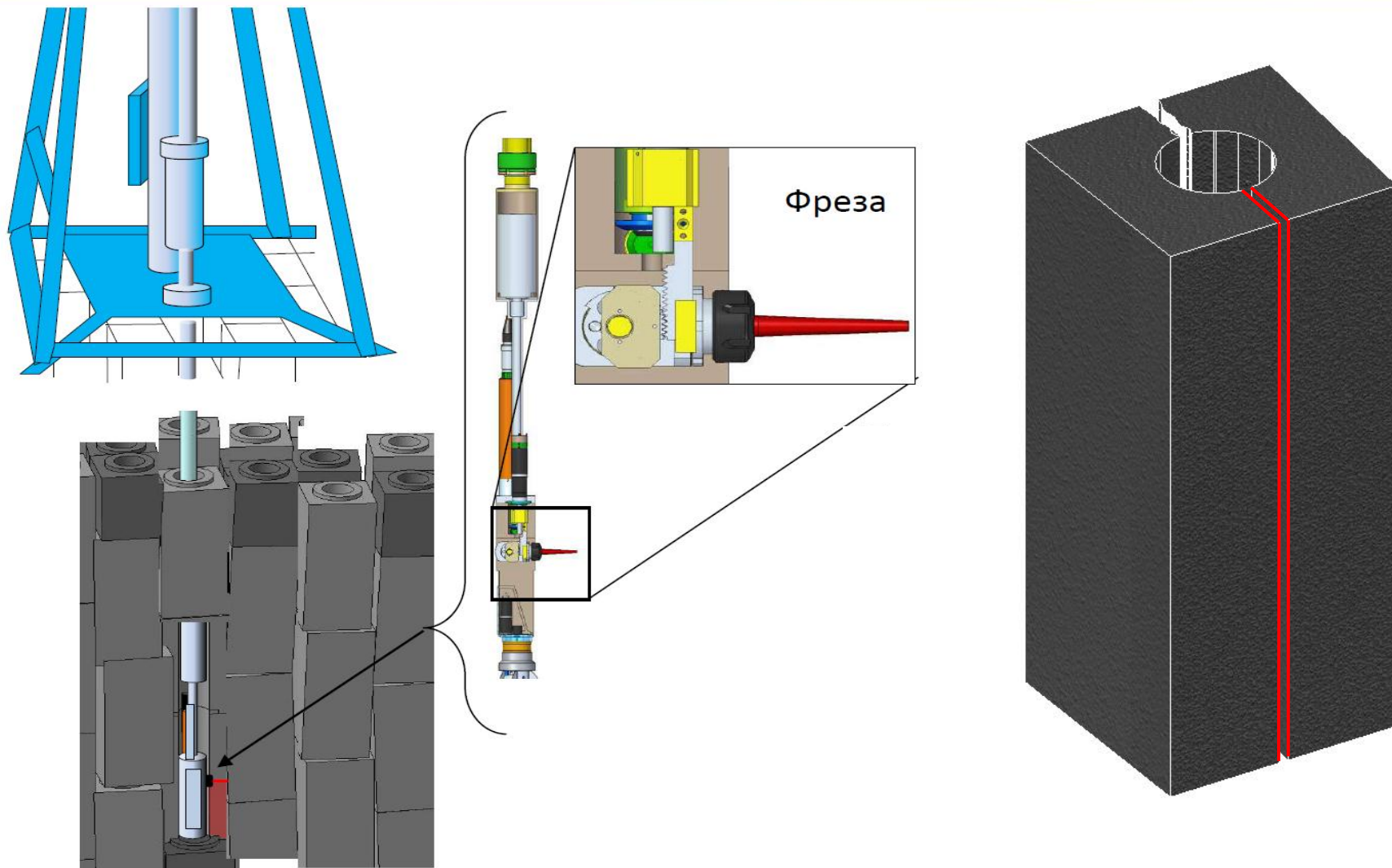
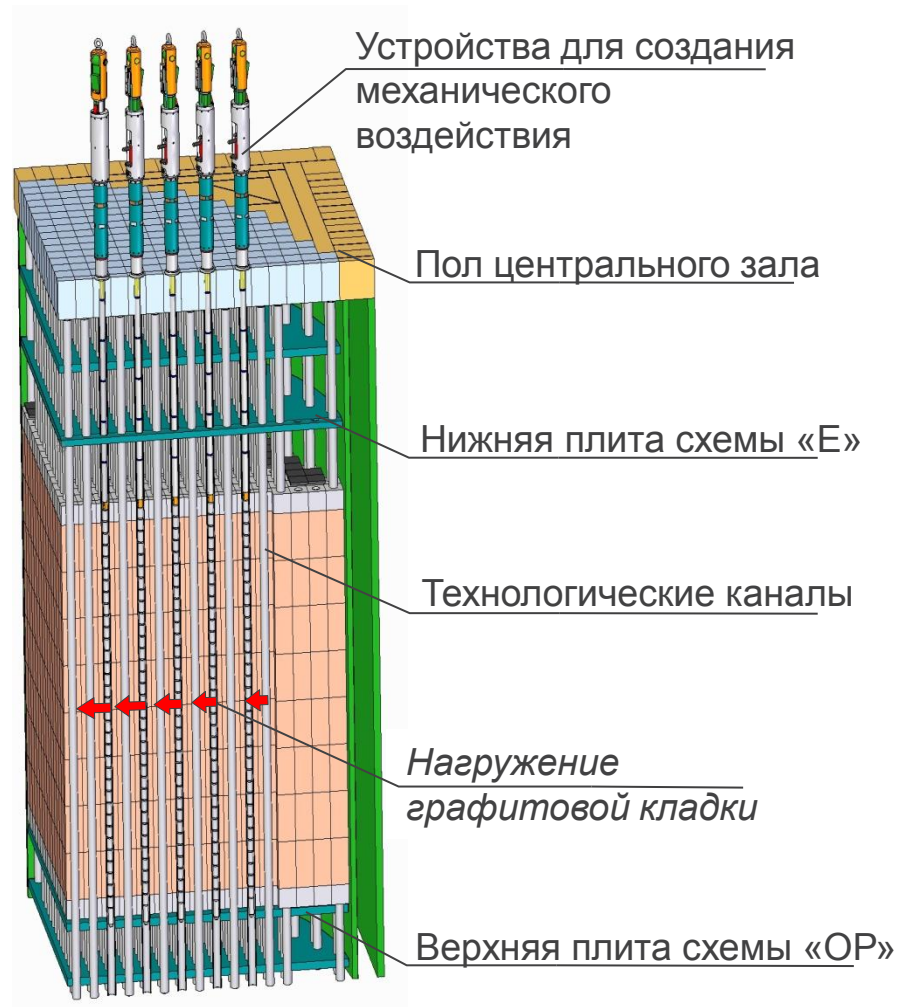
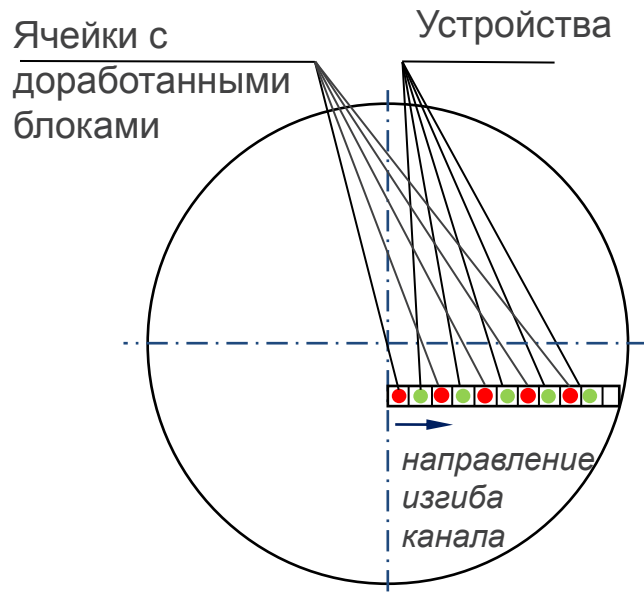


СХЕМА СИЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ ГРАФИТОВОЙ КЛАДКИ



ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ИТОГАМ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТОВ КЛАДКИ

- горизонтальная подвижность графитовой кладки без создания свободного пространства для перемещений (резки графитовых блоков) отсутствует;
- резка графитовых блоков перпендикулярно главному направлению стрелы прогиба ячеек ряда приводит к созданию свободного пространства в ряду;
- после создания свободных объемов и силового воздействия происходит уменьшение стрелы прогиба периферийных ячеек;
- наиболее эффективным технологическим приемом является резка ячеек как минимум 3-х соседних рядов и их совместное силовое нагружение;
- выполнение резки блоков на 4 части позволяет уменьшить прогиб в двух направлениях

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ВРХ НА ЛЕНИНГРАДСКОЙ И КУРСКОЙ АЭС

По результатам ремонтно-восстановительных работ стрела прогиба всех измеренных ячеек реакторной установки, ранее превышавшая 50 мм, снижена до величин, не превышающих 50 мм, что позволяет эксплуатировать энергоблок в течение 2-3 лет до достижения стрел прогиба близких к 100 мм

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ВРХ

1. Оптимизация схемы ремонта :
 - превентивный ремонт (резка блоков не на всю глубину);
 - ремонт локальных областей;
 - уменьшение циклов силового воздействия;
 - увеличение ширины вертикального реза ГК
2. Оптимизация удельных (в расчете на одну ячейку) трудовых и временных затрат
3. Оптимизация финансовых затрат

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ НА БАЗЕ СТЕНДОВ ОАО «ЭНИЦ»

Результаты испытаний технологии «широкого» реза

1. Имеющееся оборудование позволяет реализовать технологию широких резов, как однократных (18 мм), так и многократных (36 мм).
2. Технология многократных резов имеет ряд особенностей, которые определяют необходимость выполнения дополнительных технологических операций при её реализации (определение сомкнувшихся блоков после каждой резки, необходимость точного позиционирования режущего инструмента для предотвращения образования фрагментов блоков и др.).
3. Использование операции по доработке замкового соединения нецелесообразно.
4. Резка графитовых блоков шириной до 18 мм может быть рекомендована к применению на энергоблоках.

ОПТИМИЗАЦИЯ УДЕЛЬНЫХ ТРУДОЗАТРАТ

1. Уменьшение количества освобождаемых ТК для измерений и силового воздействия

Предпосылки: эффект смыкания реза без силового воздействия.

Предложение: уменьшение количества циклов силового воздействия.

С учетом ячеек для контроля, возможно сокращение количества освобождаемых ТК для измерений и силового воздействия примерно в 2,5 раза.

Энергоблок	Количество разрезаемых ячеек	Кол-во выгружаемых ячеек под натяжение и контроль
ЛАЭС-1	298	405 (226Н+179К)
КуАЭС-2	300	278 (262Н+16К)
ЛАЭС-2 (Прогноз)	225 (с учетом использования режущего инструмента шириной 18 мм)	110

ОПТИМИЗАЦИЯ УДЕЛЬНЫХ ТРУДОЗАТРАТ

2. Усовершенствование оборудования и технологической оснастки

1. Замена режущего инструмента 12 мм на 18 мм
2. Использование герметичной оболочки для натяжителей (нет необходимости в осушении и промывке ТК)
3. Модернизация устройств калибровки отверстий с целью выполнения калибровки за один проход
4. Совмещение технологических операций (например, осмотр ГК и измерения диаметра отверстий)
5. Оптимизация организации работ (параллельное выполнение работ, крановое время и др.)

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ

Критерий работоспособности	Обеспечиваемые критерии	Новые, обоснованные, контролируемые значения по «Регламенту...»
Радиальная деформация ТК	Прочность ТК Работоспособность ТВС	Внутренний диаметр ТК – 84,0 мм
Прогиб каналов	Работоспособность ИМ СУЗ Прочность ТК и каналов СУЗ Работоспособность ТВС	Стрела прогиба ТК – 119 мм (107 мм) Стрела прогиба канала СУЗ – 119 мм (107 мм)
Прочность графита	Сохранение несущей способности кладки	Предел прочности: при сжатии не менее 9 МПа

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭЛЕМЕНТЫ РУ



Общий вид МГК на
сейсмоплатформе

В результате экспериментальных исследований получены:

- Характеристики изгибной жесткости ГК
- Спектральные характеристики виброускорений, вибронапряжений, виброперемещений в зависимости от интенсивности нагружения
- Декременты колебаний (которые могут быть получены исключительно экспериментальным путем)

Испытания МГК на сейсмостойкость проведены с высокой степенью консервативности.

МГК испытания на сейсмостойкость при интенсивности нагружения, соответствующей землетрясению 8 баллов по шкале MSK-64, выдержал.

Полученные результаты экспериментальных исследований использованы для верификации расчетных кодов FEMGR (НИЦ КИ) и ЛЭГАК-ДФ (ВНИИЭФ)

НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Нейтронно-физические характеристики реактора при формоизменении графитовой кладки не выходят из установленных эксплуатационных диапазонов.

2. Уменьшение массы графита в результате резки графита улучшает нейтронно-физические характеристики и позволяет уменьшить количество ДП при сохранении парового коэффициента реактивности и эффекта реактивности при обезвоживании КМПЦ в установленных диапазонах.

3. Эффективность и быстродействие систем остановки АЗ и БСМ сохраняется на исходном уровне. Обеспечивается заглушение и удержание реактора в подкритическом состоянии при нормальной эксплуатации, в проектных и запроектных авариях.

Ядерная безопасность 1-го энергоблока Ленинградской после выполнения ремонтных работ **обеспечивается** во всех регламентных режимах эксплуатации.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ГРАФИТОВОЙ КЛАДКИ

- После ВРХ при работе на номинальной мощности максимальные значения температуры графита реактора по измерениям штатными термодатчиками составили (начало апреля 2014 г.):
 - $667\div 685^{\circ}\text{C}$ – в реакторе 1 блока Ленинградской АЭС;
 - $657\div 665^{\circ}\text{C}$ – в реакторе 2 блока Курской АЭС
- Сравнительный анализ температурного режима графитовой кладки показал отсутствие заметного влияния работ по ВРХ на термическое состояние графитовой кладки
- При работе реакторов 1 энергоблока Ленинградской АЭС и 2 энергоблока Курской АЭС на номинальной мощности после ВРХ обеспечивается достаточный запас значения максимальной температуры графита до эксплуатационного предела, составляющего 730°C .

ОБ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОБЛОКОВ

Факторы, определяющие условия эксплуатации энергоблока	Необходимость реализации дополнительных мероприятий
Сохранение нейтронно-физических характеристик активной зоны в установленных эксплуатационных диапазонах	Проведение расчетов и измерений нейтронно-физических характеристик в соответствии с РДЭО 1.1.2.09.0137-2009 . Реализация дополнительных мероприятий не требуется.
Обеспечение температурного режима графитовой кладки	Проведение измерений температурного режима кладки на стадии освоения мощности с учетом исходного состояния ячеек, окружающих термопары, состава газовой смеси. Подтверждение допускаемой мощности РУ.
Безопасность при протекании проектных и запроектных аварий	Реализация «Актуализированных мероприятий для снижения последствий запроектных аварий на АЭС», предусмотренных для всех АЭС.
Сохранение значений стрел прогибов ТК и КСУЗ в установленных пределах	Необходимо проведение расширенных измерений искривления каналов и уточнение прогнозных оценок. Дополнительной мерой является внедрение систем мониторинга на мощности.

АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ И ЗАПРОЕКТНЫХ АВАРИЙ

Предаварийная ситуация и проектные аварии

- **Сохраняется целостность всех барьеров безопасности** и обеспечивается не превышение эксплуатационных пределов радиационного воздействия на население, окружающую среду и персонал:
 - при всех режимах нормальной эксплуатации;
 - при нарушениях нормальной эксплуатации, связанных с эксплуатационными переходными режимами, нарушениями охлаждения, исходными событиями с изменением реактивности.
- **Сохраняется целостность всех барьеров безопасности** (за исключением постулируемых исходных событий) и удовлетворяются требования нормативных документов по радиационному воздействию на население и окружающую среду при рассмотренных исходных событиях.
- Анализ целостности ИМ СУЗ с КРО при аварии, вызванной обезвоживанием КО СУЗ, показал, что на номинальной мощности **гарантируется заглушение реактора аварийной защитой и обеспечение подкритичности.**

Запроектные аварии

Меры по управлению запроектными авариями применительно к энергоблоку № 1 Ленинградской АЭС с учётом состояния графитовой кладки после ВРХ не отличаются от аналогичных мер, рекомендованных для других энергоблоков АЭС с РБМК

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АЭС С РБМК К ЗАПРОЕКТНЫМ АВАРИЯМ

1. Выполнение ранее принятых решений, направленных на повышение уровня безопасности АЭС.
2. Использование результатов анализа запроектных аварий для повышения уровня безопасности АЭС. Принятие организационных решений.
3. Совершенствование культуры безопасности и обеспечение качества при выполнении штатных операций, определённых проектной и эксплуатационной документацией на всех этапах эксплуатации энергоблока.
4. Разработка и внедрение мероприятий, направленных на повышение текущего уровня безопасности АЭС.

4 РАБОТЫ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТВС И ОРГАНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ СУЗ (КРО, АЗ)

Совершенствование топлива

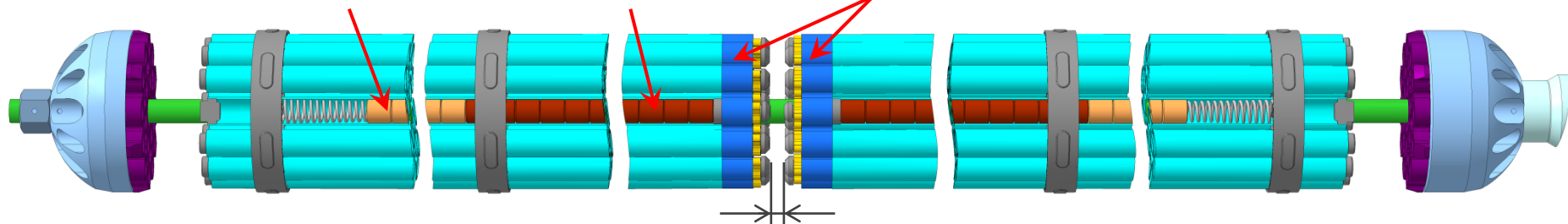
Профилирование обогащения по высоте ТВС

Обогащение 2,5% с содержанием эрбия 0,3% (длина ~1 м)

Обогащение 3,2% с содержанием эрбия 0,7% (длина ~2,5 м)

Центральное закрепление твэлов

Опорные решетки, обеспечивающие закрепление твэлов



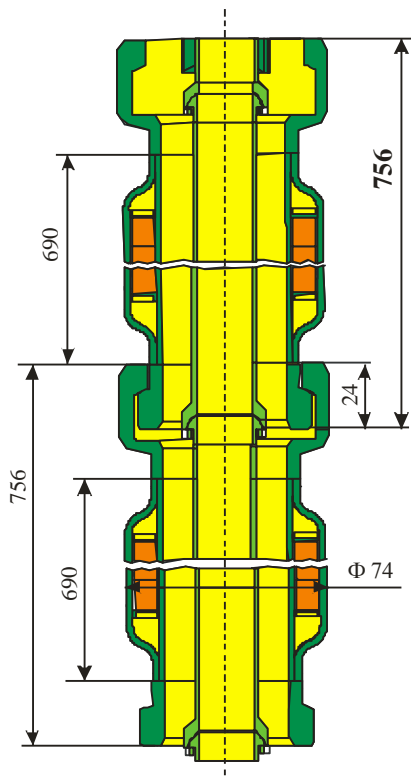
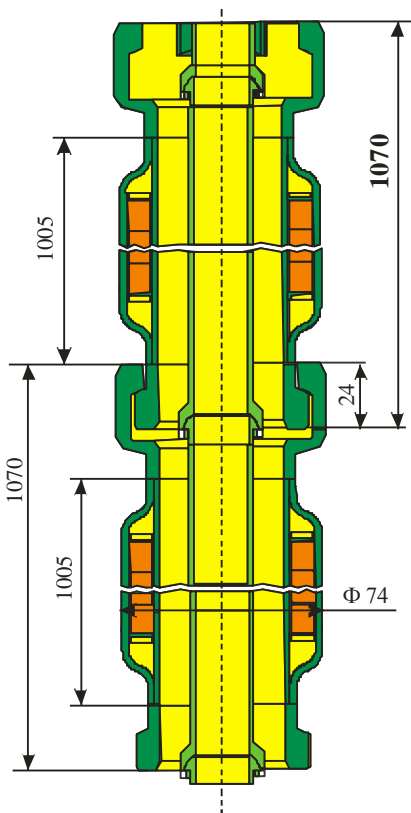
Увеличение энерговыработки

Гарантированный зазор при разделке ОТВС для перевода на сухое хранение

Исключение возможности просыпи топлива и ухудшения работы КГО

Повышение эффективности использования топлива

Повышение проходимости стержней АЗ

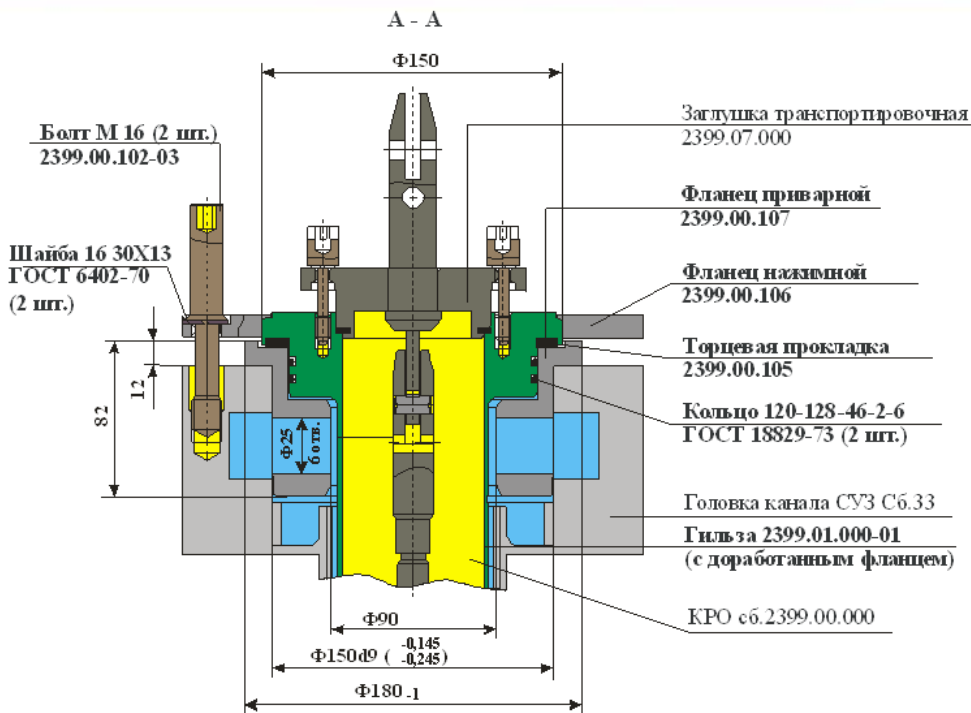


Штатный стержень АЗ
сб.2505.00.000:
7 звеньев поглотителя с
длиной каждого
звена 1070 мм

Стержень АЗ повышенной
проходимости сб.2495.00.000:
10 звеньев поглотителя с
длиной каждого звена 756 мм

При сохранении массо-
габаритных параметров и
проектных характеристик
существенное повышение
проходимости стержней АЗ
(до 40%) обеспечивается за
счёт уменьшения длины звена
поглотителя при увеличении
общего числа звеньев

Усовершенствование узла крепления и уплотнения гильзы КРО на головке канала СУЗ



Принципиальные отличия от существующего узла крепления и уплотнения:

- 1) Вводится новый приварной фланец на головке канала СУЗ.
- 2) Наряду с торцевой прокладкой вводится узел уплотнения наружной цилиндрической поверхности фланца гильзы КРО относительно цилиндрической поверхности нового приварного фланца с использованием стандартных кольцевых прокладок круглого сечения.

Преимущества:

- 1) Узел уплотнения на основе кольцевых прокладок круглого сечения является самоуплотняемым и не требует обжатия прокладок между уплотняемыми поверхностями посредством болтов.
- 2) Созданы три барьера на пути возможной разгерметизации разъема «фланец гильзы КРО – головка канала СУЗ»: первые два барьера организованы кольцевыми прокладками круглого сечения и третий барьер – торцевая прокладка.
- 3) Исключаются возможные газовые полости в головке канала СУЗ с КРО за счет конструкции нового приварного фланца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1. Созданная и внедренная технология восстановления и сохранения работоспособности графитовых кладок реакторов РБМК, эксплуатирующихся в условиях ускоренного формоизменения графита, позволяет эксплуатировать энергоблоки до введения на площадках АЭС замещающих мощностей.**
- 2. Разработанная технология и возможность проведения локальных ремонтов графитовых кладок в сочетании с эксплуатационным мониторингом состояния внутренних узлов реактора позволяют, рационально используя остаточный ресурс графитовых кладок, обеспечить безопасную эксплуатацию энергоблоков с РБМК.**

Спасибо за внимание!