ФЭИ
РОСАТОМ

Экспериментальные возможности исследовательской ядерной установки МБИР, основные направления исследований

Совещание по вопросам сотрудничества в рамках Международного центра исследований МБИР /Комиссия государств-участников СНГ по использованию атомной энергии в мирных целях/ Госкорпорация «Росатом», г. Москва

Клинов Дмитрий Анатольевич
Заместитель научного руководителя по перспективным тематикам АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»

Общая информация о ИЯУ

Цель сооружения МБИР: создание высокопоточного исследовательского реактора на быстрых нейтронах с уникальными потребительскими свойствам, сохранение и развитие экспериментальной базы атомной энергетики Российской Федерации.
Дата начала разработки проекта ИЯУ: 2010 г.
Планируемая сдача ИЯУ в эксплуатацию: середина 2028 г.
Место сооружения: площадка АО ГНЦ НИИАР, г. Димитровград, Ульяновская обл.

Задачи МБИР:

- проведение реакторных и послереакторных исследований;
- отработка новых технологий производства радиоизотопов и модифицированных материалов;
- испытания и апробация новых типов оборудования различных технологических систем;
- **Сопутствующая:** производство электроэнергии и тепла.

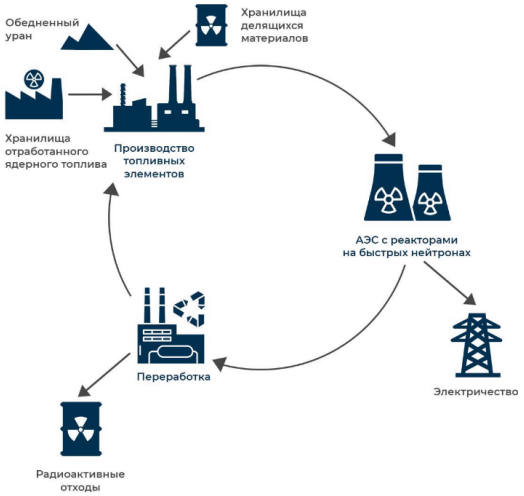
Назначение и основные технические характеристики РУ

ФЭИ
РОСАТОМ

Наименование параметра	Значение
Номинальная тепловая мощность реактора, МВт	150
Максимальная / средняя плотность потока нейтронов в активной зоне, $см^{-2} \cdot с^{-1}$	$5{,}3 \times 10^{15}$ / $3{,}1 \times 10^{15}$
Шаг установки элементов а.з., мм	75
Количество ТВС в активной зоне, шт	93
Количество твэл в одной ТВС, шт	91
Количество ячеек в активной зоне под установку материаловедческих или изотопных сборок	14
Количество ячеек под установку экспериментальных каналов	3
Количество ячеек под установку одного петлевого канала	7
Количество петлевых каналов в активной зоне / боковом экране	1 / 2
Тип топлива штатных ТВС	Смешанное оксидное уран-плутониевое
Массовая доля PuO_2 в МОКС-компоненте виброуплотненного топлива подпитки, %	38,8
Высота топливной части твэл, мм	550
Компоновка РУ	Петлевая
Количество теплоотводящих петель	2
Количество контуров теплоотвода	3
Теплоноситель I, II контуров	Натрий
Направление движения потока теплоносителя через активную зону реактора	Снизу вверх
Принцип теплоотвода от активной зоны реактора	Принудительная циркуляция при работе реактора на мощности. Естественная циркуляция на остановленном реакторе
Защитная среда в газовых полостях корпуса реактора и кожуха страховочного	Аргон
Проектный срок службы реактора, лет	50
Длительность работы между перегрузками топлива, эфф. суток	100
Время останова реактора на ППР, включая перегрузки, сутки	35 – 45
Коэффициент использования реактора	0,65

Основные направления использования реактора МБИР

- массовые реакторные испытания и исследования перспективных конструкционных материалов в широком диапазоне температур, в различных средах для ядерно-энергетических установок (ЯЭУ) следующих поколений, включая термоядерные реакторы;
- массовые реакторные испытания макетов топливных элементов на основе перспективных видов топлива для ЯЭУ нового поколения;
- проведение реакторных экспериментов для решения проблем замкнутого топливного цикла, включая выжигание минорных актинидов и снижение объема радиоактивных отходов;
- исследования поведения и обоснование работоспособности топлива ЯЭУ различного типа в переходных, циклических и аварийных режимах в петлевых установках с разными видами теплоносителя;
- производство радиоизотопной продукции;
- создание нейтронных пучков для прикладных (включая медико-биологические) исследований;
- фундаментальные исследования;
- выработка тепловой и электрической энергии.



Замкнутый ядерный топливный цикл

МБИР – уникальный научный инструмент для получения новых знаний!

ФЭИ
РОСАТОМ

Ядерные константы

Экономика

Проектирование

Эксперим. исследования

Нейтронная физика

Расчёт реактора

Теплофизика

Прочность

Физико-химия т/н

Реакторное матер-ие

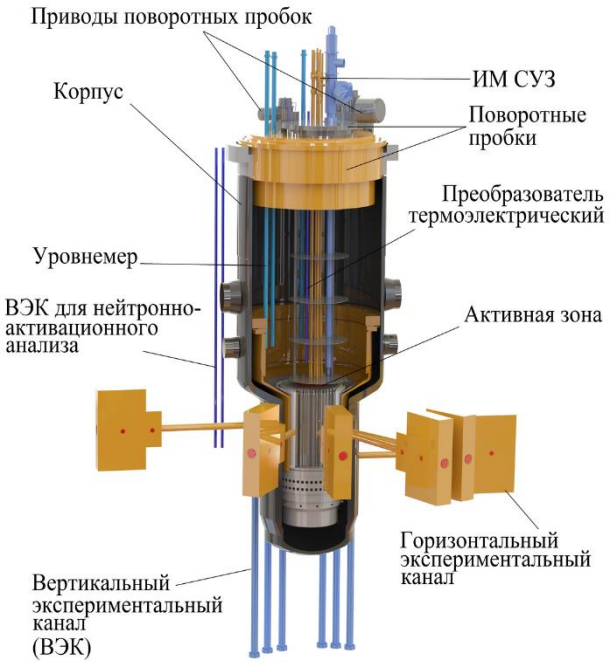
Системный анализ

Испытания макетов и узлов

Новые знания

- Энергетическая безоп-ть РФ
- Безопасная ЯЭ
- Инновационные проекты РУ и ЭБ
- Экономически эффективная ЯЭ
- Замкнутый ЯТЦ
- Утилизация РАО
- Топливные ресурсы
- Экологическая безоп-ть РФ

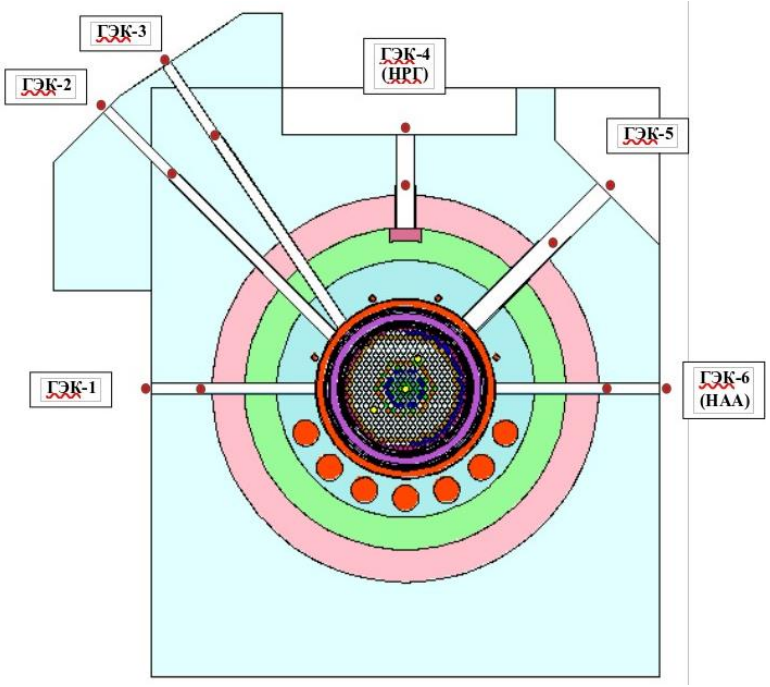
Конструктивные особенности ИЯУ МБИР



Преимущества горизонтальных экспериментальных каналов ИЯУ МБИР

- Уникально большой диаметр;
- Вход канала непосредственно примыкает к АЗ;
- Большая плотность материала АЗ;
- Жёсткий спектр нейтронов на выходе канала;
- Большая плотность потока нейтронов на выходе канала.

Перспективные ГЭК МБИР



Расчет плотности потока нейтронов в ГЭК

Плотность потока нейтронов	ГЭК №1, $см^{-2}\cdot с^{-1}$	ГЭК №2, $см^{-2}\cdot с^{-1}$	ГЭК №3, $см^{-2}\cdot с^{-1}$	ГЭК №4, $см^{-2}\cdot с^{-1}$	ГЭК №5, $см^{-2}\cdot с^{-1}$	ГЭК №6, $см^{-2}\cdot с^{-1}$
Σ	1,20E+10	2,23E+09	2,49E+09	5,01E+07	3,94E+10	1,82E+10

Расчет интенсивности гамма излучения для ГЭК

Плотность потока нейтронов	ГЭК №1, $см^{-2}\cdot с^{-1}$	ГЭК №2, $см^{-2}\cdot с^{-1}$	ГЭК №3, $см^{-2}\cdot с^{-1}$	ГЭК №4, $см^{-2}\cdot с^{-1}$	ГЭК №5, $см^{-2}\cdot с^{-1}$	ГЭК №6, $см^{-2}\cdot с^{-1}$
Σ	1,96E+09	3,20E+08	3,50E+08	1,19E+08	6,88E+09	2,85E+09

Программа перспективных экспериментальных исследований на реакторной установке МБИР в период с 2028 по 2040 годы

Программа научных исследований

ФЭИ
РОСАТОМ

- Создание безопасных и конкурентоспособных ядерных энергоблоков 4-го поколения требуют большого объёма внутриреакторных исследований новых материалов и конструкций элементов а.з. в том числе, в специальных экспериментальных устройствах и петлях, оборудованных современными средствами контроля и управления.
- Конструкционные материалы должны обеспечить надежную работу элементов активных зон по меньшей мере до достижения повреждающих доз до 120-170 сна.
- Безопасность реакторов должна быть экспериментально обоснована при эксплуатации реакторов в стационарных режимах на максимальном уровне мощности, а также в переходных, циклических и аварийных режимах.

Необходимость создания программы научных исследований

- Для представительного обоснования российских проектов перспективных быстрых реакторов, обоснования технологий ЗЯТЦ и технологий реакторов малой и средней мощности, а также для оказания услуг по облучению для зарубежных партнеров, необходимо заместить действующий исследовательский реактор БОР-60 при исчерпании его эксплуатационного ресурса и обеспечить реакторную экспериментальную базу на длительный период с пуском реактора МБИР в 2028 г. Для выполнения этой цели исследовательский реактор МБИР рассматривается как основная исследовательская реакторная установка на период, как минимум, до 2075 года.
- В Программе сформулированы и обоснованы основные научные и экспериментальные направления начального этапа функционирования реактора МБИР до 2040 года.

Основные направления использования реактора МБИР

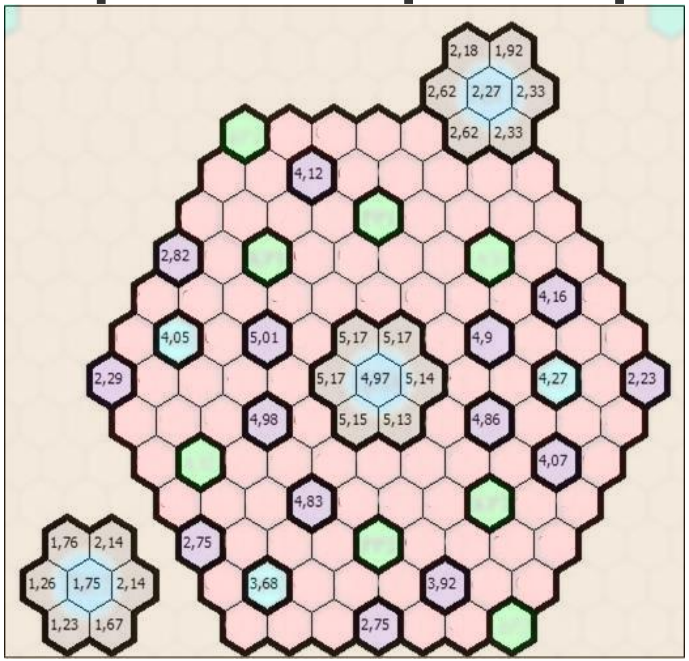
- массовые реакторные испытания и исследования перспективных конструкционных материалов в широком диапазоне температур, в различных средах для ядерно-энергетических установок (ЯЭУ) следующих поколений, включая термоядерные реакторы;
- массовые реакторные испытания макетов топливных элементов на основе перспективных видов топлива для ЯЭУ нового поколения;
- проведение реакторных экспериментов для решения проблем замкнутого топливного цикла, включая выжигание минорных актинидов и снижение объема радиоактивных отходов;
- исследования поведения и обоснование работоспособности топлива ЯЭУ различного типа в переходных, циклических и аварийных режимах в петлевых установках с разными видами теплоносителя;
- производство радиоизотопной продукции;
- создание нейтронных пучков для исследований в различных областях знаний - фундаментальных и прикладных;
- выработка тепловой и электрической энергии.

Характеристики исследовательских реакторов на быстрых нейтронах

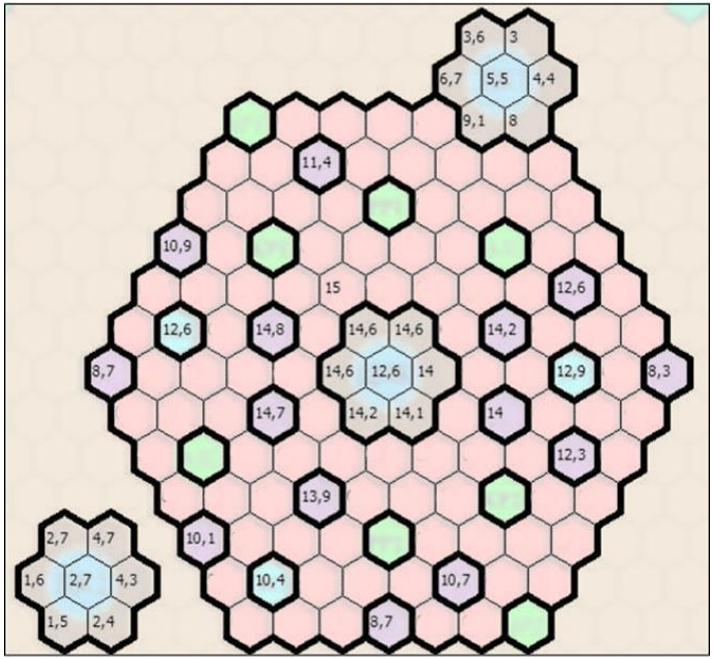
ФЭИ РОСАТОМ

Параметр	FBTR (India)	VTR (USA)	CEFR (China)	БОР-60 (Russia)	MBIR (Russia)
Статус	Эксплуатация на 50% проектной мощности	Предпроектная проработка	Условно эксплуатируется	Эксплуатируется	Сооружается
Топливо	Заявлено: 65 сборок с MOX топливом	U-20Pu-10Zr	В текущий момент UO_2 45%, переход на MOX	UO_2, Вибро-MOX	Вибро-MOX с содержанием Pu 38.8%
Дата ввода в эксплуатацию	1985	2026	2010	1969	2028
Мощность(т), проектная/ текущая, МВт	40/20.3	300/ -	60/-	60/55	150/-
Плотность потока нейтронов (интегральная/ быстрых), 1/см^2·с	$3.15\cdot10^{15}$/- (на мощности 40 МВт)	- / $4.35\cdot10^{15}$	$3.7\cdot10^{15}$ / -	$3.7\cdot10^{15}$	$5.3\cdot10^{15}$/ $3.7\cdot10^{15}$
Время работы в году, час	1900 Проектная величина: 4200	Микрокампания 100 суток	-	5700	5700
Срок службы, год	30 (2015?)	50 (2076)	40 (2050)	56 (2028)	50 (2078)

Проектные возможности испытаний материалов в реакторе МБИР



(а)



(б)

Нейтронный поток в облучательных ячейках, 10^{15}н/см^2×с (а) и повреждающая доза (смещений на атом за 100 эфф. суток) в облучательных ячейках (б) для аустенитных оболочечных сталей

Основные научные направления экспериментальных работ на МБИР в 2028-2040 гг.

Испытания перспективных конструкционных материалов

- Высокодозные облучения (более 110 сна) в сборно-разборных устройствах перспективных оболочечных материалов (ферритно-мартенситных и аустенитных сталей) при температурах (350÷700) ºС для исследования механических свойств, распухания, радиационной ползучести.
- Внутриреакторные исследования длительной прочности, ползучести, деформационной способности и охрупчивания перспективных ферритно-мартенситных и аустенитных сталей при температурах 350÷700 ºС и различных скоростях нагружения

Конструкционные материалы

- Аустенитные стали:

  - ЭК164 (для обоснования работоспособности до дозы ~ 120 сна).

- Ферритно-мартенситные стали:

  - ЭП823;
  - ЧС139;
  - малоактивируемые стали (ЭК181, ЧС141 и др.).

- Нанодисперсные материалы конструкционного и функционального назначения, ДУО стали
- Основные планируемые данные для обоснования использования аустенитных и ферритно-мартенситных сталей:

  - установление дозно-температурных зависимостей с разной скоростью набора дозы;
  - параметры распухания,
  - НТРО;
  - ВТРО;
  - данные по структуре и механическим свойствам, полученные после облучения в различных типах теплоносителя (натрий, свинец);
  - данные по структуре и механическим свойствам, полученные после облучения твэлов с различным топливом (оксид урана, СНУП, МОХ, металлическое топливо).

Испытания перспективных конструкционных материалов

- Высокодозные облучения до 170 сна специальных жаростойких материалов, работоспособных при температурах (750 ÷ 1100) ºС для исследования их механических свойств, распухания, радиационной ползучести, длительной прочности; исследование деградации углеграфитовых материалов.
- Высокодозные облучения новых малопоглощающих, коррозионно-стойких материалов, в том числе на основе карбида кремния и перспективных керамик, работоспособных при давлениях 25÷30 МПа и температурах 570÷580 ºС с целью определения их радиационной стойкости.
- Исследования радиационно-, жаро- и коррозионностойких (по отношению к литиевому теплоносителю) материалов. Ресурсные испытания материалов первой стенки, бланкета, экспериментальных модулей термоядерного реактора.
- Испытания оболочек из ванадиевых сплавов с различными покрытиями.
- Испытания корпусных и внутрикорпусных сталей для перспективных тепловых ядерных реакторов.

Исследования характеристик перспективных топливных материалов

ФЭИ
РОСАТОМ

- Изучение распухания, газовыделения, ползучести и теплопроводности облученного до различных выгораний МОКС и (UPu)N топлива в зависимости от состава, пористости, температуры, выгорания.
- Реакторные испытания регенерированного топлива различной степени очистки (от 108 до 102 раз).
- Исследования тепловыделяющих элементов при глубоких выгораниях с различными видами (UPu)N топлива и технологиями его изготовления.
- Испытания ядерного МОХ-топлива с нанодобавками (20÷40 нм UO_2) и крупно кристаллической структурой (35÷40 мкм) с контролируемой пористостью.
- Внутриреакторные исследования характеристик (газовыделения, теплопроводности, рапухания, ползучести) плотного металлического топлива на основе сплавов (U-Zr, U-Mo и т.п.).
- Испытания тепловыделяющих элементов с различными видами МОКС и плотного топлива, содержащими минорные актиниды

Направления исследований

- Испытания поглощающих, замедляющих и композиционных материалов для инновационных ядерных реакторов
- Испытания тепловыделяющих элементов с перспективными видами топлива в переходных, циклических и аварийных режимах
- Исследование новых и модифицированных жидкометаллических теплоносителей
- Ресурсные испытания новых типов оборудования для инновационных ядерных реакторов
- Проведение физических, материаловедческих, тепло-гидравлических и других исследований для верификации расчетных кодов
- Прикладные экспериментальные работы с использованием реакторного излучения (нейтронная терапия, наработка различных радиоизотопов с низкими сечениями захвата нейтронов, наработка 60Co, 153Gd, 89Sr, 63Ni, нейтронная радиография и томография облучённых материалов, ядерное легирование кремния, массовый нейтронно - активационный анализ и др.).

Заключение

- Для реализации стратегии развития двухкомпонентной атомной энергетики России на период до 2050 года на основе быстрых и тепловых реакторов, а также обоснования технологий замыкания ядерного топливного цикла необходим исследовательский реактор МБИР.
- Основным предназначением многофункционального быстрого исследовательского реактора МБИР является проведение массовых реакторных испытаний инновационных материалов и макетов элементов активных зон для ядерно-энергетических систем 4-го поколения, включая энергетические реакторы на быстрых нейтронах работающие в ЗЯТЦ, а также реакторы малой и средней мощности.
- Потенциальные экспериментальные возможности реактора достаточны для проведения исследований по программам развития отечественной ядерной индустрии, а сверх этого позволяют выполнять работы для зарубежных заказчиков, включая совместные международные проекты в рамках планируемого на базе МБИР международного центра исследований.

Спасибо
за внимание

Клинов Дмитрий Анатольевич
Заместитель научного руководителя по перспективным тематикам
Тел.: +7 (484) 399 44 78

E-mail: dklinov@ippe.ru

www.rosatom.ru
15.07.2025