



НИИАР
РОСАТОМ

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ РЕАКТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ И ПОСЛЕРЕАКТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАТЕРИАЛОВ И ТОПЛИВА

А.А. Тузов, А.Л. Ижутов, Е.А. Звир, А.Л. Петелин, А.В. Бурукин, В.А. Жителев, С.Г. Еремин,
И.Ю. Жемков, О.И. Дреганов, А.Г. Ещеркин, Н.К. Калинина, П.С. Палачёв, М.С. Каплина

*Международный научный семинар
20–22 мая 2025, Минск*



АО «ГНЦ НИИАР» является крупнейшим экспериментальным центром по реакторным испытаниям и послереакторным исследованиям материалов в интересах развития ядерной энергетики. В составе центра имеется 6 исследовательских ядерных реактора, материаловедческий комплекс из 49 горячих камер, комплекс защитных камер для радиохимических исследований, опытно-экспериментально производство по изготовлению экспериментальных установок и облучательных устройств, мощное проектно-конструкторское подразделение и вся необходимая инженерная инфраструктура.

В настоящее время проводятся работы в обоснование МОКС, РЕМИКС, толерантного ядерного топлива с различными оболочками и видами топливной композиции (UO_2 , UMo , U_3Si_2) для реакторов с тепловым спектром, атомных станций малой мощности, реакторов со сверхкритическим давлением, высокотемпературных газовых реакторов (графитовые топливные компакты), реакторов на солевых расплавах, плотного нитридного и топлива с добавлением минорных актинидов для быстрых реакторов, выполняются работы по отработке технологии обращения/переработки различных видов топлива.

В настоящем докладе представляется обзорная информация по современным методикам реакторных и послереакторных исследований топлива и материалов.

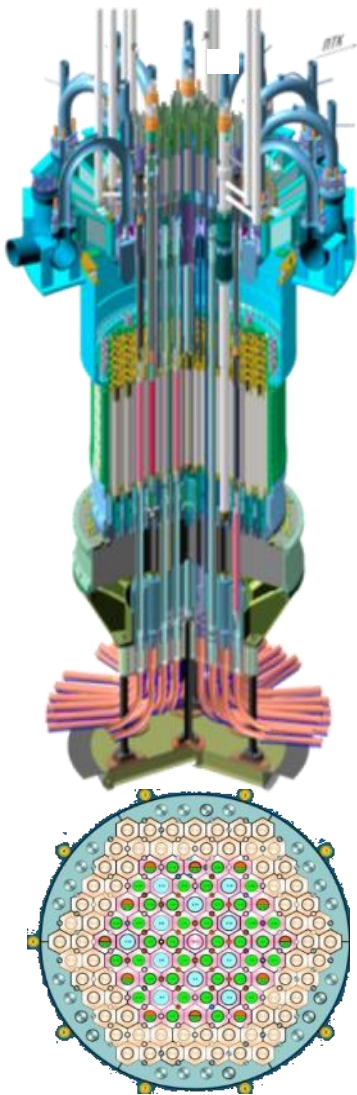
Основные направления исследований

Основные направления исследований	Новые задачи испытаний и исследований, требующие новых методических проработок
Обоснование работоспособности твэлов и безопасности реакторов 3+ поколения ВВЭР-1000/1200	Экспериментальное определение влияния маневрирования на работоспособность. Обоснование работоспособности твэлов в условиях повышения мощности ВВЭР-1000 до 107% Nном Определение предельной температуры топлива до плавления. Инструментированные ресурсные испытания, моделирование режимов LOCA, RIA модернизированных конструкций твэлов и твэгов
Реакторные и послереакторные исследования по созданию ATF -топлива	Ресурсные испытания в реакторе «МИР» ЭТВС с твэлами типа ATF с ВХР ВВЭР и PWR. Испытания облучённых твэлов в переходных и аварийных режимах
Обоснование работоспособности топливом РЕМИКС и МОХ для реакторов ВВЭР	Облучение экспериментальных твэлов до 60 Мвт·сут/кгU, испытания в условиях LOCA, RIA

Основные направления исследований

Основные направления исследований	Новые задачи испытаний и исследований, требующие новых методических проработок
Ресурсные испытания в реакторе БОР-60 различных модификаций смешанного (U, Pu)O ₂ топлива для реакторов со свинцовым и натриевым теплоносителями	Экспериментальные исследования влияния различных технологических характеристик на работоспособность, обоснование выбора топлива и конструкционных материалов
Испытания твэлов со СНУП-топливом в реакторе МИР с моделированием переходных и аварийных режимов.	Обоснование работоспособности топлива при проектных исходных событиях
Создание ампульных и петлевых установок и проведение испытаний материалов и топлива реакторов на расплавленных солях	Исследование радиационной и коррозионной стойкости в обоснование выбора материалов и топливной соли
Внутриреакторные исследования в реакторах СМ-3, БОР-60 обоснование проекта ВТГР	Выбор материалов и обоснование технических проектов
Создание методик испытаний в реакторах СМ-3 и БОР-60 материалов ВКУ для ВВЭР-1200 и реакторов СКД воды.	Обоснование выбора конструкционных материалов

Исследовательский реактор МИР.М1

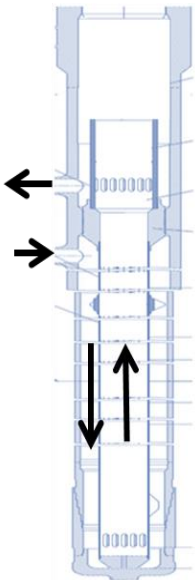


Реактор МИР.М1 — реактор канального типа с водяным теплоносителем и бериллиевыми замедлителем и отражателем.

Главная особенность: **возможность размещения в активной зоне до 11 петлевых экспериментальных каналов, подключенных к автономным петлевым установкам с теплоносителями разных типов (вода под давлением, кипящая вода, водяной пар, газовые смеси).**

Тепловая мощность реактора	до 100 МВт
Максимальная плотность потока тепловых нейтронов	$5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
Количество действующих петлевых установок	6
Количество петлевых каналов	до 11

Петлевой канал
типа трубки Фильда

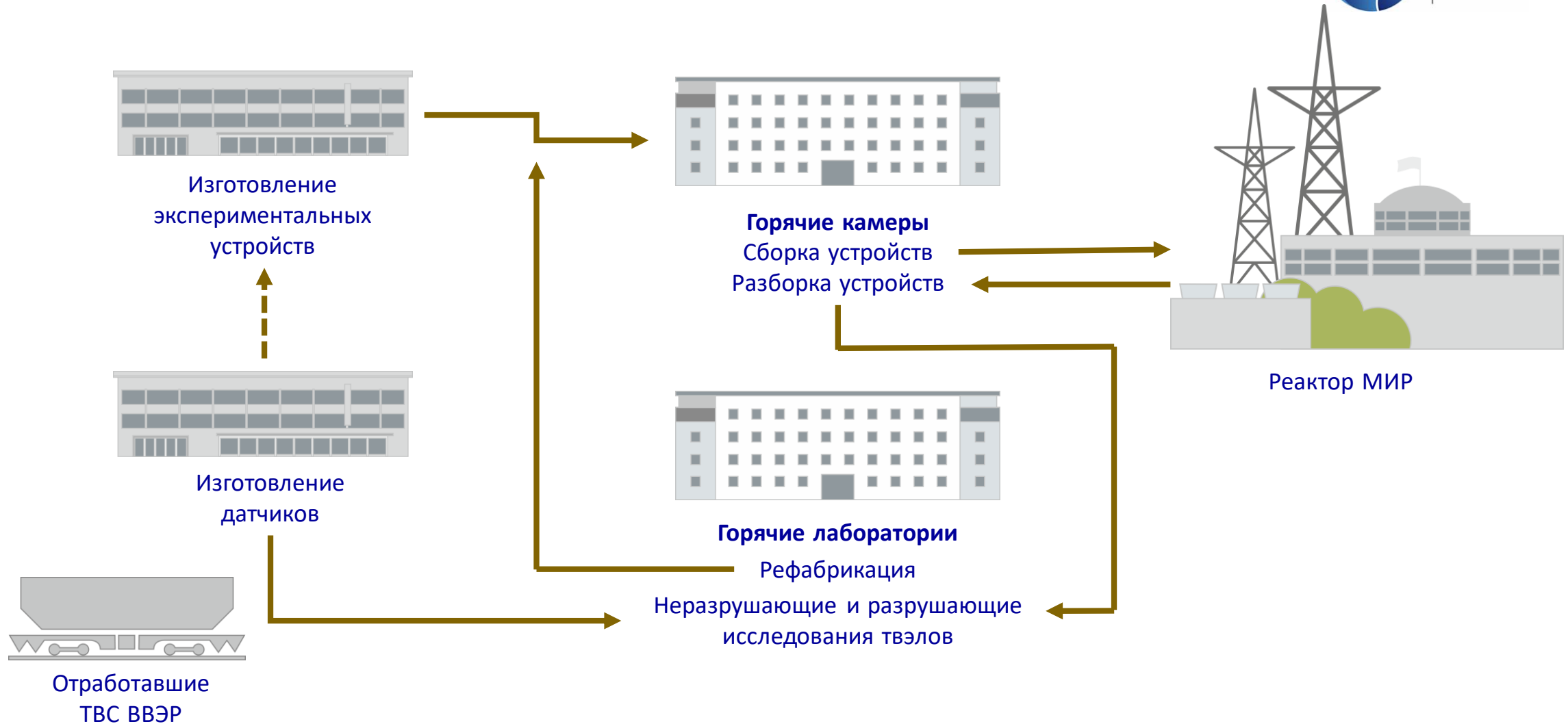


Параметр	ПВ-1	ПВ-2	ПВК-1	ПВК-2	ПВП-2	ПГ-1
Максимальная мощность, кВт	2000	3000	2000	3000	2000	160
Теплоноситель	Вода		Вода, кипящая вода		Вода, пар	Азот/ газ.смесь
Давление теплоносителя, МПа	≤ 17		≤ 18		≤ 20	≤ 20
Температура на выходе из канала, °С	350		350		500	550
Параметры водно-химический режим в водяных петлях по требованиям Заказчика						

Схема испытаний свежего и облученного топлива в реакторе МИР



НИИАР
РОСАТОМ

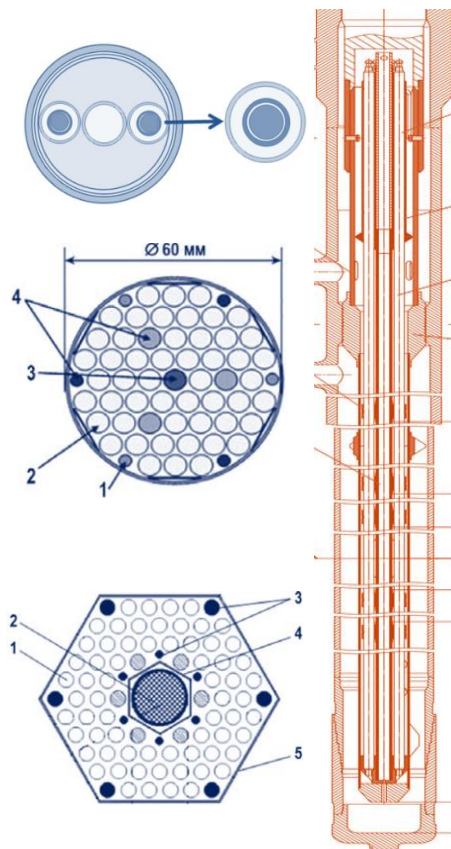


Устройства для испытания топлива в реакторе МИР.М1



НИИАР
РОСАТОМ

- Высота топливного столба $\sim (250 - 1000)$ мм;
- Имеется возможность испытаний полномасштабных твэлов ВВЭР/PWR ~ 4000 мм.
- Внешний диаметр экспериментальных устройств до 72 мм;
- Диаметр твэлов – 5,8 мм, 6,2 мм, 6,8 мм, 6, 9мм, 9,1 мм, 9,5 мм, 11мм, 12мм, 13,6 мм.



Полномасштабные



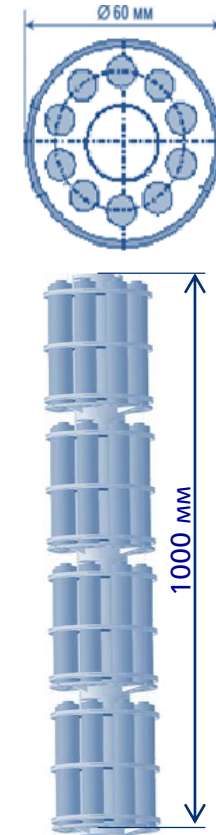
Сепараторная



Квадратная



Шестигранная



ГИРЛЯНДА

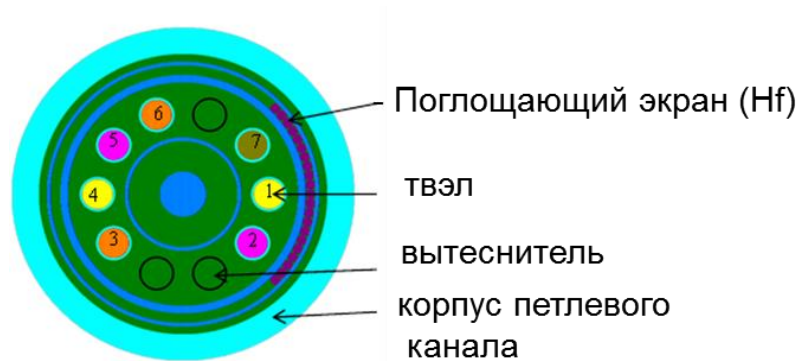
Усовершенствованные методики испытаний твэлов ВВЭР/PWR на «скачки» мощности



НИИАР
РОСАТОМ

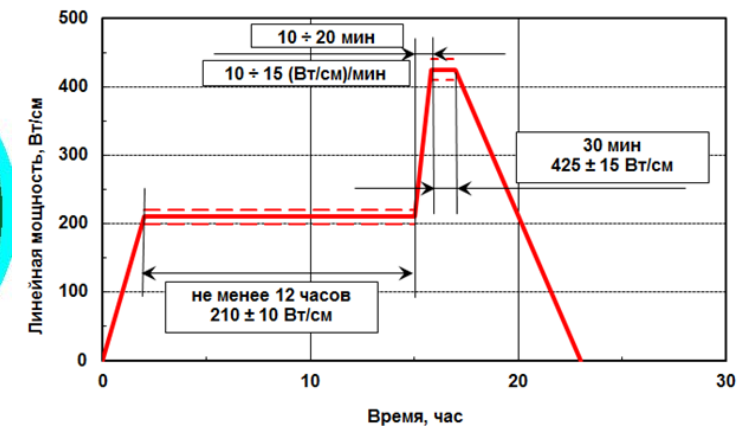
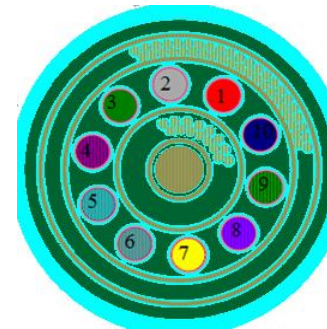
Методы увеличения мощности:

- изменение мощности ТВС реактора МИР
- относительное перемещение в петлевом канале твэлов и поглощающего экрана



Параметры скачка мощности:

- Время скачка.....0,5...30 мин
- Кратность увеличения..... $\times 1,5...5$
- Количество твэлов до 10 шт



Измеряемые параметры твэлов в режиме on-line

- Температура топлива
- Изменение длины и диаметра твэла
- Давление газов в компенсационном объёме твэла
- Изменение длины топливного столба (новая методика)

Усовершенствованные методики испытания топлива ВВЭР/PWR при маневрировании мощности



НИИАР
РОСАТОМ



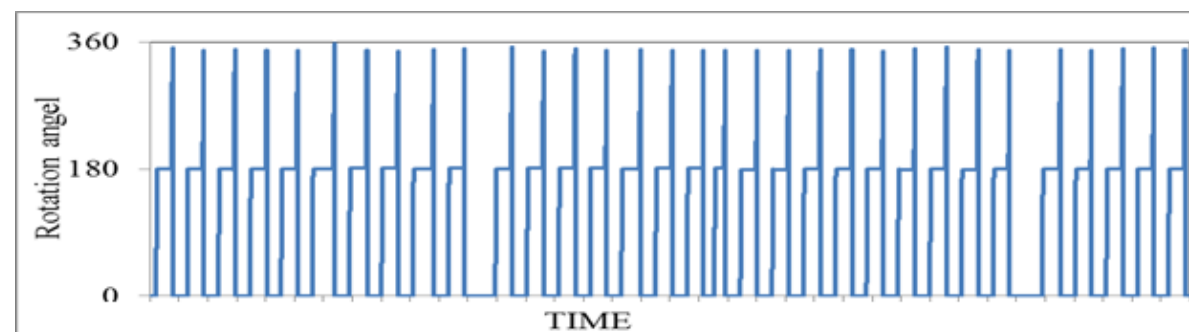
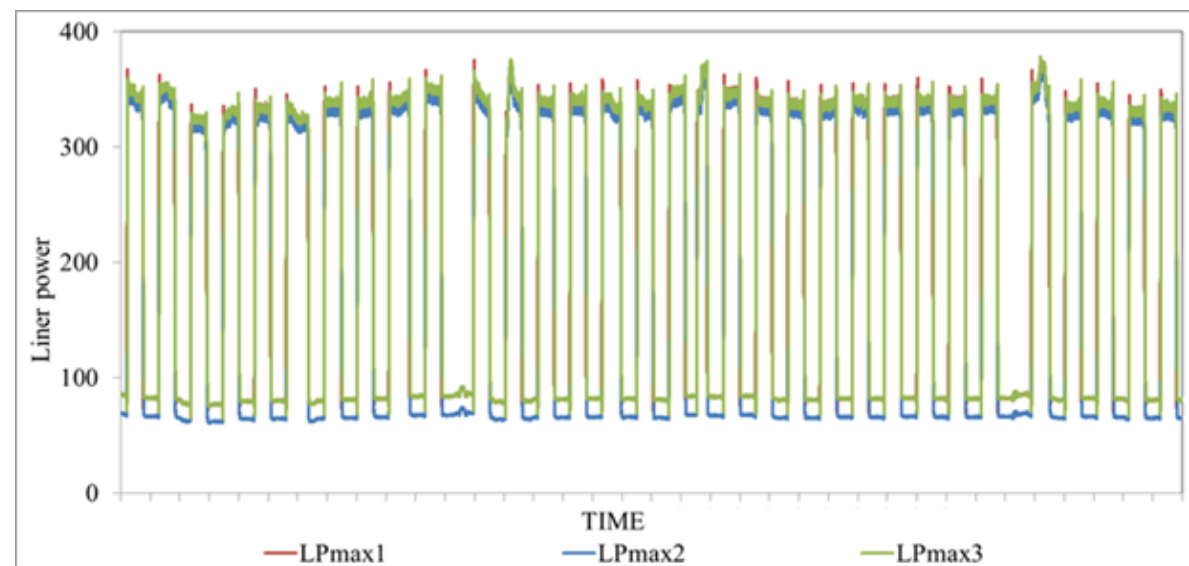
Время изменения мощности – 1,5 мин
(возможно от 0,5 сек)

Скачок выполняется путём поворота экрана
или твэлов

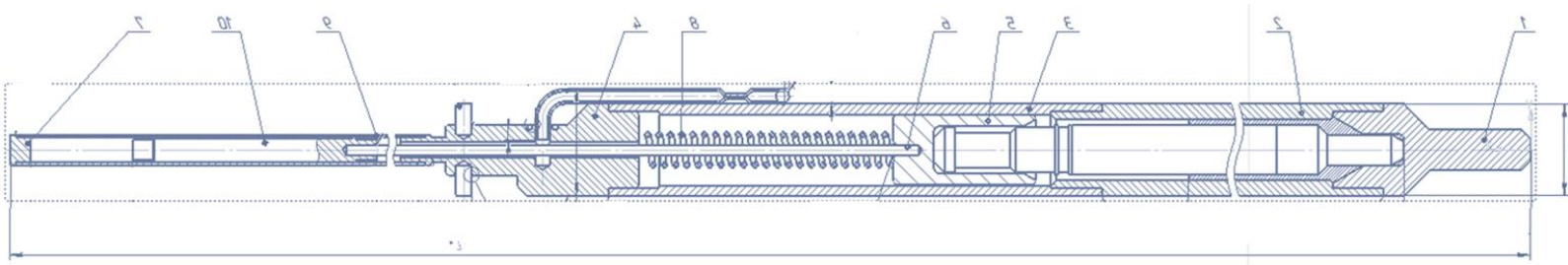
Кратность увеличения мощности – 5,3 отн.ед.

Реализованная скорость изменения ЛМ на твэлах
контейнерного типа ~ 3 Вт/см/сек

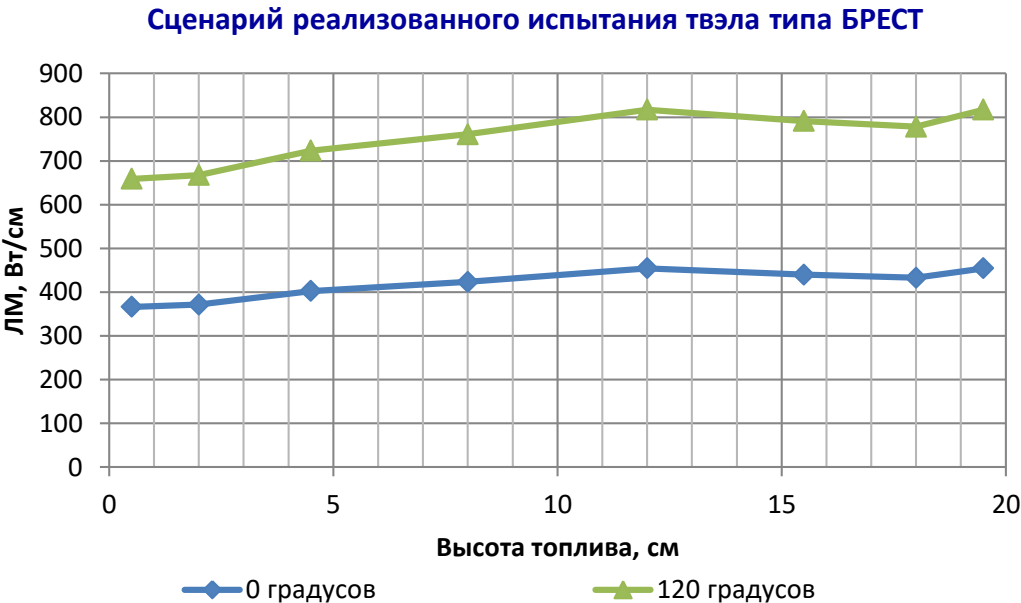
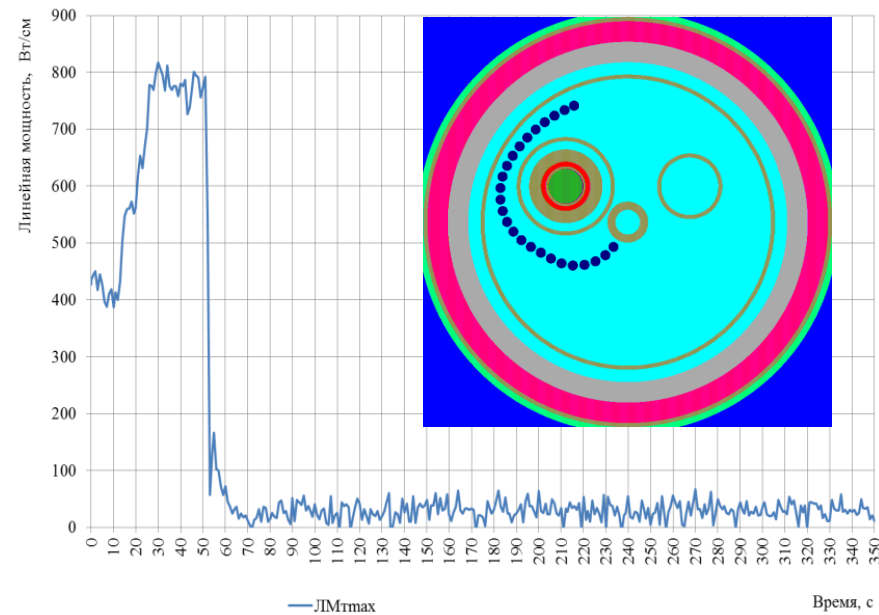
Выдержка на заданном уровне мощности – 20 мин



Испытания твэлов быстрых реакторов с моделированием аварий типа RIA



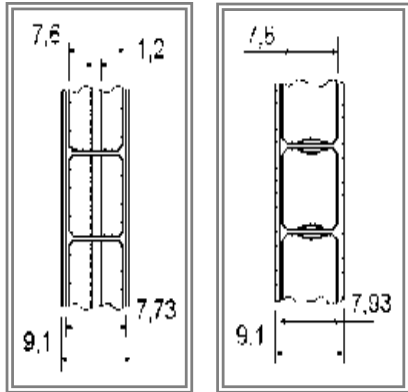
Среда	Pb, Pb-Bi
Номинальная (стартовая) линейная мощность, Вт/см	~ 500
Стартовая температура оболочки твэла, °C	~ (600 -700)
Кратность увеличения мощности	до 2
Время нарастания мощности, с	≤ 20



Экспериментальное определение предельной линейной мощности топлива до температуры плавления



НИИАР
РОСАТОМ

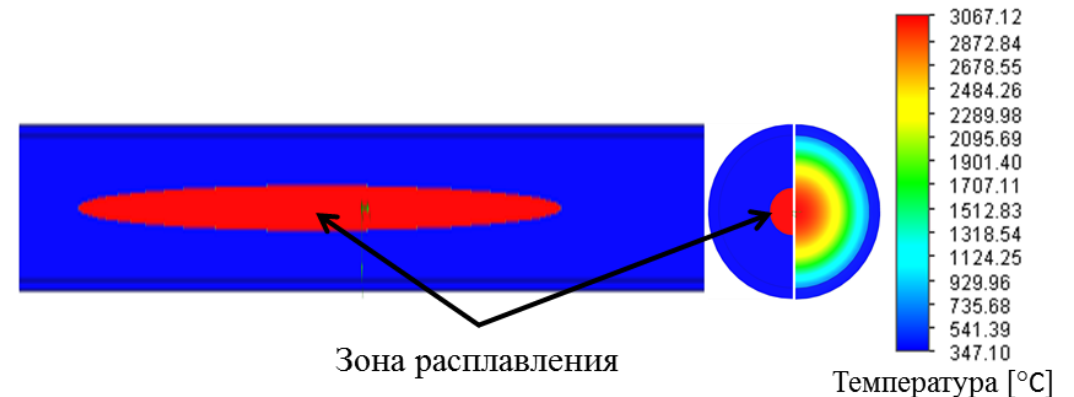


Цель: определение линейной мощности при начале плавления топлива *твэла* типа ВВЭР/ PWR с различным выгоранием для обоснования проектного теплофизического критерия T_{C1} (предельная температура топлива) с глубиной выгорания топлива ≤ 60 МВт*сут/кг U,

Давление теплоносителя ~ 16 МПа, температура теплоносителя ~ 350 °С, температура оболочек твэлов ~ 360 °С, твэлы оснащаются датчиками давления газов и температуры топлива.



Возможный сценарий эксперимента



Расчетная оценка зоны расплавления топлива ВВЭР-1000 при линейной мощности 625 Вт/см

Моделирование аварий типа RIA



НИИАР
РОСАТОМ

Цель испытаний – исследование поведения твэлов типа ВВЭР/PWR при скачкообразном увеличении мощности с номинального уровня мощности до 4-х раз за 1- 2 сек (увеличение энтальпии топлива до ~ 150 ккал/г). Измерение температуры топлива, давления и температуры теплоносителя

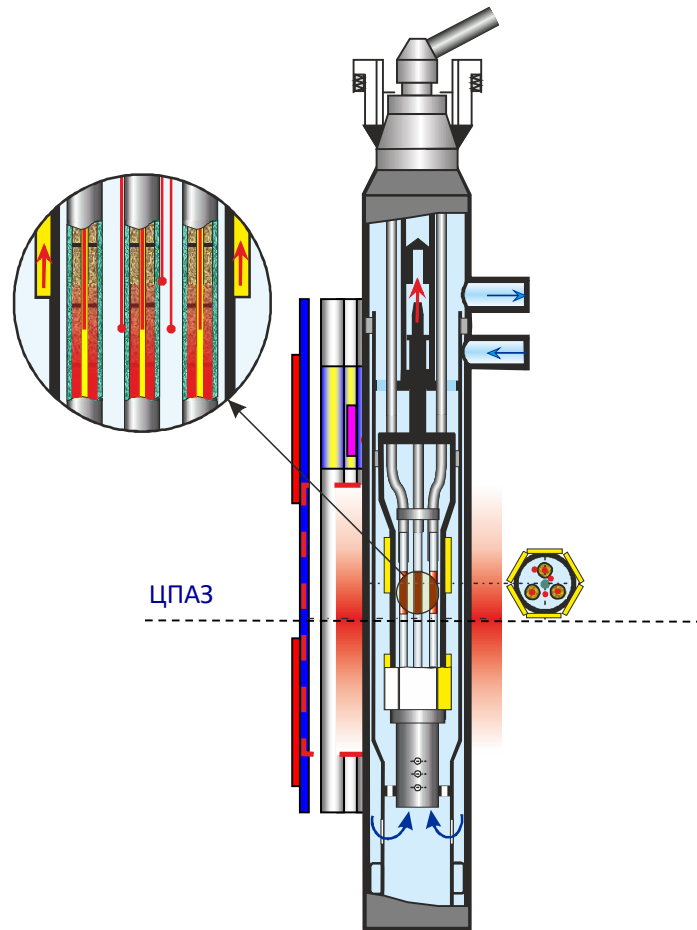
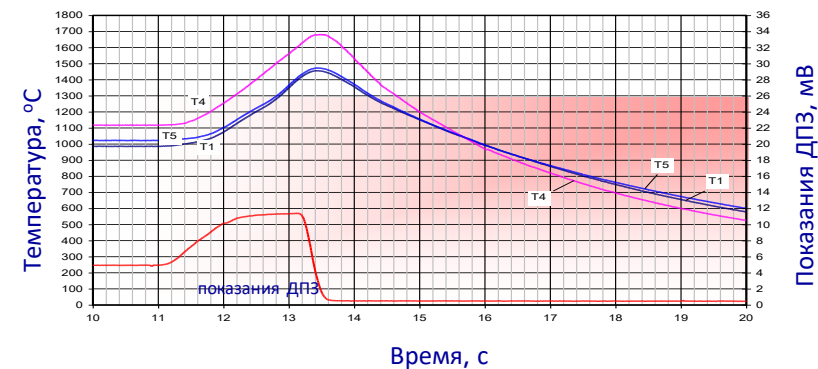
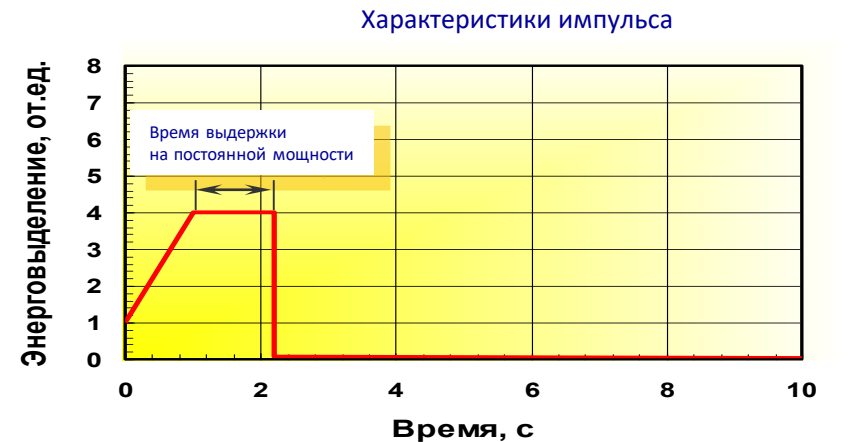
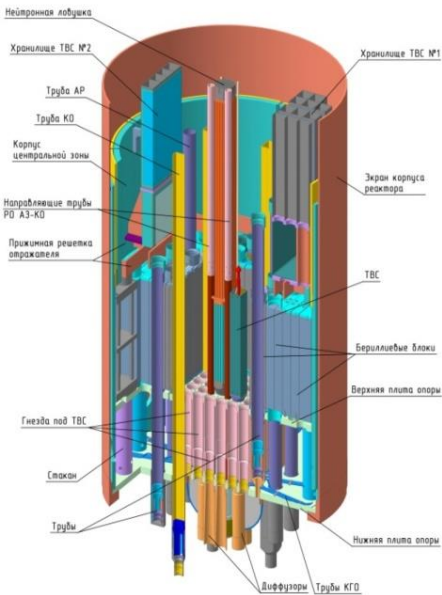


Схема облучательного устройства



T1, T5 – температура облучённых твэлов T4 – температура свежего твэла

Высокопоточный исследовательский реактор CM-3

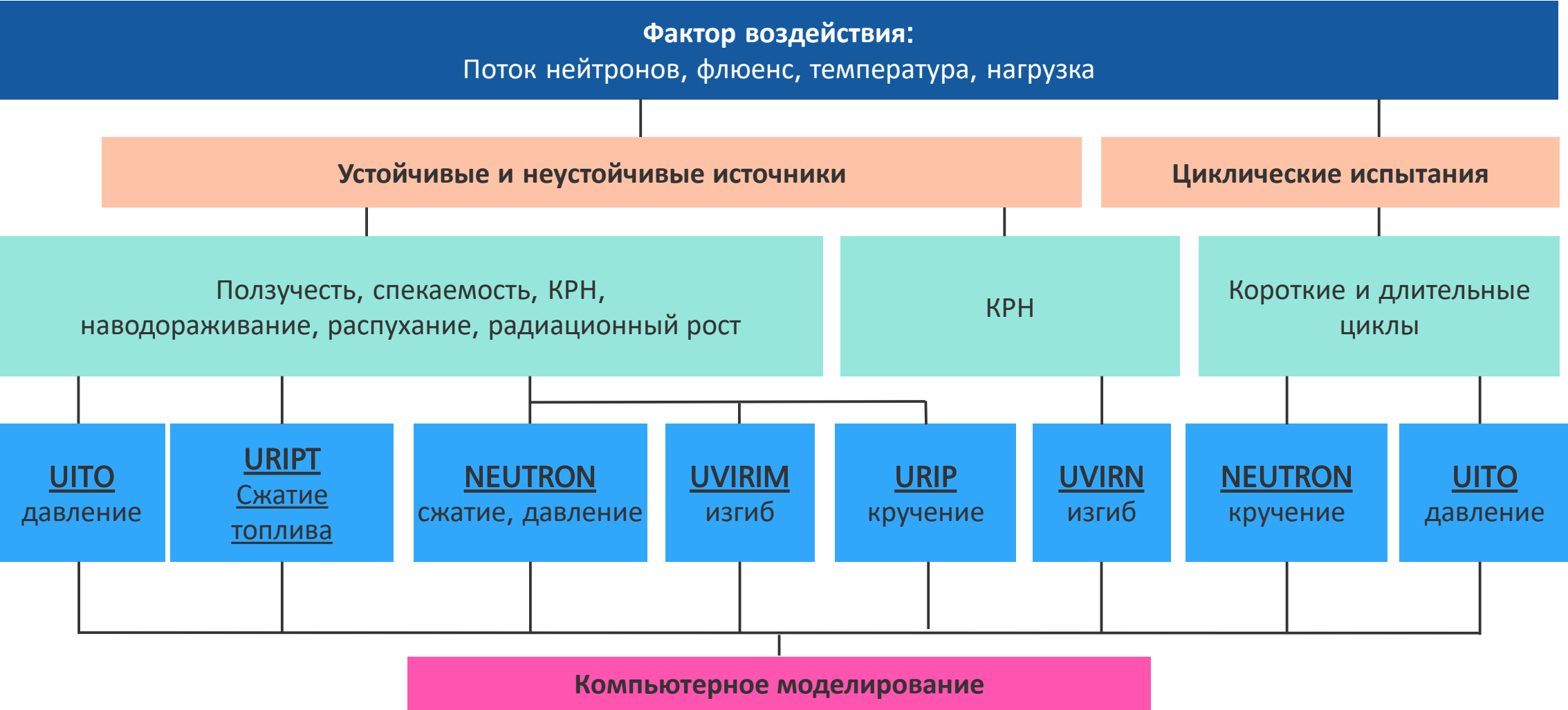


CM-3 – материаловедческий испытательный реактор, один из двух реакторов в мире для наработки трансплутониевых элементов, позволяет проводить ускоренные испытания материалов до больших значений флюенса нейтронов и нарабатывать изотопы с высокой удельной активностью.

Основные технические характеристики CM-3:	
Тепловая мощность реактора	До 100 МВт
Топливо	UO ₂ , 90 % U-235
Максимальная плотность потока нейтронов: тепловых (в центральной ловушке) быстрых (в активной зоне)	5,4·10 ¹⁵ см ⁻² ·с ⁻¹ 2,3·10 ¹⁵ см ⁻² ·с ⁻¹
Число каналов облучения: в центральной ловушке в топливной части активной зоны в отражателе	57 До 24 30
Загрузка каналов, %	≥ 90
Время работы на мощности (в год)	260 суток
Планируемый срок эксплуатации	2040 и далее



Методики внутриреакторных исследований свойств материалов на СМ-3

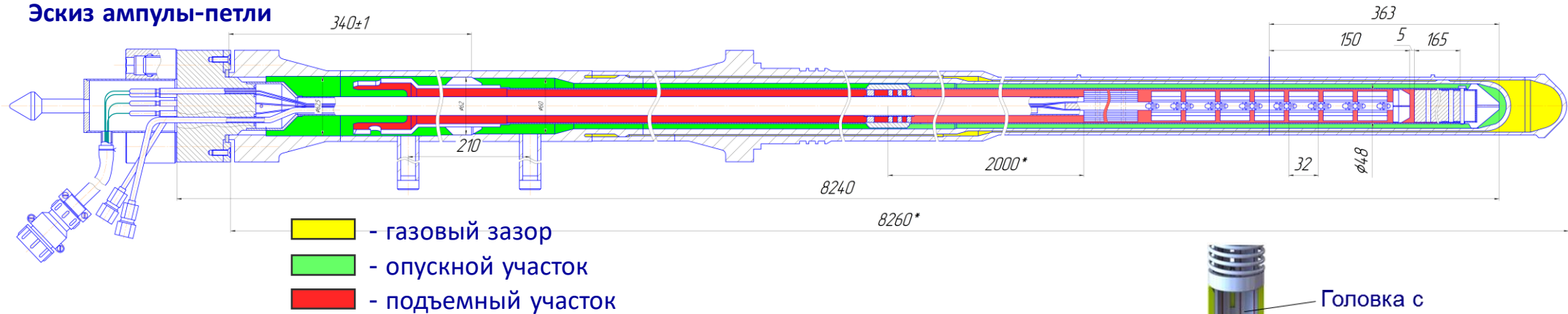


Внутриреакторное исследование КРН и релаксации напряжения



НИИАР
РОСАТОМ

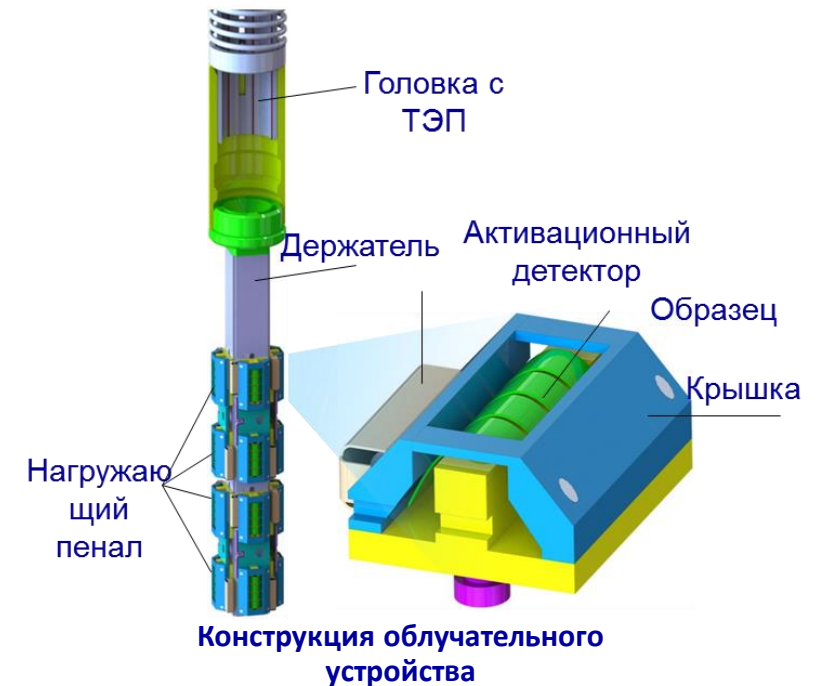
Эскиз ампулы-петли



Ампула – петля с естественной циркуляцией теплоносителя с моделированием ВХР реакторов ВВЭР и PWR для исследований КРН, релаксации напряжения и т.п.

Обеспечиваются:

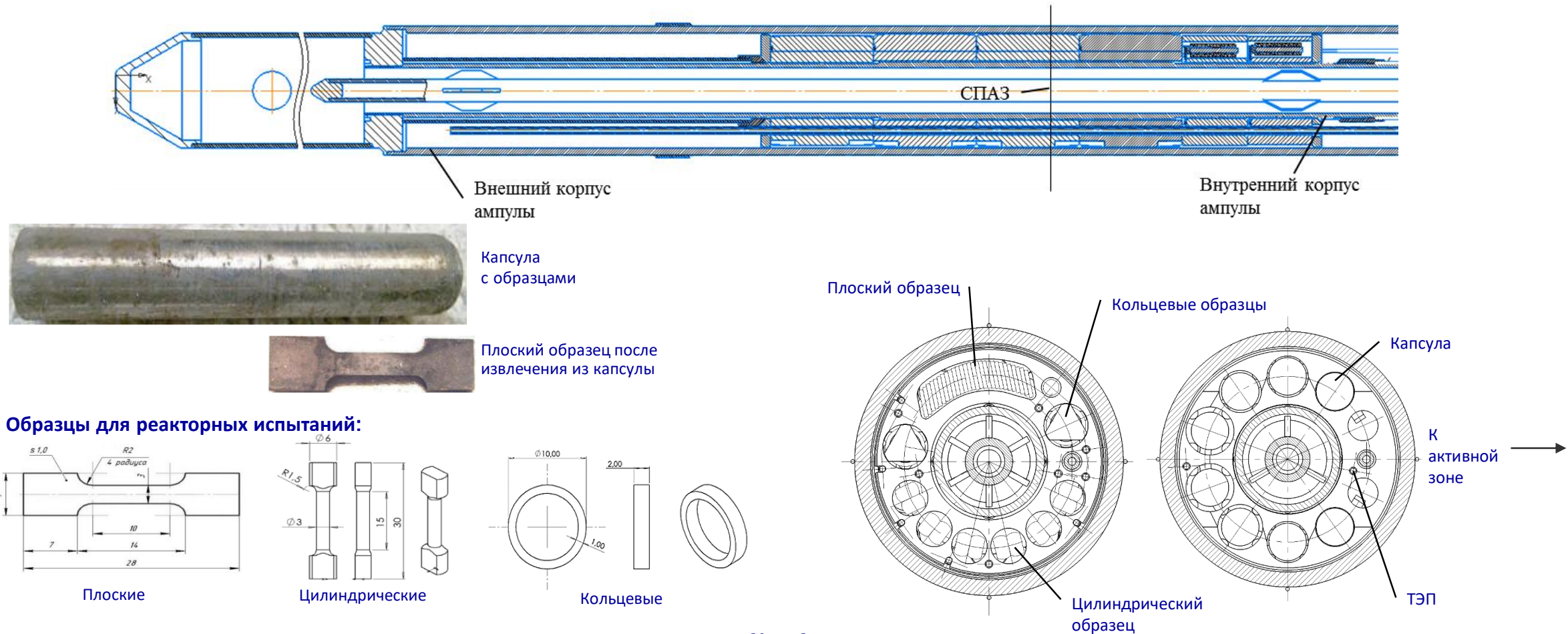
- измерение и поддержание давления до 16 МПа;
- температура образцов до 360 °С;
- водно-химический режим реакторов ВВЭР, PWR;
- плотность потока быстрых ($E > 0,1$ МэВ) нейтронов до $(3 \div 4) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$.



Методика ампульных испытаний материалов в расплавленных солях



НИИАР
РОСАТОМ



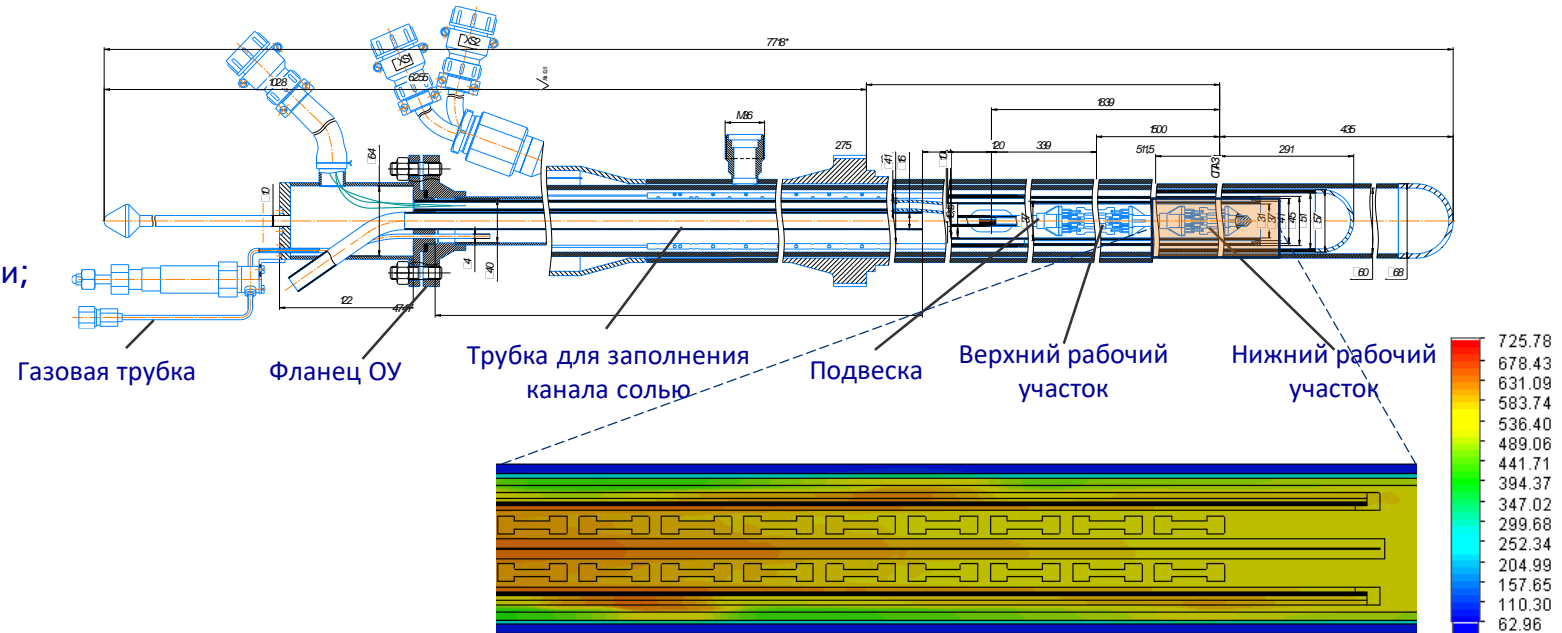
- Флюенс быстрых нейтронов ($E > 0,1$ МэВ) на образцах составил $2,4 \div 6,0 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$.
- Температура облучения образцов – $(502 \div 711)^\circ\text{C}$ в различных зонах ОУ.
- Среда облучения:
 - гелий;
 - топливная соль FLiNaK и FLiBe с добавками UF_4 , CeF_3 , NdF_3 , и Те.

Испытания материалов в расплавленных солях с циркуляцией

Автономная петлевая установка с естественной циркуляцией топливной соли на основе FLiNaK и FLiBe

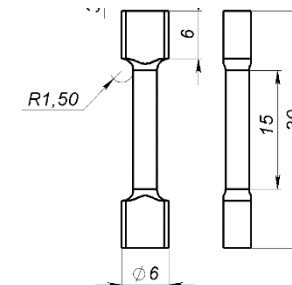
Состав петлевой установки:

- внутриреакторный петлевой канал с естественной циркуляцией топливной соли;
- экспериментальное облучательное устройство с образцами конструкционных материалов;
- газо-вакуумный стенд;
- стенд управления электрическими нагревателями;
- стенд заполнения петлевого канала расплавом солей;
- стенд отбора проб газовых продуктов деления с участком гамма-спектрометрического анализа;
- система радиационного контроля;
- система выдержки высокоактивных газов;
- система выгрузки образцов;
- хранилище облученных каналов.



Среда:

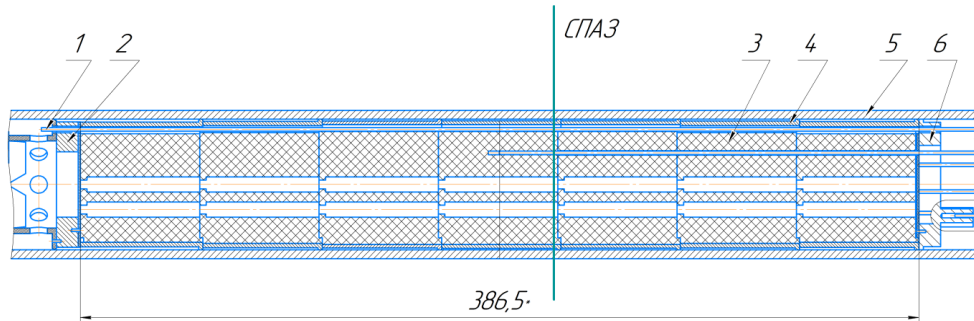
- расплавы солей FLiNaK и FLiBe с топливными добавками ($\text{UF}_{3,4}$, PuF_3 , Te, Nd ...) в температурном диапазоне (550 ÷ 650) °C



Расчетная температура образцов:

- на нижнем участке от 540 до 650°C;
- на верхнем участке от 620 до 625°C.

Испытания образцов графита ВТГР



Рабочий участок облучательного устройства ГЭКС-В:

1 – капилляр для заполнения ампулы газом, 2 и 6 – торцевой нагреватель, 3 – обойма из графита, 4 – кольцевой нагреватель, 5 – корпус ампулы



Фотография рабочего участка облучательного устройства ГЭКС-В (высокотемпературного) без корпуса ампулы



Фотография обойм с образцами

- ✓ Температура образцов может поддерживаться в диапазонах (500 ÷ 600), (900 ÷ 1000)°C (1100 ÷ 1200)°C,
- ✓ при потоках нейтронов с $E > 0,18 \text{ МэВ}$ ($1,4 \div 5,8$) · 10¹⁴ см⁻² с⁻¹.



Тип 1 -
«6×50»

Тип 2 -
«6×12»

Тип 3 -
«5×1,5»



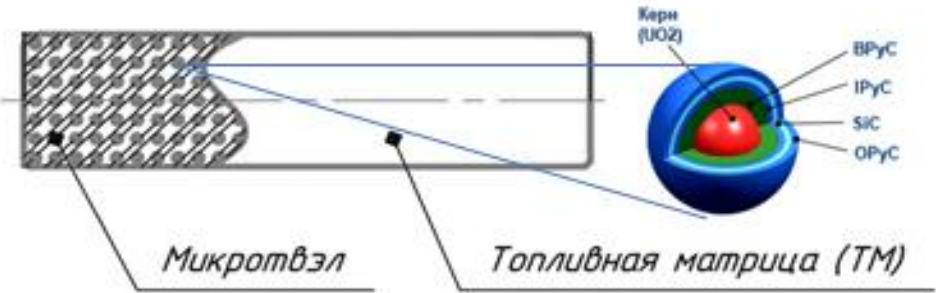
Тип 4 -
«6×2»

Тип 5 -
«Гантель»

Образцы для определения физико-механических характеристик

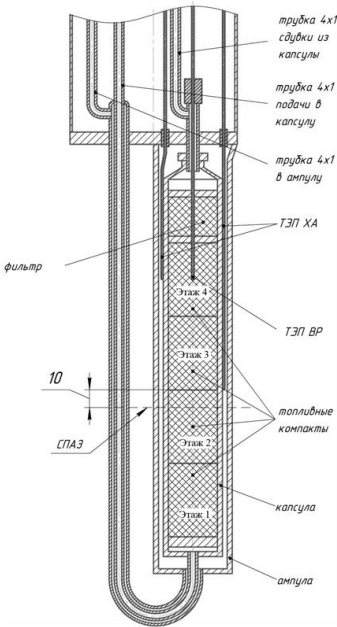
Испытания топлива ВТГР

Топливные компакты
с микросферическим топливом TRISO для ВТГР



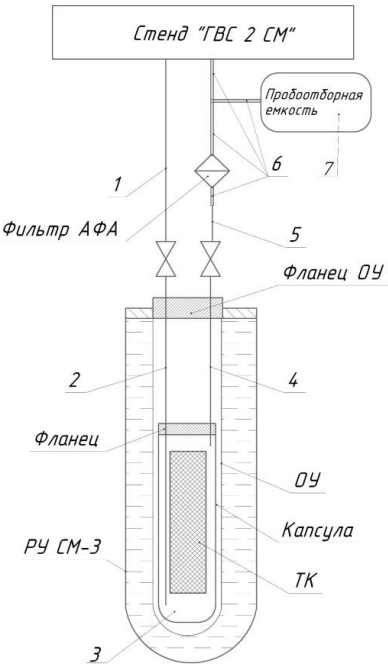
Параметры, измеряемые автоматизированной системой
научных исследований реактора СМ-З

Температура, °С	
Центр верхнего ТК	909
Корпус капсулы на уровне средней плоскости столба ТК	475
На уровне центра верхнего ТК	411
Давление, МПа	
В полости капсулы	0,13
В полости ампулы	0,50
В полости подвески	0,50



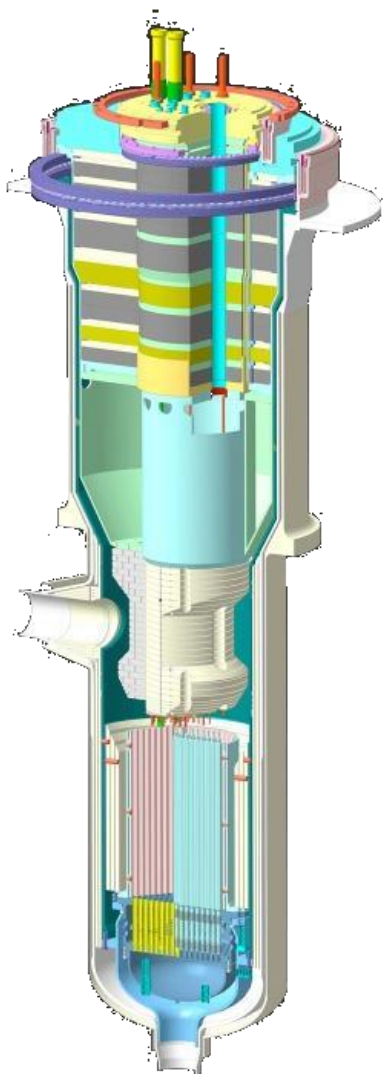
Максимальная температура ТК	1300 ÷ 1800 °С
Максимальная мощность ТК	0,43 ÷ 0,55 кВт
Поток нейтронов в ТК в энерг. диапазоне, с ⁻¹ см ⁻²	
• выше 0,18 МэВ	5,7·10 ¹³
• 0,18 ÷ 0,1 МэВ	6,7·10 ¹²
• 0,1 МэВ ÷ 1 кэВ	3,6·10 ¹³
• 1 кэВ ÷ 0,5 эВ	4,8·10 ¹³
• меньше 0,5 эВ	6,5·10 ¹³

Исследование выхода ГПД



- 1 – линия подачи газа в полость капсулы от стенда «ГВС 2 СМ» до фланца ОУ;
- 2 – линия подачи газа в полость капсулы от фланца ОУ до фланца капсулы;
- 3 – полость капсулы;
- 4 – линия для вакуумирования полости капсулы от фланца капсулы до фланца ОУ;
- 5 – линия для вакуумирования полости капсулы
- 6 – участок с фильтром АФА и пробоотборной емкостью
- 7 – пробоотборная емкость для гамма-спектрометрии.

Реактор БОР-60



Реактор БОР-60 — опытный реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.

Реакторная установка используется для отработки технологий быстрых реакторов с натриевым теплоносителем и проведения испытаний топлива и конструкционных материалов для перспективных реакторов на быстрых нейтронах, а также ядерных реакторов других типов.

Количество экспериментальных устройств с топливными и конструкционными материалами в активной зоне — около 20–25 шт., а количество облучательных устройств с конструкционными материалами в боковом экране практически не регламентируется.

В настоящее время в реакторе проводятся испытания экспериментальных ТВЭЛов с нитридным (UN+PuN) топливом, топлива с добавками Am и Np, сталей аустенитного и ферритно-мартенситного класса, для перспективных российских реакторов с натриевым и тяжелометаллическим теплоносителями (БН-800, БН-1200, БРЕСТ, МБИР, СББР), а также графитовых материалов и циркониевых сплавов.

Тепловая/электрическая мощность реактора	До 60/12 МВт
Максимальная плотность потока нейтронов	$3,7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
Температура натрия на входе / выходе из реактора	320 / 540 °С
Топливный цикл	до 90 суток
Количество остановок в год	4-5
Длительность остановок	(20 ... 45) суток
Максимальная повреждающая доза	до 20 сна/год
Планируемый срок эксплуатации	31.12.2028

Экспериментальная программа и технические возможности реактора BOR-60

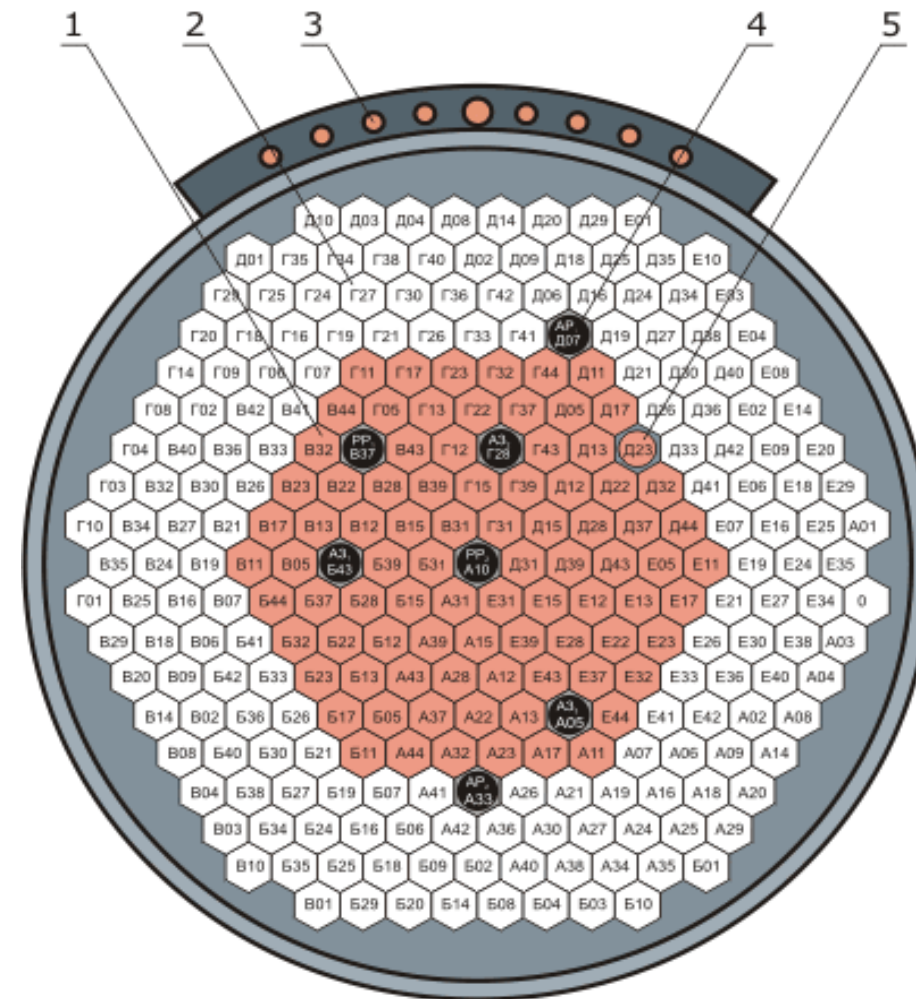
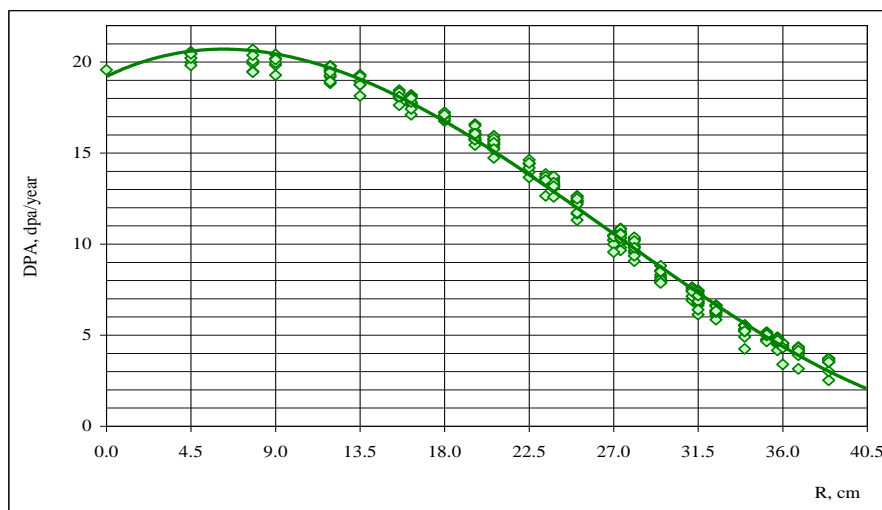


НИИАР
РОСАТОМ

Технические характеристики устройств

Тип ОУ	Температура, °C	Подогрев
ОУ в среде натрия: без подогрева с металлическим нагревателем с топливным нагревателем основанное на конструкции топлива с конвекцией	320 ÷ 360 450 ÷ 500 500 ÷ 700 Up to 700 450 ÷ 600	Самоподогрев, W, UO ₂
ОУ в другой среде: в жидкометаллической среде (Pb, Pb-Bi)	350 ÷ 650 350 ÷ 650	Самоподгрев, W, UO ₂
Газ (He, Ne)	650 ÷ 900 350 ÷ 1200	Самоподгрев, W

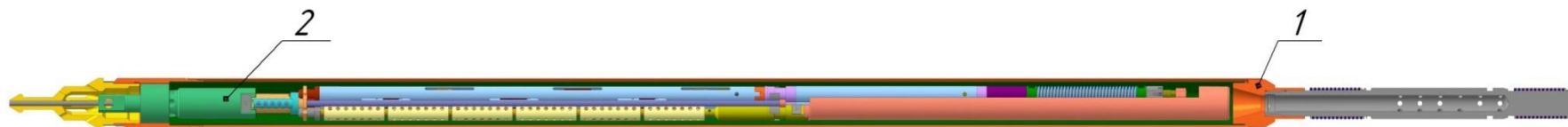
Радиальное распределение повреждающей дозы



Экспериментальные устройства для испытаний материалов на ионно-термическую ползучесть при одноосных напряжениях

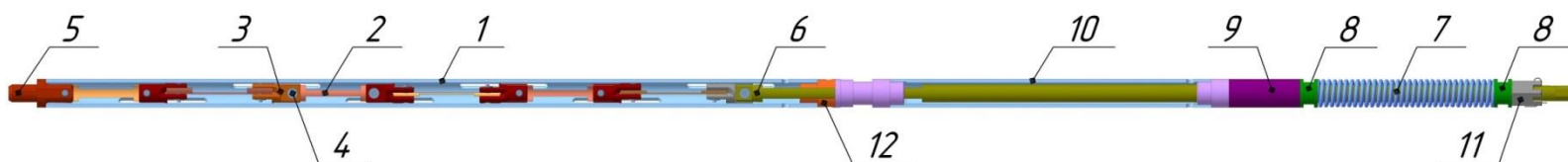


НИИАР
РОСАТОМ



1-корпус; 2-подвеска.

а)



1- оболочка; 2- сегментный образец; 3- переходник; 4- штифт; 5- наконечник; 6- шток; 7- пружина; 8- втулка опорная; 9 - шайба; 10- втулка упорная; 11- гайка; 12- вкладыш.

б)



1 – трубчатый образец; 2 – концевая втулка; 3 – переходная втулка; 4 – упорная втулка; 5 – обойма; 6 – блок нагрузки; 7 – нагружающий шток

в)



1 – трубчатые образцы; 2 – концевик; 3 – соединительная втулка; 4 – упорная втулка; 5 – блок нагрузки;

г)

а – схема облучательного устройства;

б – подвеска для испытаний на ползучесть сегментных образцов при растягивающих напряжениях;

в – подвеска для испытаний трубчатых образцов на ползучесть при сжимающих напряжениях;

г – подвеска для испытаний на ползучесть трубчатых образцов при растягивающих напряжениях

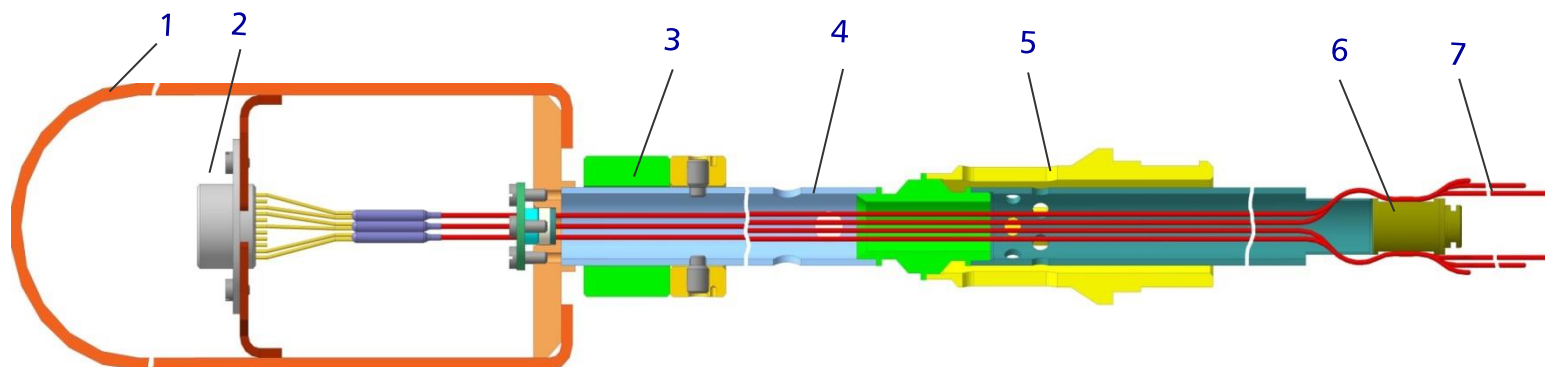
Экспериментальное устройство для инструментovaných испытаний материалов



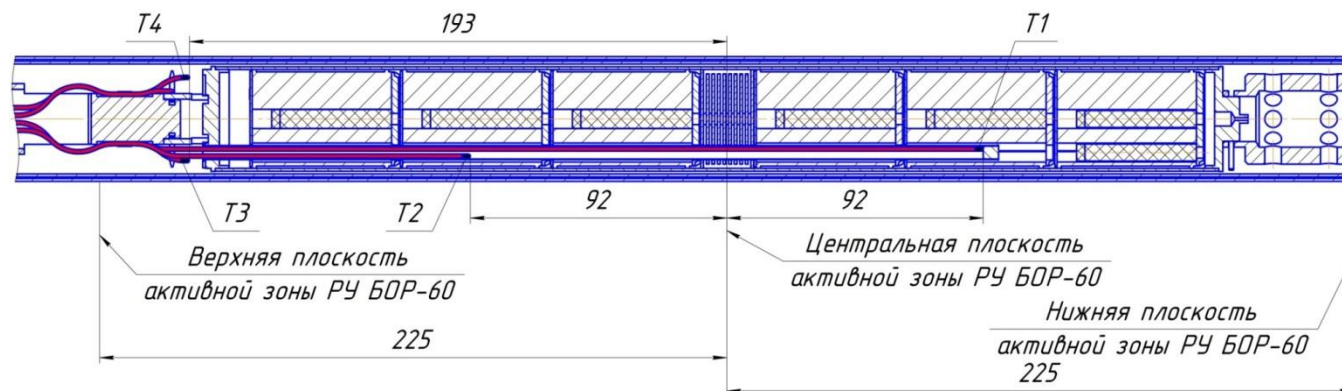
НИИАР
РОСАТОМ



1 – термометрический зонд, 2 – ОУ



1 – скоба транспортная, 2 – разъем для термопар, 3 – биологическая защита, 4 – корпус, 5 – головка, 6 – втулка, 7 – термопары (до 6 шт.)



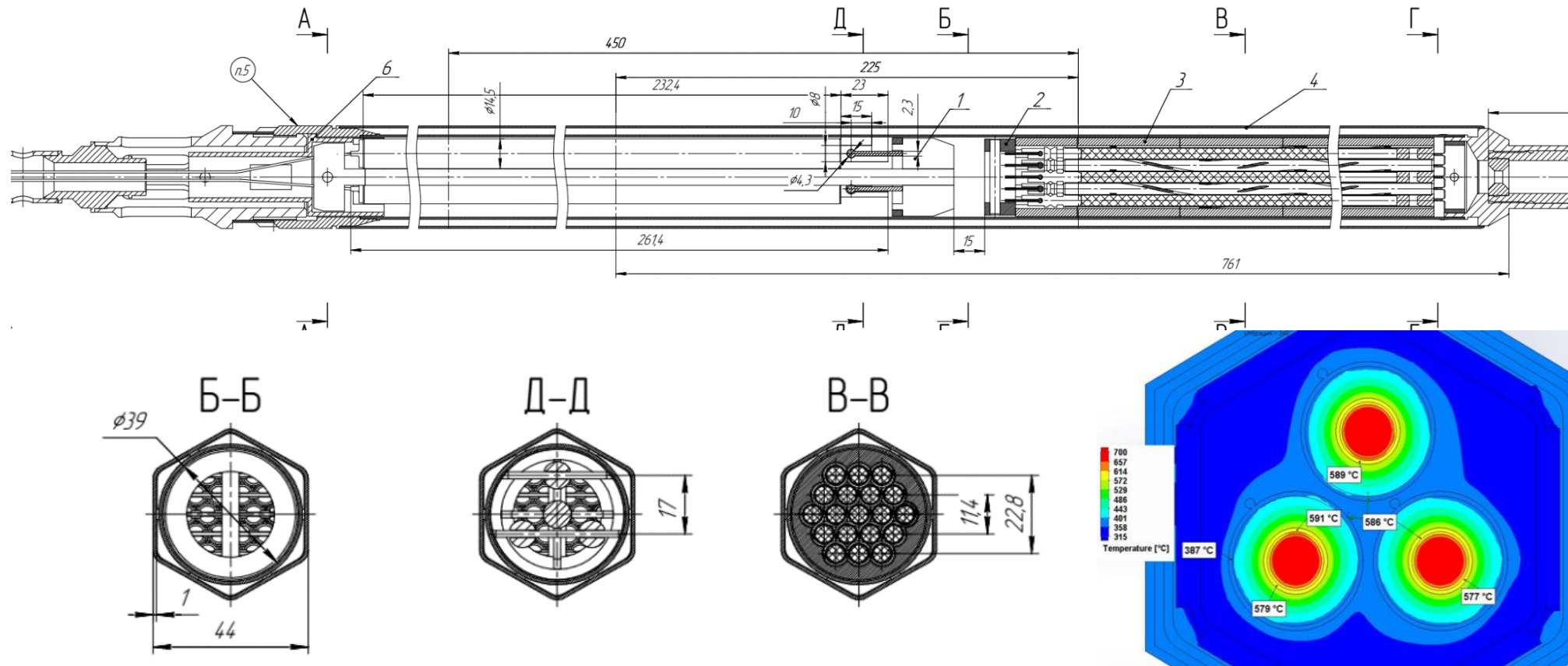
Испытания твэлов в среде тяжёлого металлического теплоносителя



НИИАР
РОСАТОМ

Исследование коррозии оболочки твэлов

- Среда Pb, Pb-Bi с заданным содержанием кислорода;
- Максимальная температура оболочек твэлов;



Основные виды исследований свойств, структуры и состава облученных топлива и материалов



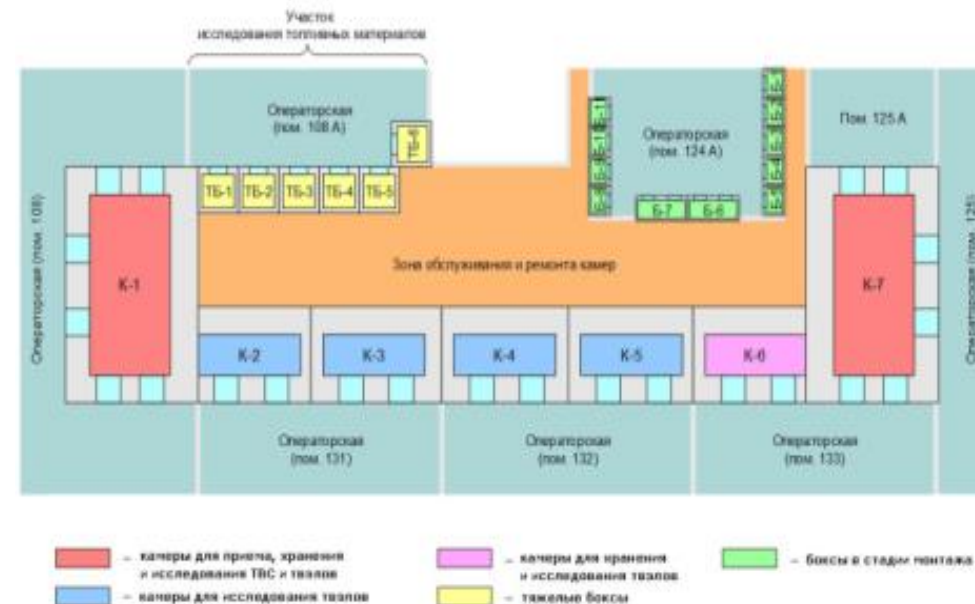
НИИАР
РОСАТОМ

Экспериментальная база материаловедческого комплекса: основу составляют **51 радиационно-защитная камера и 9 тяжелых боксов**.

Две камеры предназначены для работы с ТВС энергетических реакторов ВВЭР-1000, ВВЭР-440, РБМК и БН.

Внутренние размеры этих камер:

- длина 7,5 м,
- ширина 4,0 м,
- высота 7,2 м.



Исследовательские и технологические участки:

- разделки ампульных сборок, ТВС, твэлов и других облучённых изделий;
- механических испытаний;
- металлографии;
- сканирующей и трансмиссионной электронной микроскопии;
- рентгеноструктурного и электронно-зондового микроанализа;
- исследования элементного состава;
- коррозионных испытаний.



Исследуемые характеристики облученных топлива и материалов



НИИАР
РОСАТОМ

Топливо:

- Макро и микроструктура (пористость, размеры, параметры пор и зерен)
- Кристаллографическая структура (тип и параметр кристаллической решетки и т.д.)
- Плотность
- Распухание
- Элементный состав структурных составляющих
- Микротвердость
- Выход и поведение продуктов деления
- Выгорание
- Изотопный состав

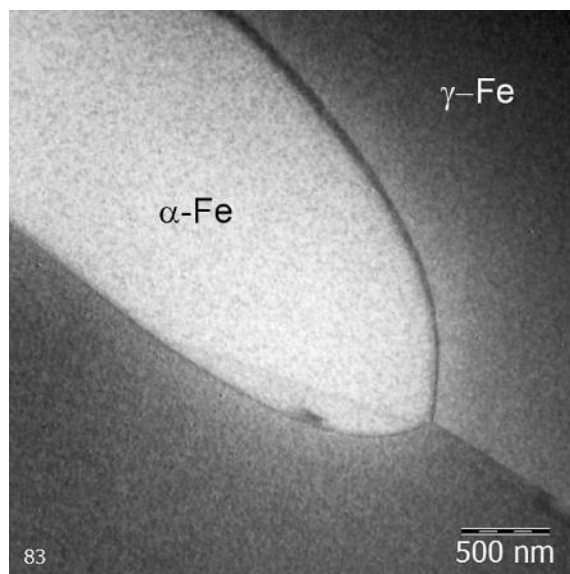
Конструкционные материалы:

- Механические свойства:
 - кратковременные
 - длительная прочность
 - трещиностойкость
 - микротвердость
- Макро и микроструктура
- Кристаллографическая структура (тип и параметр кристаллической решетки и т.д.)
- Дислокационная структура, фазовый и элементный состав структурных составляющих
- Содержание водорода
- Элементный состав
- Распухание
- Радиационный рост
- Радиационная и термическая ползучесть
- Теплопроводность и температуропроводность

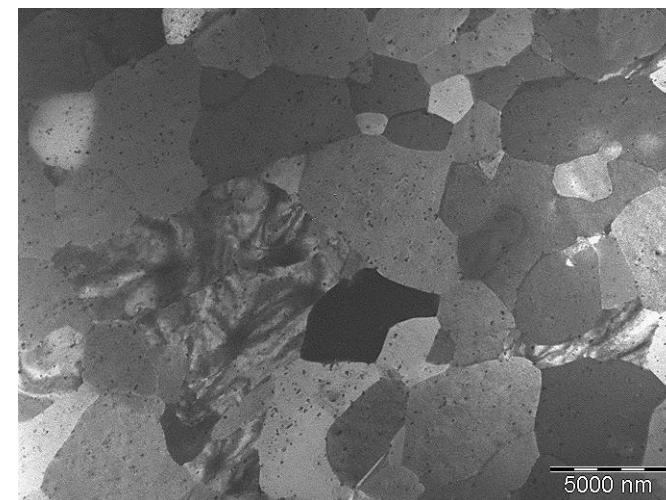
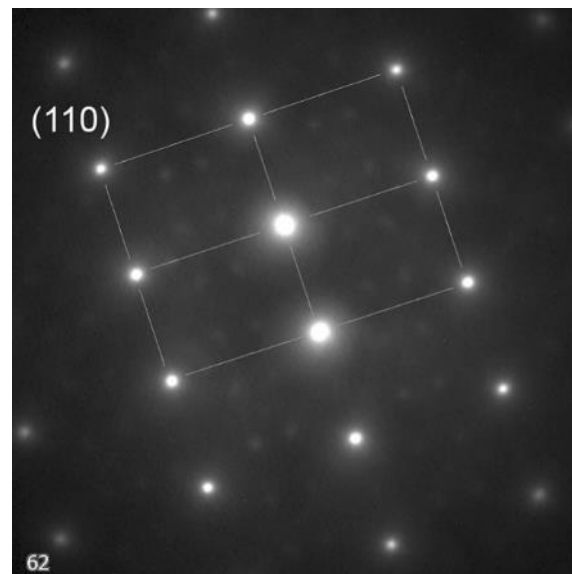
Трансмиссионная электронная микроскопия

Возможности:

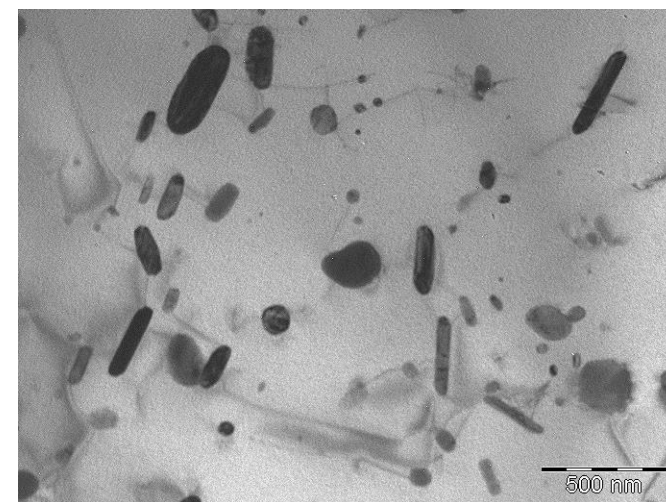
- исследования дислокационной структуры, радиационных дефектов и выделений избыточных фаз в трансмиссионном режиме работы микроскопа на образцах в виде тонких фольг;
- структура поверхности материалов в сканирующем режиме во вторичных и отражённых электронах;
- качественный и количественный анализ матрицы и частиц отдельных выделений в трансмиссионном и сканирующем режимах.



Светлопольное изображение микроструктуры стали, содержащей область альфа-фазы и микродифракционная картина альфа-фазы



Структура зёрен в циркониевом сплаве

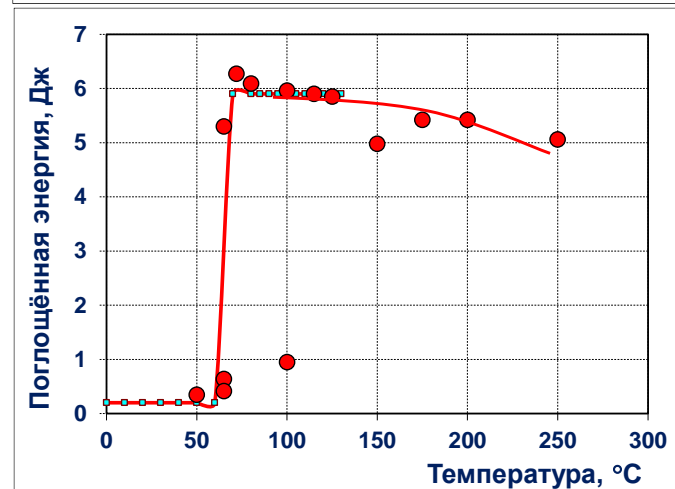
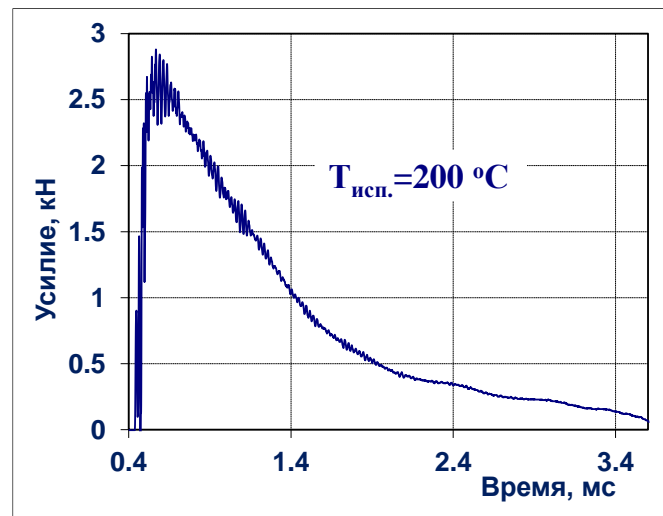


Выделения вторых фаз в циркониевом сплаве

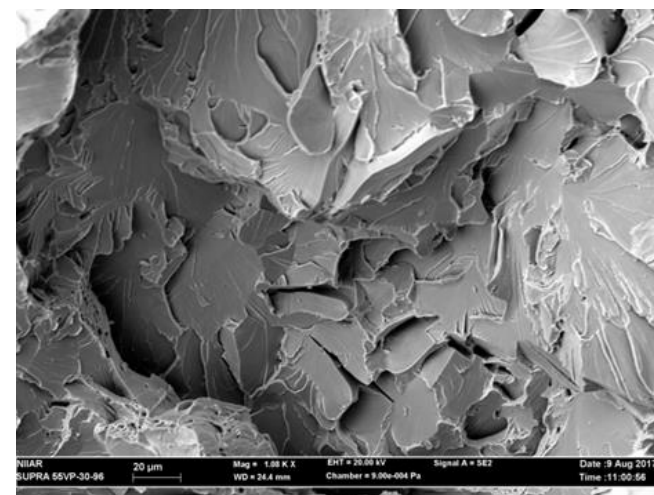
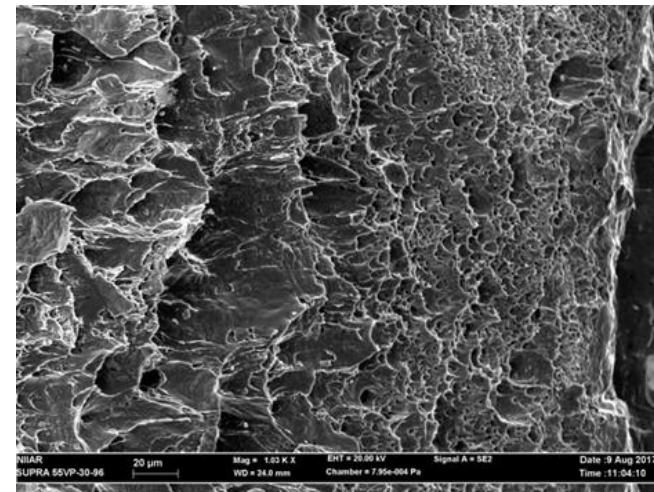
Фрактографические исследования



Внешний вид установки Zwick 5113
для испытаний на ударный изгиб



Результаты испытаний KLST образцов
из феррито-мертенситной стали



Вид поверхности разрушения образцов после
испытаний на ударный изгиб

Испытания на растяжение, ползучесть и малоцикловую усталость



НИИАР
РОСАТОМ



Вид машины Zwick Z050 через стекло защитной камеры

Испытания на растяжение, ползучесть и малоцикловую усталость в вакууме 1×10^{-5} мбар при температуре до 1200°C .

Максимальная нагрузка 50 кН, скорость перемещения активного захвата 0,0005...1000 мм/мин.

Машина оснащена высокотемпературным вакуумным экстензометром, позволяющим прецизионно измерять деформацию непосредственно на рабочей длине образца.



Фотография продольного сегментного образца, вырезанного из оболочки твэла до испытания



Фотография продольных сегментных образцов после испытаний

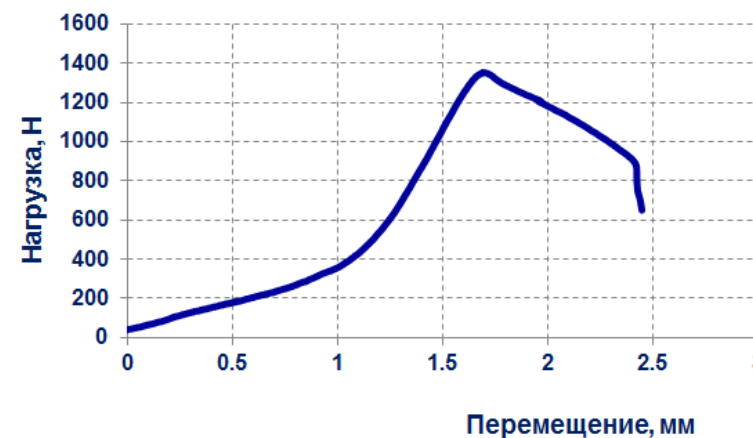
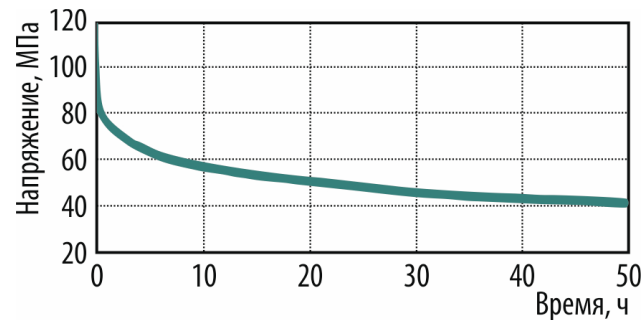
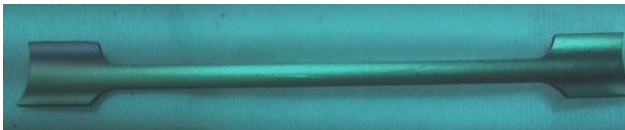


Диаграмма испытаний

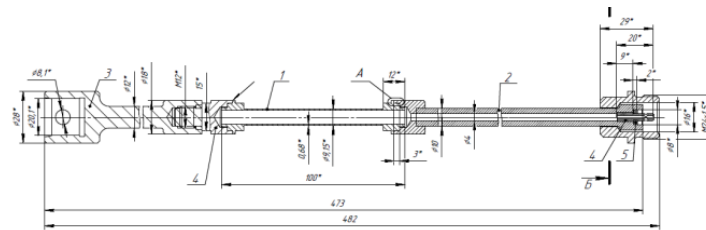
Исследования длительных прочности и релаксации напряжений

Длительные испытания на релаксацию напряжений при растяжении облученных сегментных образцов с удлиненной рабочей частью из оболочек твэлов



Разработана методика проведения испытаний, проведены первые серии длительных испытаний на релаксацию напряжений образцов из оболочек облученных твэлов

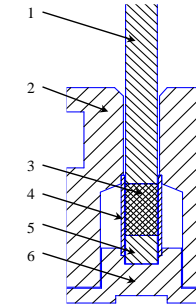
Длительные испытания трубчатых образцов из оболочек отработавших твэлов на ползучесть под внутренним давлением, в том числе, с приложением осевой нагрузки при растяжении



Разработана конструкция образца для проведения длительных испытаний на ползучесть под внутренним давлением, проведена модернизация испытательной машины, изготовлены различные приспособления и оснастка, отработана технология изготовления облученных образцов и проведены испытания

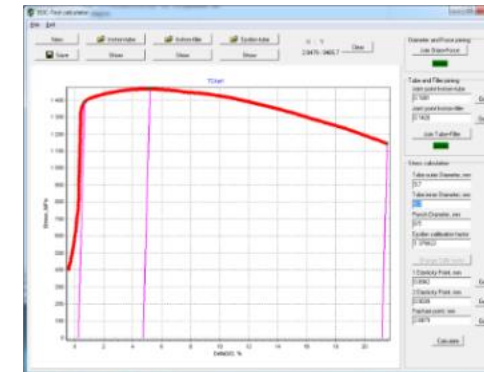
Испытания трубчатых образцов внутренним давлением пластичного материала

Схема нагружения:



- 1 – верхний пуансон;
- 2 – корпус;
- 3 – заполнитель;
- 4 – образец;
- 5 – нижний пуансон;
- 6 – основание

Диаграмма «напряжение – деформация»



Образцы после испытания:



Механические испытания оболочек твэлов и направляющих каналов

Испытания кольцевых образцов внутренним давлением пластичного материала

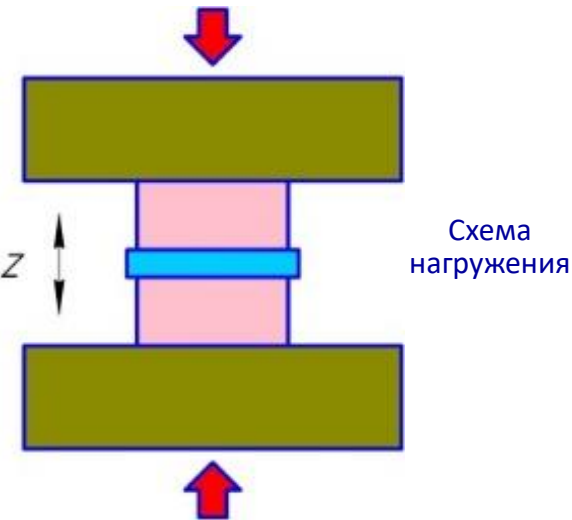
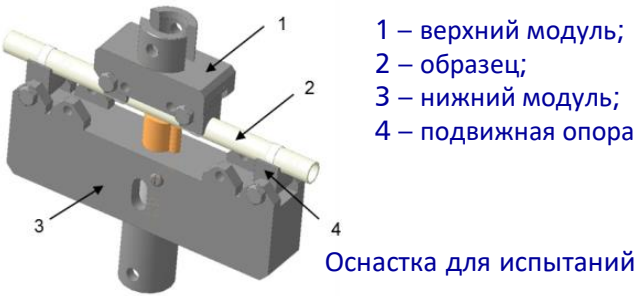
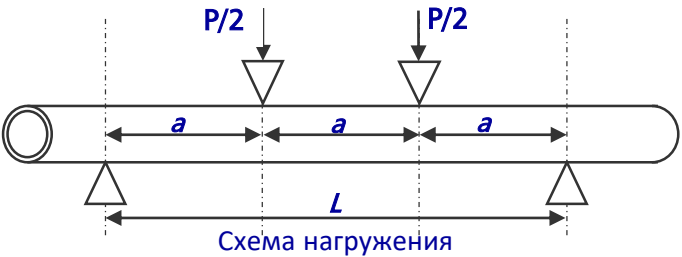


Схема нагружения



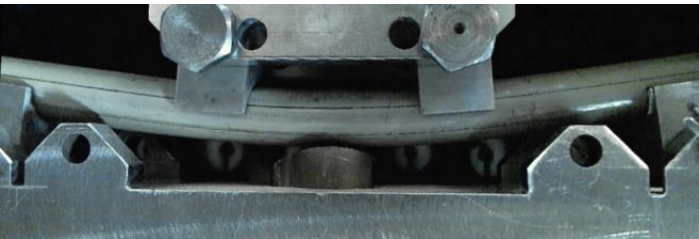
Образец после испытания

Разработка и реализация метода инструментированных механических испытаний образцов из облученных направляющих каналов ТВС на четырехточечный изгиб



- 1 – верхний модуль;
- 2 – образец;
- 3 – нижний модуль;
- 4 – подвижная опора

Оснастка для испытаний



Образец во время испытания

Разработка и реализация метода инструментированных механических испытаний образцов из облученных оболочек твэлов и направляющих каналов ТВС на сплющивание (поперечное сжатие)

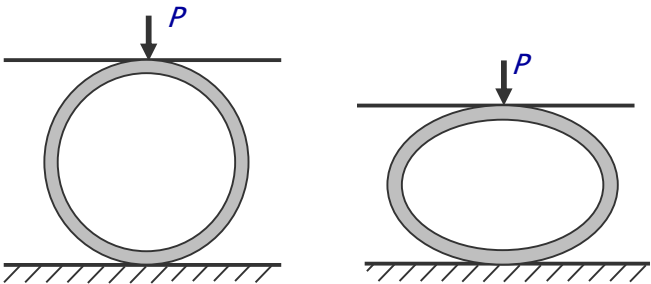


Схема нагружения

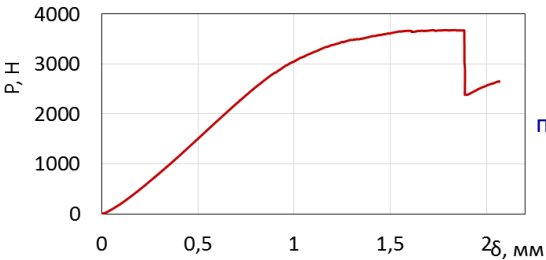
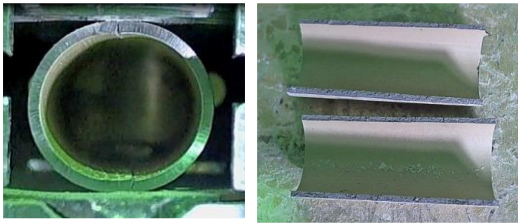


Диаграмма «нагрузка – перемещение траверсы»



Образец после испытания

Исследования теплофизических характеристик материалов



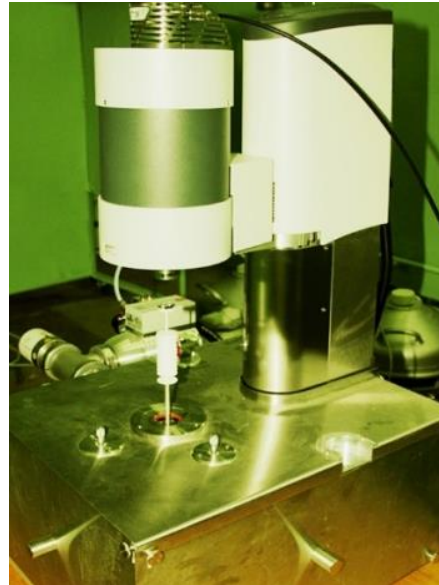
НИИАР
РОСАТОМ

Установка для измерения
температуропроводности
LFA 427

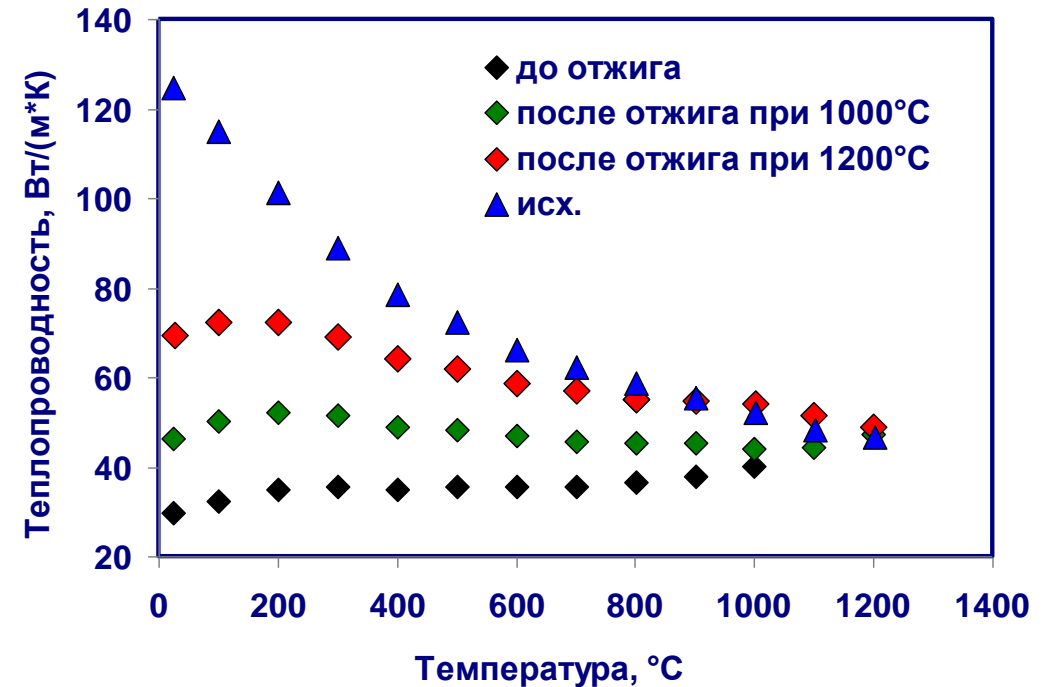


Импульсная установка LFA 427 предназначена для измерения коэффициентов температуропроводности и теплопроводности образцов в интервале температур 20...1600 °С в вакууме и среде инертного газа с погрешностью не более 3 %.

Калориметр DSC 404 F1



Дифференциально-сканирующий калориметр DSC 404 F1 служит для измерений тепловых эффектов и удельной теплоёмкости образцов в интервале температур 20...1600 °С в вакууме и среде инертного газа.



Температурные зависимости коэффициента теплопроводности исходного и облучённого при 450 °С графита после отжигов при различных температурах

Заключение



НИИАР
РОСАТОМ

В АО «ГНЦ НИИАР» в последние годы разработаны и внедрены новые методики реакторных и послереакторных исследований топлива и материалов различных ядерно-энергетических установок с различными видами теплоносителя (вода, натрий, свинец, свинец-висмут, гелий, расплавы солей).

Реакторные испытания топлива и конструкционных материалов проводятся при стационарном облучении с поддержанием плотности потока нейтронов, дозовых нагрузок, давления, температуры и состава теплоносителя, приближенных к штатным параметрам активных зон разрабатываемых реакторов. Для предварительного выбора материалов используются ускоренные методики испытаний с максимальной повреждающей дозой до 25 с.н.а./год.

Для получения экспериментальных данных для обоснования безопасности реакторных установок проводятся испытания с моделированием переходных и аварийных режимах работы топлива с использованием усовершенствованных методик (RAMP, LOCA, RIA, MELT).

Разработаны новые методики и созданы установки для послереакторных исследований механических свойств на растяжение, ползучесть и малоцикловую усталость оболочечных материалов и элементов ТВС, внедрены прецизионные методики исследований структуры материалов на наноструктурном уровне, состава и распределения различных фаз в облучённых материалах и топливе.

В институте функционирует программа усовершенствования методик, приборной базы и инженерной инфраструктуры для проведения испытаний и исследований материалов инновационных ядерных реакторов. В частности, разрабатываются методики реакторных испытаний и послереакторных исследований топлива с высоким выгоранием при параметрах тяжёлых проектных и запроектных аварийных ситуаций.

Институт наряду с мощным парком испытательных реакторов, многофункциональным комплексам послереакторных исследований обеспечен высококвалифицированным инженерно-техническим и научным персоналом, обладает всеми компетенциями для проведения всех видов исследований в интересах развития ядерной энергетики в России и международного научно-технического сотрудничества.

**Спасибо
за
внимание!**



НИИАР
РОСАТОМ