



РОСАТОМ | РФЯЦ-ВНИИТФ

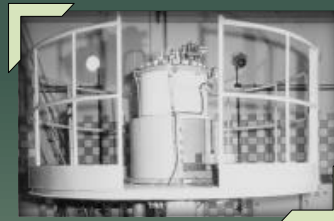
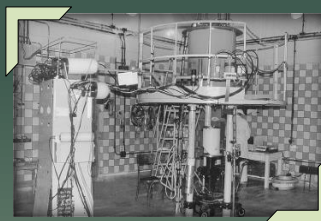
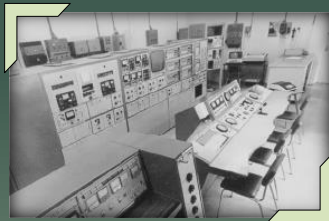
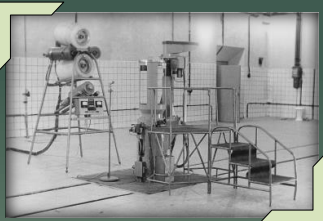
Исследовательские ядерные установки РФЯЦ-ВНИИТФ. Современное состояние и перспективы использования



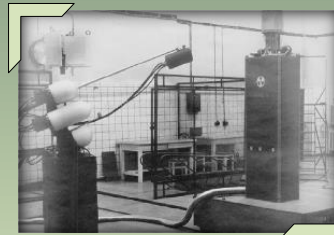
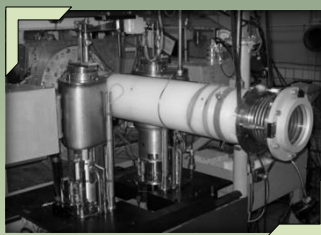
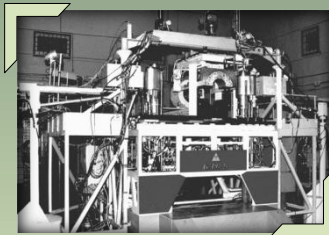
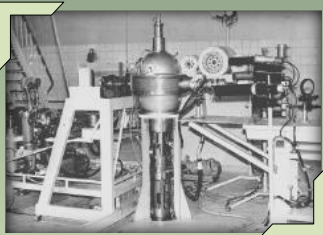
Докладчик –
Андреев Сергей Александрович







Исторический аспект



Актуальность

Критические стенды

Расчеты
Константы
Ядерная безопасность

Импульсные реакторы

Моделирование ПФЯВ
Рад.стойкость
Спецопыты

Компактные установки
Размер активной зоны < 1 м



Критические стенды

1958

ФКБН, конструкция заимствована из КБ-11

1963

ФКБН усовершенствован для работы на мощности

1964

ФКБН-И для генерирования импульсов делений

1972

ФКБН-М после переезда на новую площадку

2001

ФКБН-2, действующий

Критические стенды

Объект исследования – РС,
разделенная на две части

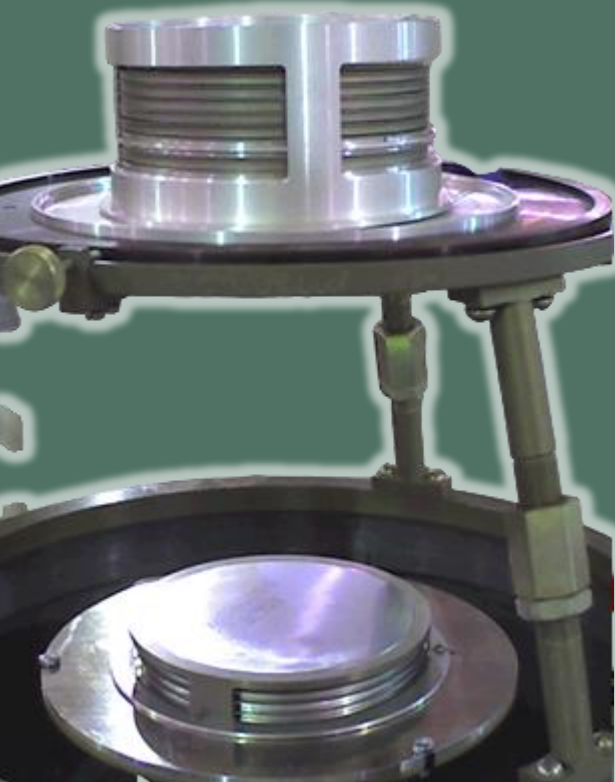
Измеряются характеристики:

- критичности;
- нестационарных процессов на мгновенных нейтронах;
- пространственно-энергетических распределений полей нейтронов.

$$\Delta k_{\text{eff}} < 0,1 \%$$

$$\Delta \lambda < 1 \%$$

$$\Delta S < 5\%$$



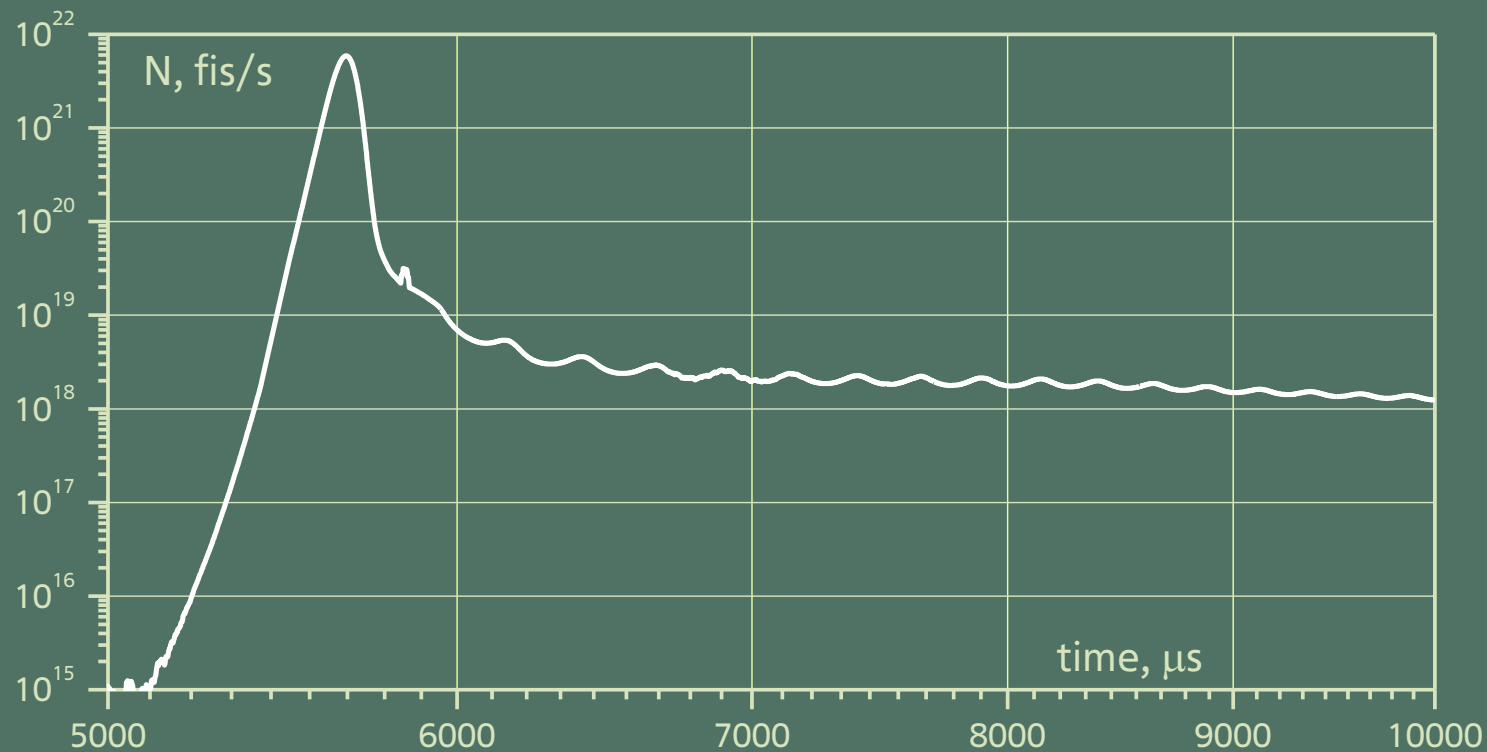
500+ размножающих систем
исследовано

10% из них оформлено в виде
справочника бенчмарк

СК прецизионные опыты для верифи-
кации расчетов и корректировки
систем констант

РБН ФКБН пригоден для верификации
расчетов новых типов реакторов

Импульсные ядерные реакторы

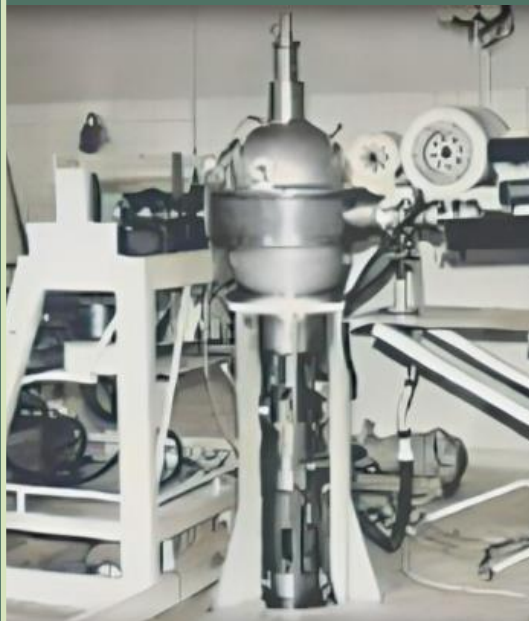


Импульсные ядерные реакторы

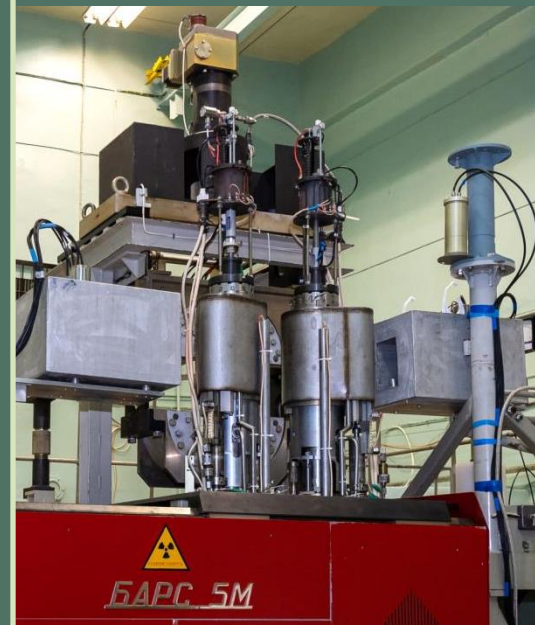
С топливом на
основе водного
раствора солей
ВОУ



С топливом из
металлического
ВОУ



С несколькими
активными зонами
из металлического
ВОУ



Импульсные ядерные реакторы

№	Установка	Начало эксплуатации	γ , 10^{17} дел.	$t_{1/2}$, мкс	$P_{\text{стац}}$, кВт	Φ_{max} , 10^{15} см $^{-2}$ ЦЭК/пов-ть	D_{max} , кГр ЦЭК/пов-ть	$\langle E_n \rangle$, МэВ
1	БАРС-1	апр.1964	0,7	44	3	0,5/0,1	1,0/0,2	1,5
2	ЭЛИР	фев.1966	5	1600	15	1,1	0,8	0,8
3	ЭБР-107	1967	0,4	200	2	0,2	-	1,2
4	ЭБР-200	1967	0,6	200	2	0,4	-	1,2
5	БАРС-2	начало 1969	1,3	68	3	0,6/0,2	1,7/0,2	1,5
6	ПРИЗ	1970	—	—	4	-	-	1,2
7	БАРС-3	1972	1,6	51	4	0,7/0,2	1,5/0,2	1,5
8	ИГРИК	сен.1975	18	2300	30	1,1	10,3/-	0,8
9	ЭБР-200М	апр.1976	1,6	50	5	0,4	-	0,7
10	РУС	1977	0,3	100	~1	0,4	-	1,1
11	ЭБР+РУС	1977		100	~1	0,4	-	0,7
12	РУС-В	1978	—	—	1	0,4	-	1,1
13	БАРС-4	1980	5	40	20	1,0/0,5	-	1,3
14	ЭБР-Л	мар.1981	1,5	60(160)	5	0,4	-	0,7
15	БАРС-5	1985	5	40	20	1,0/0,5	-	1,3
16	ЯГУАР	апр.1990	10	700	10	1,1	9,3/-	0,9
17	БАРС-5+РУН-1	нояб.1990	7	60	40	1,0/0,5	-	1,3
18	БАРС-5+РУН-2	янв.1994	10	60	40	1,0/0,5	-	1,3
19	БАРС-6	1995	5	40	20	1,0/0,5	-	1,3

Импульсные ядерные реакторы. Достижения

1й в СССР управляемый импульс делений и создан первый апериодический импульсный реактор

16 импульсных реакторов создано за период с 1958 по 2025 гг.

1й импульсный реактор с двумя и впоследствии с тремя связанными в нейтронном отношении активными зонами

6 импульсных реакторов разработки РФЯЦ-ВНИИТФ переданы и успешно эксплуатировались в других организациях

Современное состояние

Парк действующих и проектируемых ИЯУ

№	Наименование ИЯУ	Год ввода в эксплуатацию	Год завершения экс-ии	Стадия жизненного цикла	Основное назначение
Твердотельные импульсные ядерные реакторы					
1	БАРС-5М	1986 (2018)	2048	Э	Исследования и испытания на радиационную стойкость, проведение модельных экспериментов в интересах разработки новых реакторов
2	БАРС-5М+РУН-2	1994 (2023)	2053	Э	
Растворные импульсные ядерные реакторы					
3	ЯГУАР	1990 (2014)	2034	Э	Исследования и испытания на радиационную стойкость, проведение модельных экспериментов в интересах разработки новых реакторов
4	ИГРИК-2	2026	2056	ВвЭ	
Критические стенды					
5	ФКБН-2	2001	2028	Э	Проведение критических и корреляционных бенчмарк-экспериментов для уточнения ядерно-физических констант, проведение критических экспериментов по обоснованию ядерной безопасности
6	ФКБН-3	2028*	2058*	П	

БАРСы

БАРС-5М

5×10^{17} дел

40 мкс

10^{15} см⁻²

Ø60x100 мм

20 кВт

1,3 МэВ

$Y_{\max}$

$t_{1/2 \min}$

$\Phi_{\max}$



$N_{\max}$

$\langle E_n \rangle$

+РУН-2

1×10^{18} дел

50 мкс

10^{15} см⁻²

Ø250x250 мм
(сквозная)

30 кВт

1,3 МэВ



БАРС-5М+РУН-2



ЯГУАР

$Y_{\max}$

28 МДж

$t_{1/2 \min}$

800 мкс

$\Phi_{\max}$

10^{15} см^{-2}



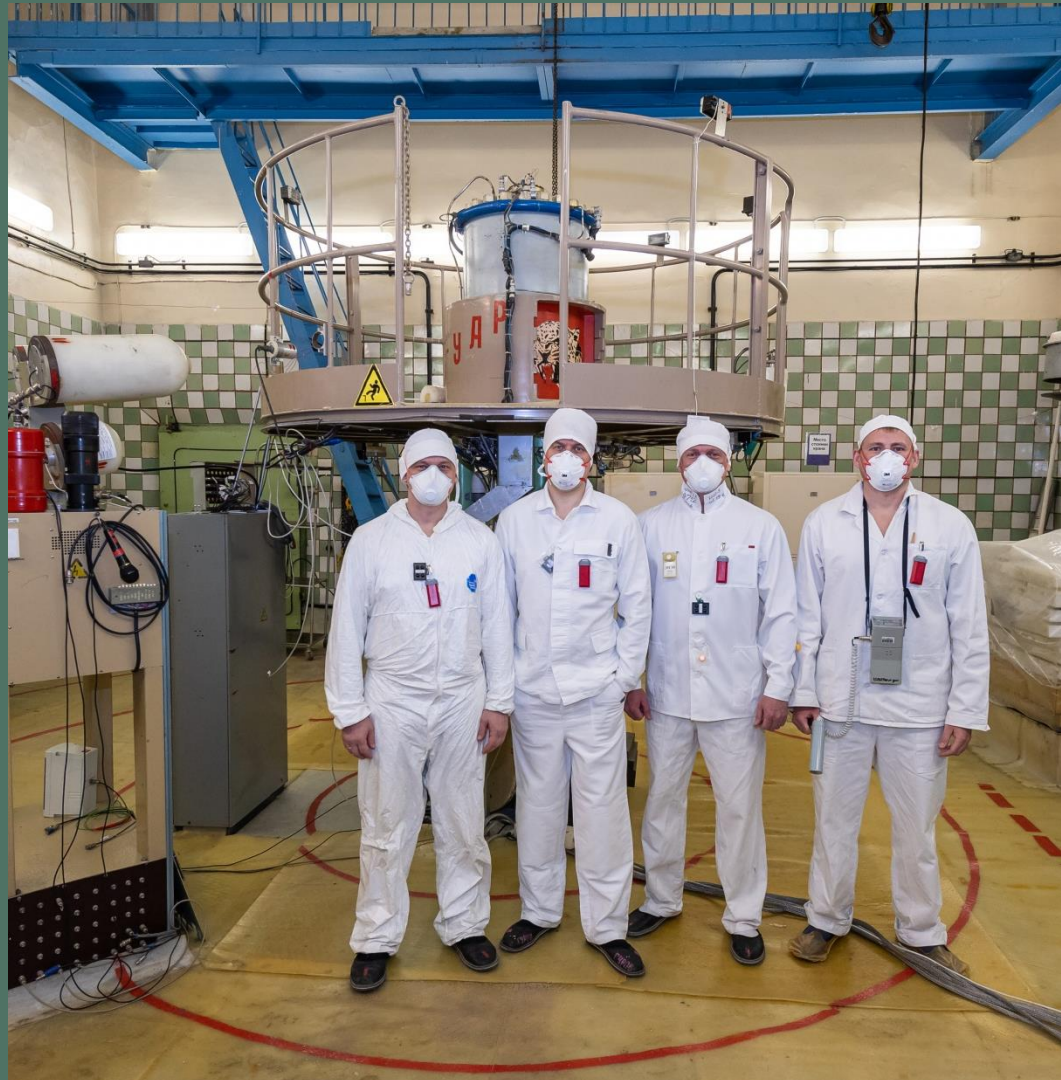
Ø100 мм
(сквозная)

$N_{\max}$

20 кВт

$\langle E_n \rangle$

0,9 МэВ

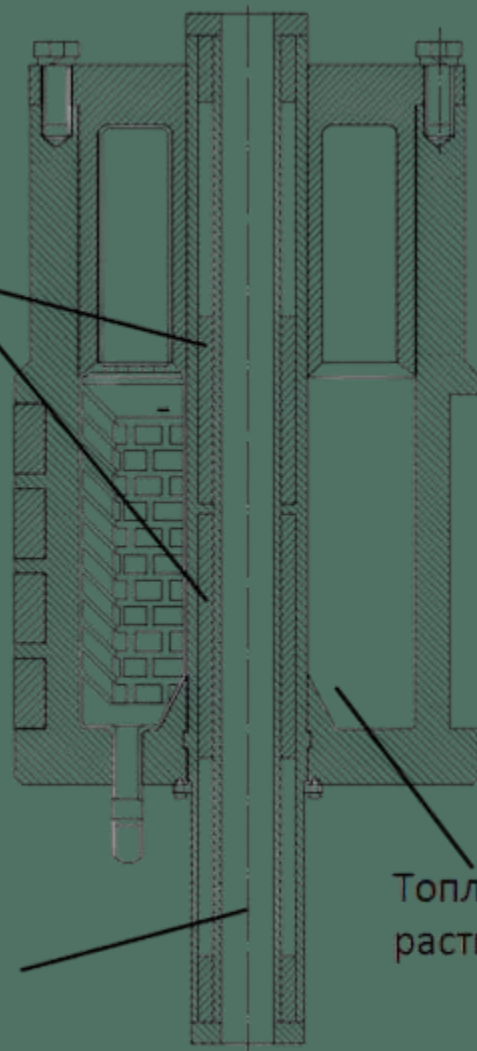


ЯГУАР

Импульсные
стержни

канал

Топливный
раствор



ИГРИК-2

$Y_{\max}$

130 МДж

$t_{1/2 \min}$

2200 мкс

$\Phi_{\max}$

$2 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$



Ø390 мм
(сквозная)

$N_{\max}$

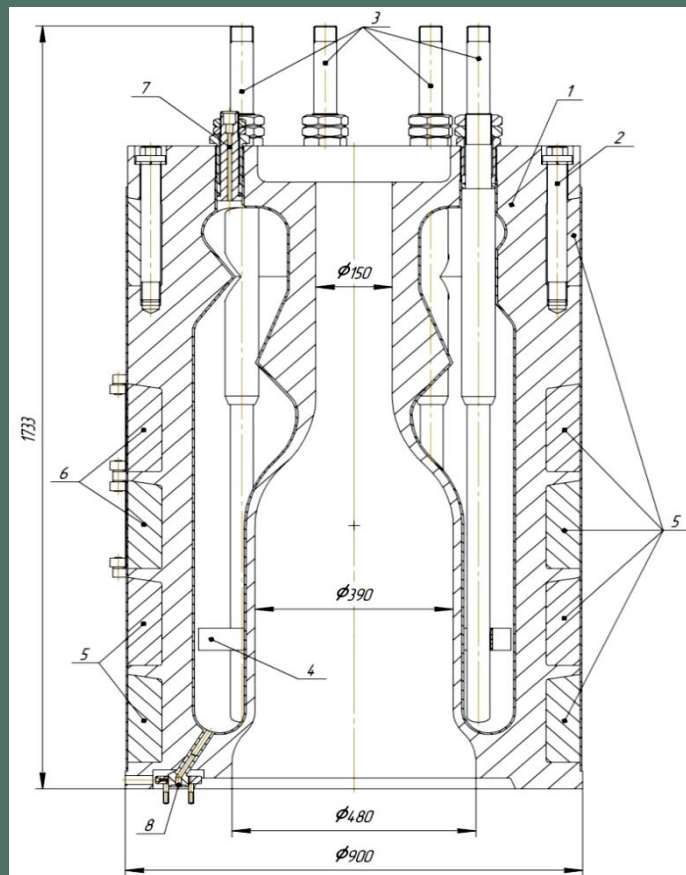
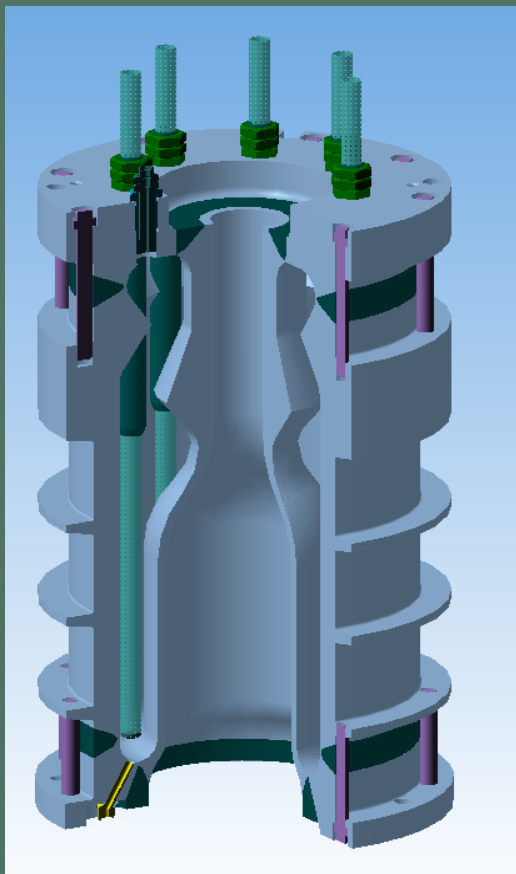
40 кВт

$\langle E_n \rangle$

0,7 МэВ



ИГРИК-2



Рейтинг качества ИЯР по В.Ф. Колесову

$$K = \Phi V / t_{1/2}$$

ЯГУАР



0,5

ВИР-2М



0,5

БАРС-5М



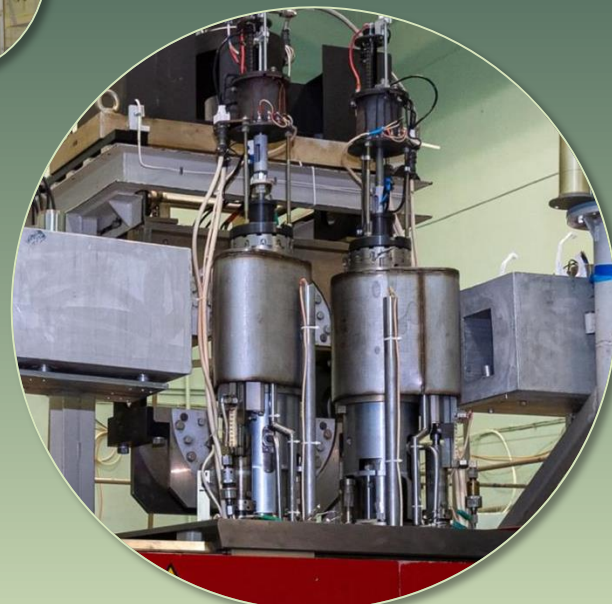
0,9

БИГР



2,4

БАРС-5М+РУН-2



24,5

БР-1М



2,5

ИГРИК-2



5,4

БР-К1М



6,8

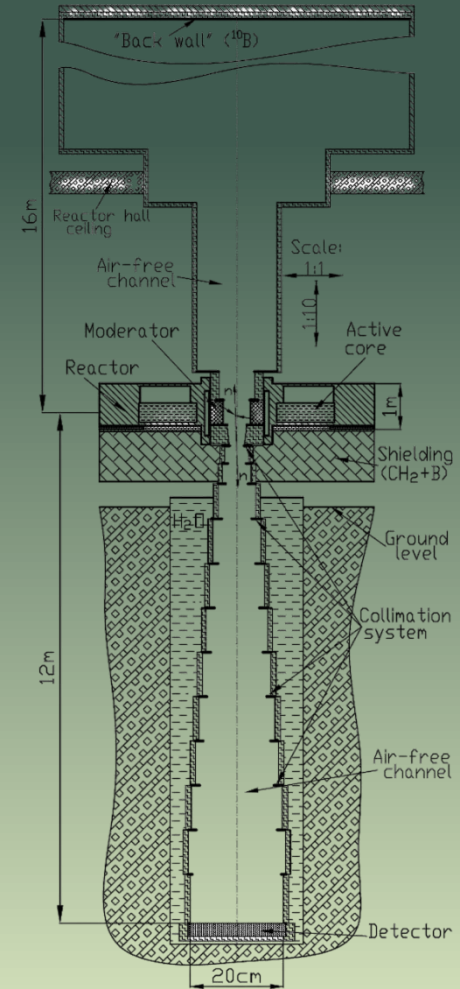
Уникальные опыты

ЯГУАР. Проблема симметрии зарядовых сил [14-16]

$$a_{nn} = a_{pp}?$$

$$\sigma_{nn} = \pi(a_{nn})^2$$

$$N_D = v_{\text{rel}} \frac{\Phi_{\text{av}}^2}{v_0^2} \sigma_{nn} \Delta T V \Omega_{\text{eff}}$$

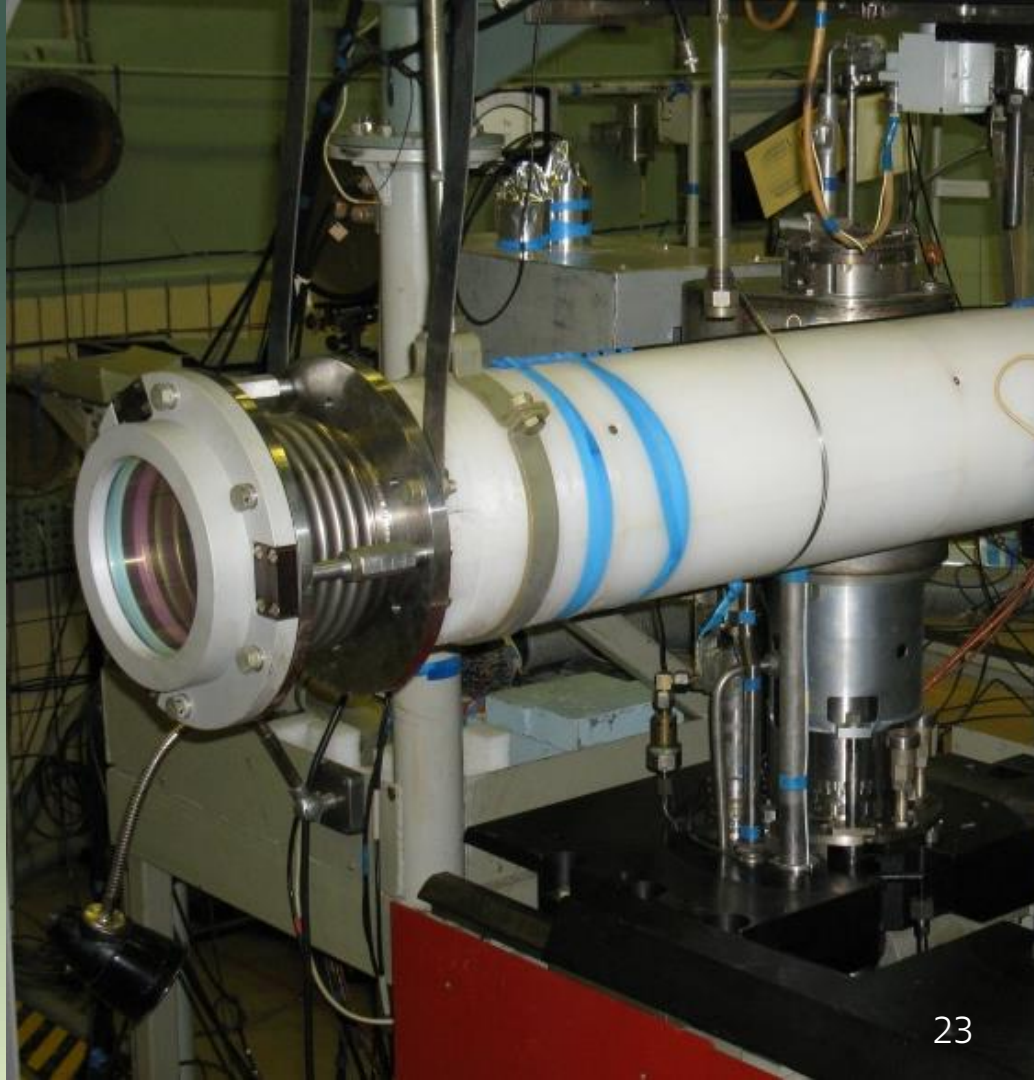


ЭБР-БАРС. Ядерная накачка [13]

Генерация в УФ (N)

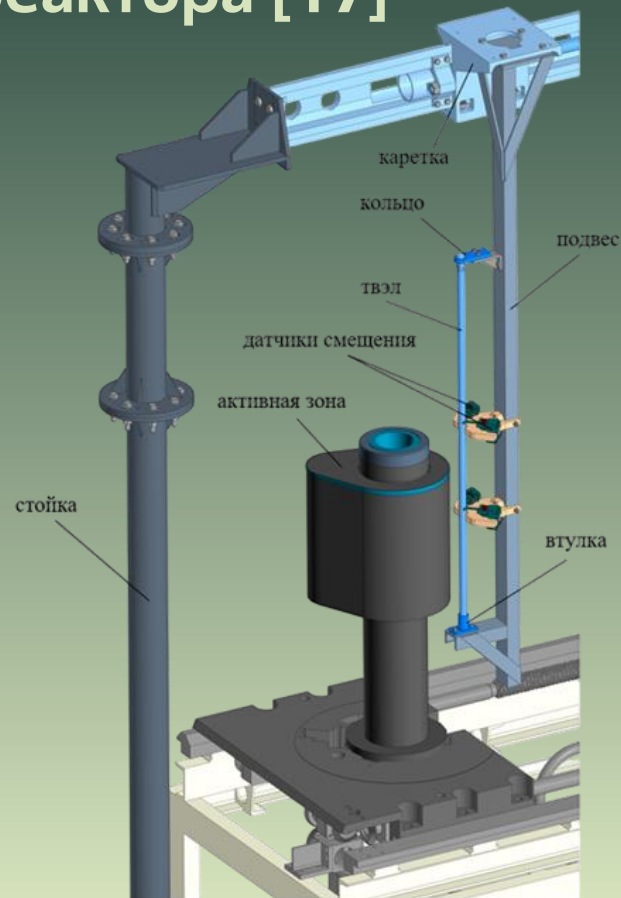
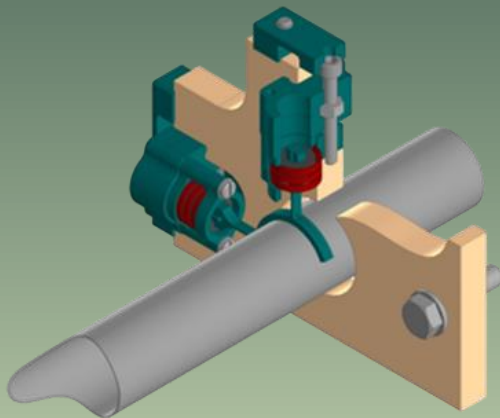
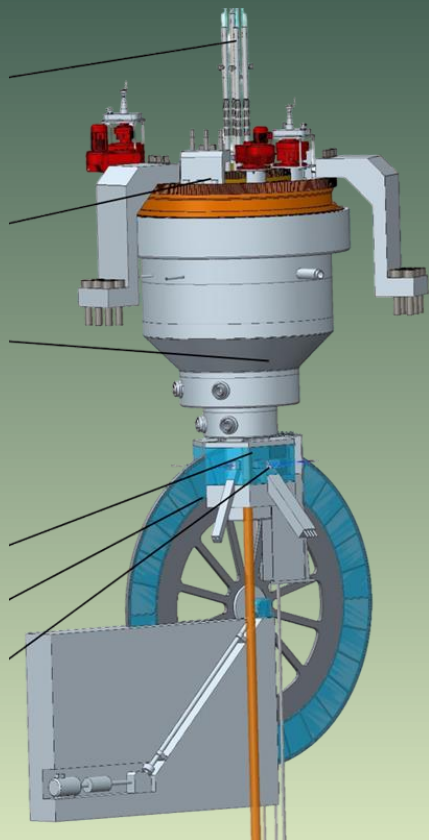
Цикл исследований ЛЯН с
инертными газами (Ar, Xe)
при плотности накачки > 1
Дж/см³

Рекордная энергия
излучения 520 Дж за
импульс, пиковая
мощность 1,3 МВт

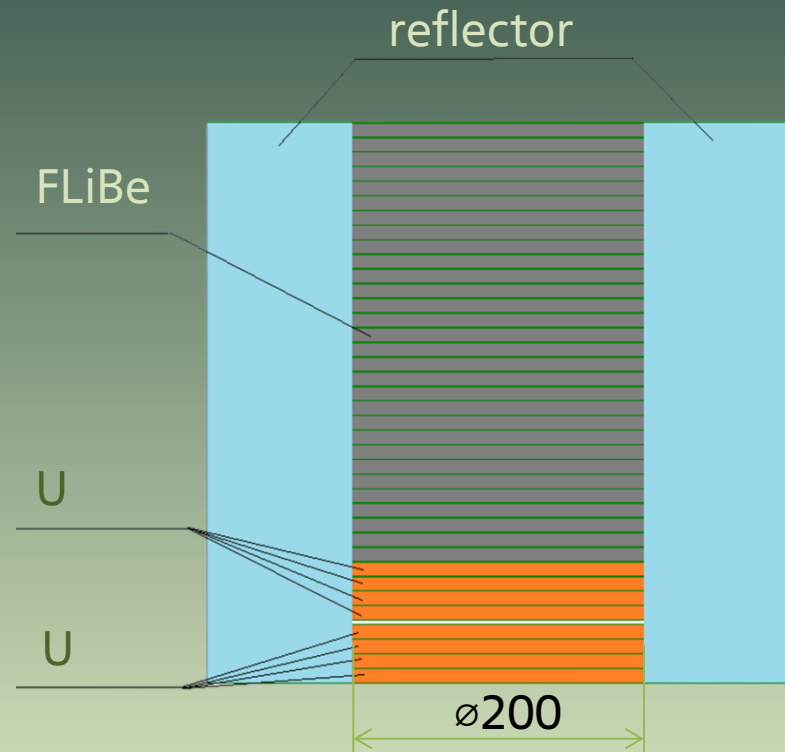
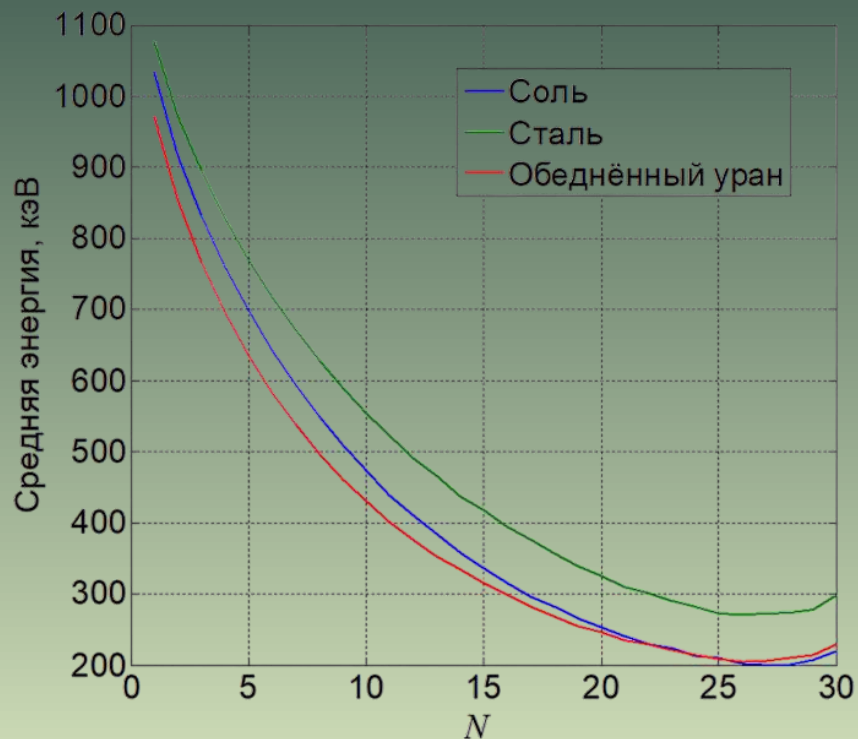


Новые возможности

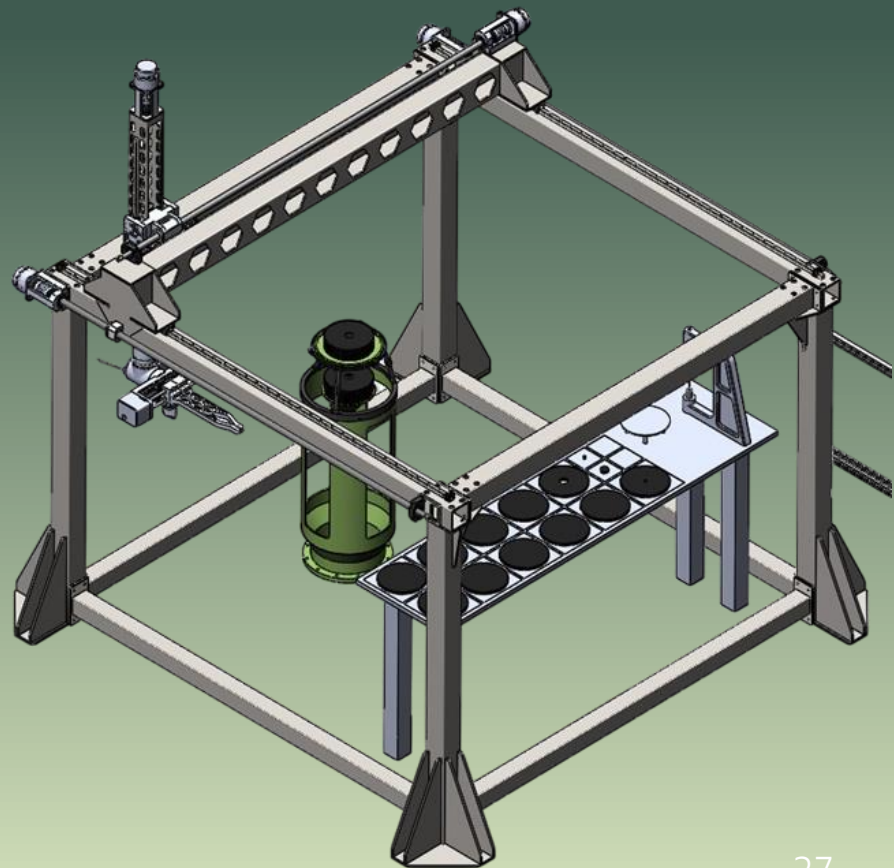
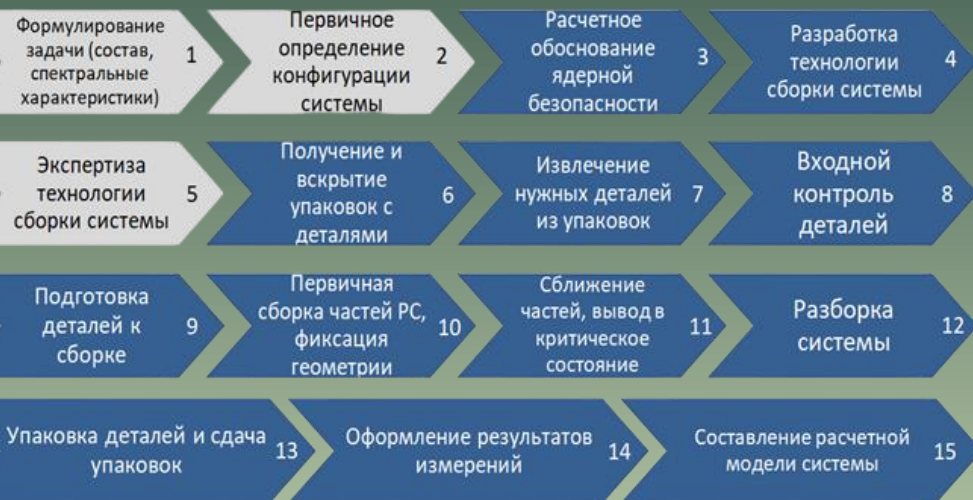
БАРС-НЕПТУН. Решение проблемы колебательной неустойчивости пульсирующего реактора [17]



ФКБН-ИЖСР. Критические, корреляционные и спектральные измерения [18]



Роботизация и цифровизация на ИЯУ



Перспективы использования

1. Моделирование аварийных режимов в быстрых реакторах (для ЗЯТЦ, ЖСР).
2. Моделирование колебательных эффектов реактивности для обоснования проектируемого реактора НЕПТУН.
3. Исследования и разработка компактных энергетических транспортабельных реакторов малой мощности (~100 кВт) для освоения Арктики и космоса.
4. Разработка органов управления реактивностью и приводов СУЗ для быстрых реакторов (с ЗЯТЦ) и для жидко-солевых реакторов (ЖСР).
5. Исследование свойств реакторных материалов при импульсном нейтронном разогреве.
6. Испытания на радиационную стойкость радиоэлектронной аппаратуры проектируемых реакторов.

Заключение

1. РФЯЦ-ВНИИТФ является одним из основных разработчиков и пользователей импульсных ядерных реакторов и компактных критических стенов.
2. РФЯЦ-ВНИИТФ может использовать ИЯУ в рамках «гражданской тематики»:
 - критический стенд ФКБН-2 для верификации нейтронно-физических кодов при расчетах перспективных РУ.
 - импульсные реакторы для прикладных задач ядерной энергетики и задач фундаментальной нейтронной и ядерной физики.
3. НИО-5 развивает роботизацию и цифровизацию на ИЯУ.

Литература

1. Андреев С.А., Лукин А.В., Соколов Ю.А., Кузинская А.А. К 60-летию создания первого аperiodического импульсного ядерного реактора в России. Атомная энергия, т.136, вып.1-2, 2024, с. 12-18.
2. Андреев В.В. и др. К истории создания и развития импульсных ядерных реакторов ЭЛИР, ИГРИК, ЯГУАР. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. 2014, вып.3, с.11-17.
3. Андреев С.А. и др. К истории создания и развития импульсных ядерных реакторов типа БАРС. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. 2014, вып.3, с.3-10.
4. Андреев С.А., Лукин А.В., Соколов Ю.А. К истории создания и развития импульсных ядерных реакторов типа ЭБР. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. 2014, вып.3, с.18-23.
5. Манаков А.А. и др. Результаты исследований характеристик реактора ЯГУАР после модернизации. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. 2018, вып.4, с.78-83.
6. Манаков А.А. и др. Результаты физического пуска исследовательской ядерной установки ИГРИК-2 в стационарном режиме. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. 2018. вып.4, с. 62-68.
7. Андреев С.А. и др. Сборка активной зоны растворного импульсного реактора ИГРИК-2. Атомная энергия, т.134, вып. 5-6, 2023, с. 211 – 216.
8. Снопков А.А. и др. Сравнение возможностей "БАРС-5", "ТИРАН" с однозонными реакторами типа "БАРС". Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. 2018. № 4. С. 108-115.
9. Эверт М.Ю. и др. Модернизация системы управления и защиты импульсного реактора БАРС-5М. Вопросы Атомной Науки и Техники. Серия: Физика ядерных реакторов, 2019, вып. 4, с. 120-125.
10. Соколов Ю.А. Развитие технологии критмассовых экспериментов РФЯЦ-ВНИИТФ. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. – 2018, № 4, с.129-139.
11. Колесов В.Ф. Аperiodические импульсные реакторы. Монография. В 2 т. Изд. 2-е, перераб. и доп. Саров, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2007.

Литература

12. Будников Д.В., Воронцов С.В., Глушков С.Л. и др. Ядерные и электрофизические установки РФЯЦ-ВНИИЭФ.: настоящее и будущее. Вопросы атомной науки и техники. Серия: физика ядерных реакторов. 2021, вып.4, с. 5-25.
13. Загидулин А.В. и др. 500-джоульный лазер с ядерной накачкой. Письма в ЖТФ. — 2012. — Т. 38. — Вып. 23. — С. 31—39.
14. Mitchell G.E. et al. Direct nn-Scattering Measurement With the Pulsed Reactor YAGUAR. J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 110, 225-230 (2005).
15. Muzychka A.Yu et al. Background determination for the neutron-neutron scattering experiment at the reactor YAGUAR. Nuclear Physics A, 789 (2007), pp. 30-45.
16. Кандиев Я.З. и др. Обоснование методики эксперимента по измерению сечения нейтрон-нейтронного рассеяния на реакторе ЯГУАР. Журнал «Известия Челябинского научного центра», вып.4 (38), 2007, с.19-25.
17. Хмельницкий Д.В. и др. Обоснование постановки экспериментов по исследованию динамического изгиба твэла пульсирующего реактора НЕПТУН. Принята к публикации в Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. 2024, вып.3.
18. Андреев С.А. и др. О постановке экспериментов на стенде ФКБН-2 для верификации расчетных методик ИЖСР. Принята к публикации в Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. 2024, вып.3.
19. Андреев С.А., Касьянов С.Ю. Перспективы роботизации и цифровизации экспериментов на компактных критических стендах. Атомная энергия, т.135, вып.1-2, 2023, с. 21-27.