

К ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ ТИПА БАРС

С. А. Андреев, В. И. Литвин, А. А. Снопков, В. И. Черашев

РФЯЦ-ВНИИТФ, 456770, г. Снежинск Челябинской обл.

В статье дается краткий обзор истории импульсных ядерных реакторов типа БАРС.

Ключевые слова: импульсный реактор, активная зона, отражатель.

THE HISTORY OF CREATION AND DEVELOPMENT PULSED NUCLEAR REACTORS OF BARS TYPE / S. A. ANDREEV, V. I. LITVIN, A. A. SNOPKOV, V. I. CHERASHEV // The paper gives a brief review of the history of pulsed nuclear reactors of BARS type.

Key words: pulsed reactor, core, reflector.

Начало истории создания и развития импульсных реакторов самогасящего действия (ИРСД) в физическом секторе следует датировать сентябрем 1960 года. В это время Ю. А. Зысин, только что назначенный на должность начальника физического сектора – заместителя научного руководителя института, в целях обеспечения исследований радиационной стойкости РЭА лабораторными источниками гамма- и нейтронного излучений предложил создать импульсный реактор самогасящего действия с металлической активной зоной (АЗ), аналогичной АЗ американского реактора GODIVA-II. Руководителем этой работы был назначен И. С. Погребов.

На основе сделанных предложений в течение короткого времени был подготовлен проект на ИРСД с металлической активной зоной. Этот проект, представленный Ю. А. Зысиным на научно-техническом совете министерства, проходившем в ноябре 1960 года в институте под председательством министра Е. П. Славского, одобрили, и работы по созданию импульсного реактора начались.

Выбор импульсного реактора с металлической АЗ из высокообогащенного урана был неслучайным. Только установки подобного типа могли обеспечить высокий темп ввода энергии в исследуемый образец при высоком флюенсе нейтронов ($\sim 10^{14}$ см⁻²), что позволяло в наилучшей степени имитировать условия облучения исследуемых объектов при ядерном взрыве. По этой причине

импульсные реакторы с металлическими АЗ, названные впоследствии БАРС (Быстрый аperiodический реактор самогасящийся), в дальнейшем создавались и совершенствовались.

Ю. А. Романов, начальник теоретического сектора института, подключил к этой работе молодых физиков-теоретиков. В. И. Мужичкий и В. С. Любимов рассчитывали критические параметры, кинетику и динамику реактора БАРС-1. Созданная в конструкторском отделе физического сектора группа под руководством С. В. Хлебцева по техническим заданиям, составленным И. С. Погребовым, разрабатывала конструкторскую документацию на отдельные механизмы реакторов и установки в целом. Основу этой группы составляли Ф. П. Крупин, А. И. Ушакова, Н. А. Киселев, В. И. Бирюков, Т. Н. Филатова и другие.

Группы для создания и эксплуатации реакторов комплектовались в основном из молодых специалистов. Первыми пришли в группу БАРС-1 и составили костяк будущей лаборатории М. Г. Попов, А. А. Снопков, Ю. В. Ласьков, А. А. Чеботарев, Г. А. Горновой, Б. Г. Леваков.

В то время потребность в радиационных исследованиях была крайне велика, а необходимых установок не было. Поэтому все сотрудники прилагали максимум усилий, чтобы как можно скорее завершить создание ИРСД и ввести его в эксплуатацию. Было принято решение, не дожидаясь

строительства специализированных зданий, временно установить реактор в небольшом деревянном строении в густом лесу, а управление реактором осуществлять из деревянного здания, расположенного в 250 метрах от него.

В процессе разработки реактора БАРС-1 был решен ряд проблем, обусловленных необходимостью создания надежно работающей и безопасной установки с максимально возможными параметрами гамма- и нейтронного излучений. Вот основные из них: совместно с сотрудниками ВНИИНМ им. А. А. Бочвара (г. Москва) выбран высокопрочный сплав урана с массовой долей молибдена 3 % и разработана технология изготовления деталей АЗ; разработана технология нанесения на детали АЗ трехслойных никель-медно-никелевых покрытий, стойких к термическим циклам с максимальной температурой до 400 °С, позднее предельная для таких покрытий температура была повышена до 700 °С (разработчики И. Л. Пряхин и А. М. Зудихин); разработаны и изготовлены оригинальные малогабаритные пневматические механизмы для перемещения регулирующих элементов реактора; созданы системы управления и защиты реактора, инициирования импульса, измерения параметров импульса (А. А. Снопков, М. Г. Попов и А. А. Чеботарев); разработан метод измерений температурных деформаций в деталях АЗ, возникших во время импульса делений, что позволило уверенно эксплуатировать реактор на предельных параметрах (Б. Г. Леваков, позднее эту работу продолжил В. П. Кошмяков).

Экспертиза эскизного проекта БАРС-1 осуществлялась специалистами нескольких институтов страны. Проект был представлен И. С. Погребовым 9 марта 1962 года на научно-техническом совете министерства, проходившем под председательством первого заместителя министра А. И. Чурина. На нем были одобрены конструкция реактора и план его экспериментальных исследований.

В январе 1964 года реактор БАРС-1 был изготовлен и предъявлен комиссии по физическому пуску, председателем которой был Ю. А. Романов, а заместителем – Г. П. Ломинский, тогда главный инженер института.

В феврале 1964 года БАРС-1 впервые был выведен в состояние критичности на запаздывающих нейтронах и начались его исследования в статическом режиме. 28 апреля 1964 года, в канун Первомайского праздника, был получен первый импульс с выходом $\sim 2 \cdot 10^{16}$ делений. БАРС-1 был рассчитан на полный выход до $\sim 10^{17}$ делений за импульс при

минимальной полуширине импульса, равной примерно 44 мкс.

К августу 1964 года все рекомендации комиссии по физическому пуску были выполнены, а программа исследований параметров реактора и характеристик гамма-нейтронного излучения завершена. В августе 1964 года начальником Главного управления министерства Н. И. Павловым был утвержден акт по вводу БАРС-1 в постоянную эксплуатацию. На рис. 1 и 2 показаны схема и внешний вид реактора БАРС-1.

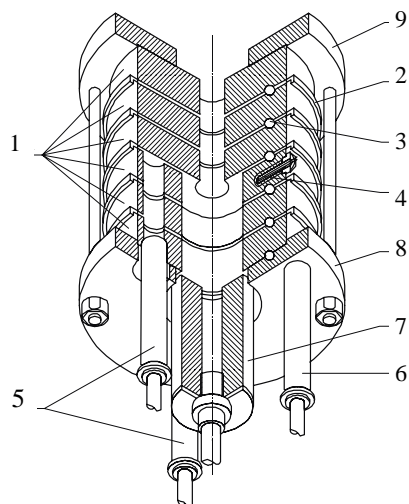


Рис. 1. Активная зона БАРС-1: 1 – диски (уран-молибденовый сплав); 2 – прокладки (латунь); 3 – шарик-фиксатор; 4 – термопара; 5 – стоп-стержень и стержень тонкой регулировки; 6 – импульсный стержень; 7 – блок безопасности; 8, 9 – фланцы (сталь)

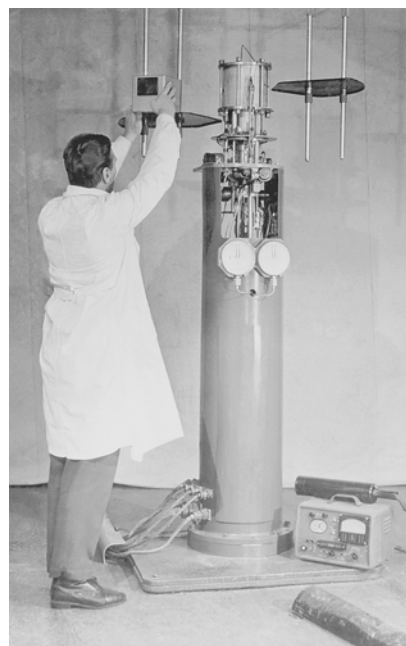


Рис. 2. Реактор БАРС-1. Справа и слева от АЗ видны полочки для установки облучаемых образцов

Коллектив лаборатории БАРС (с 1970 года эту лабораторию возглавлял А. А. Снопков), в состав которой вошли Н. В. Горин, В. П. Кошмяков, В. Н. Марков и другие, работал над созданием новых, более совершенных импульсных реакторов с АЗ из металлического высокообогащенного урана, БАРС-2 и БАРС-3.

Реактор БАРС-1 после генерирования на нем 235 импульсов и около 100 пусков в статическом режиме на мощности до 3 кВт в конце 1966 года был передан в Центральный физико-технический институт МО (г. Сергиев Посад). Конструкция БАРС-1 оказалась настолько удачной, что до последнего времени он исправно там работал. На нем получено более 1000 импульсов с выходом $\sim 0,7 \cdot 10^{17}$ делений и проведены сотни пусков в статическом режиме на мощности до 3 кВт.

Усовершенствованный по сравнению с БАРС-1 реактор БАРС-2 был введен в эксплуатацию в начале 1969 года. После генерирования 166 импульсов в декабре 1970 года он был передан в только что созданный Межведомственный центр радиационных испытаний (г. Лыткарино).

Реактор БАРС-3 был запущен в 1972 году в специализированных зданиях. При его создании был учтен опыт эксплуатации установок БАРС-1 и БАРС-2, в результате чего конструкция активной зоны БАРС-3, оставшись в целом типичной для реакторов БАРС, была усовершенствована. Топливные кольца были изготовлены из сплава урана с массовой долей молибдена 9 %, более стойкого к повышенным температурам в условиях переменных нагрузок. По предложению В. П. Кошмякова, детали АЗ собирались на центральной опорной трубе. Диаметр центрального канала БАРС-3 был равен 6 см, как у БАРС-2. Создание более рациональной конструкции АЗ позволило несколько увеличить начальную реактивность реактора БАРС-3 при генерировании максимального импульса делений. Это, а также повышенная масса активных деталей в АЗ, привело к увеличению флюенсов нейтронов в центральном канале и вблизи боковой поверхности без существенного изменения длительности импульса по сравнению с импульсами, генерируемыми на БАРС-1. Стенд реактора был установлен на самоходную тележку, что позволило откатывать его после импульса за противорадиационную защиту. Это, а также оснащение реактора механизмом дистанционной загрузки облучаемых образцов в центральный канал, существенно снизило дозовые нагрузки на персонал и исследователей. Были автоматизированы процессы получения импульсов и определения их параметров.

Исключительно важным вопросом при облучении исследуемых объектов на реакторе с металлической АЗ являются прогнозирование и получение импульсов делений с заданными по условиям облучательного эксперимента параметрами. Поскольку облучаемые образцы оказывают сильное влияние как на эффективность регулирующих элементов, так и на нейтронно-физические характеристики реактора, рациональное решение этой задачи представлялось в то время довольно сложным. С целью решения этой проблемы была создана методика одиночного нейтронного импульса (МОНИ), с помощью которой параметры импульсов делений (число делений, полуширина) можно было прогнозировать с точностью ± 5 % практически для любой геометрии опыта. Был также автоматизирован процесс управления установкой. Позднее эта методика использовалась для прогнозирования параметров импульсов делений в следующих реакторах типа БАРС.

Работы по облучению образцов, имеющих интенсивные внутренние источники нейтронов (более 10^5 с⁻¹), начатые еще в 1969 году на БАРС-2, были продолжены на реакторе БАРС-3. Был разработан и введен в эксплуатацию так называемый быстрый импульсный режим с опережающим иницированием. Использование этого режима позволяло уверенно получать любые импульсы, вплоть до максимально допустимых, в системах с сильным источником нейтронов. При генерировании импульсов в этом режиме перевод реактора в надкритическое на мгновенных нейтронах состояние осуществлялся блоком безопасности с помощью пневматического привода. Блок безопасности начинал свое движение, когда система АЗ + образец находилась в глубоко подкритическом состоянии (с коэффициентом умножения нейтронов независимого источника, равным ~ 7), скорость ввода избыточной реактивности вблизи мгновенной критичности достигала $\sim 80 \beta_{эф}/с$. После формирования быстропеременной части импульса блок безопасности отскакивал от буртика трубы, который являлся его верхним упором. Быстрый его вылет из АЗ приводил к уменьшению числа делений в «хвосте» импульса.

Дальнейшим шагом в решении проблемы радиационных испытаний протяженных объектов в относительно однородных полях нейтронов явились исследования в области физики связанных импульсных реакторов, начатые в РФЯЦ-ВНИИТФ в начале 1970-х годов по инициативе И. С. Погребова. В 1972 году началась разработка двухзонных реакторов БАРС-4 и БАРС-5. Первый

реактор предназначался для Межведомственного центра радиационных испытаний (г. Лыткарино), второй – для РФЯЦ-ВНИИТФ.

Весь цикл работ по созданию сложных в техническом отношении двухзонных импульсных реакторов БАРС-4 и БАРС-5 проводился сотрудниками лаборатории Н. В. Гориним, В. П. Кошмяковым, В. Н. Марковым, А. А. Чеботаревым под руководством А. А. Снопкова с привлечением специалистов других подразделений института. Конструкции механизмов и узлов реактора были разработаны А. И. Ушаковой, В. И. Васильевым, А. П. Кислицыным и Т. Н. Филатовой под руководством Ф. П. Крупина. Отработка и доводка механизмов реакторов, обеспечивавших установку регулирующих элементов с точностью до 0,01 мм, осуществлялась механиками Ф. И. Антоновым и С. Н. Бродягиным.

Для увеличения энерговыделения за импульс при одновременном уменьшении его длительности конструкции активных зон БАРС-4 и БАРС-5 были существенно модернизированы по сравнению с БАРС-3. Для исключения концентраторов напряжений все регулирующие элементы были вынесены за пределы АЗ, а урановые кольца сделаны сплошными. Функции стержня тонкой регулировки (СТР) и стоп-стержня (СС) были объединены в одном регулирующем элементе – самом нижнем кольце АЗ, которое можно было перемещать вверх (с помощью механического привода) и сбрасывать вниз (с помощью пневматического привода) из любого положения. После небольшого периода эксплуатации БАРС-5 этот регулирующий элемент был разрезан на два кольца, внутреннее и внешнее, примерно одинаковой ширины, с независимыми приводами. В одном из них были сосредоточены функции СТР, а в другом – функции СС. Импульсный стержень из меди был расположен у боковой поверхности АЗ.

Все детали АЗ были защищены антикоррозионными покрытиями. На детали, работающие в наиболее напряженных условиях с максимальными температурами, И. Л. Пряхиным с сотрудниками были нанесены гальваническим методом никель-медно-никелевое покрытие. Остальные детали были защищены алюминиевым покрытием, нанесенным методом ионной бомбардировки. Эта работа была выполнена В. И. Никитиным и его сотрудниками.

Расчеты критмассовых и других нейтронно-физических характеристик реакторов БАРС-4 и БАРС-5 проводились в лаборатории методов Монте-Карло научно-теоретического отделения по

программам КЛАН и ПРИЗМА-Д с системой нейтронных констант БАС. Подавляющую часть нейтронно-физических расчетов для всех реакторных установок РФЯЦ-ВНИИТФ выполнили сотрудники Я. З. Кандиев, А. Г. Михалькова, А. И. Орлов и другие по техническим заданиям, составленным сотрудниками физического сектора.

Первая сборка активных зон реакторов БАРС-4 и БАРС-5 (а также и всех остальных ИРСД с АЗ из металлического урана) и критмассовые эксперименты с ними проводились на стенде ФКБН-М В. Д. Пережоговым, Ю. А. Соколовым и В. А. Терехиным с сотрудниками.

Система управления и защиты БАРС-4 и БАРС-5, реализующая «жесткую» логику, была разработана Н. В. Гориним, В. Н. Марковым, А. А. Снопковым и А. А. Чеботаревым в сотрудничестве с радиоинженерами В. А. Мосуновым и А. М. Моисеевым. Она отработывалась на макете установки и монтировалась лаборантами Ю. В. Ласковым, В. Ф. Матерухиным, Б. Ф. Крестьяниновым и Г. Д. Солдатовым. В. Л. Сорокиным с сотрудниками была разработана первая автоматизированная система регистрации временной формы нейтронного импульса. В дальнейшем системы реактора БАРС-5 непрерывно совершенствовались: Г. А. Горновым, В. И. Черашевым, В. А. Захаровым и Н. А. Щербаковой модернизировалась система контроля мощности реактора; В. А. Захаровым разработана новая, более простая система регистрации параметров импульсов делений; В. В. Зюковым разработана схема программы заглушения реактора и система измерения температуры деталей АЗ.

Проектные параметры БАРС-5 были получены в 1985 году при проведении физического пуска. Уже после ввода реактора в эксплуатацию было проведено еще несколько физических пусков для реализации новых, более безопасных способов управления установкой. Физические пуски БАРС-5 в разное время проводились под руководством А. А. Малинкина, А. С. Кошелева и М. И. Кувшинова (сотрудники РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров). Во время физических пусков большое внимание уделялось исследованию динамики двухзонного реактора. Для этого В. П. Кошмяковым, Л. В. Крутовой и В. И. Черашевым были проведены измерения напряженно-деформированного состояния наиболее нагруженных деталей АЗ во время импульсов делений. Позднее Н. В. Гориним, С. В. Садовской и В. Н. Марковым была создана математическая модель кинетики БАРС-5, пригодная для прогнозирования параметров импульсов делений (параметры этой модели подбирались по экспери-

ментальным значениям характеристик реактора и параметров импульсов делений).

Был разработан и введен в эксплуатацию способ генерирования импульсов делений в двухзонном реакторе с помощью двух импульсных стержней в режиме «Ожидание с принудительным иницированием». Позднее на двухзонном реакторе БАРС-5 Н. В. Гориным и А. А. Снопковым был разработан и введен в эксплуатацию более безопасный быстрый импульсный режим «с мощности», основанный на регулировании реактивности с помощью изменения нейтронной связи между зонами. Этому способствовало наличие свободного пространства между зонами с высоким нейтронным потоком, в котором и был установлен регулятор нейтронной связи. Практически сразу же было найдено аналогичное техническое решение, позволившее реализовать этот режим и на однозонном импульсном реакторе. С помощью движения регулятора реактивности небольшой массы и небольшой эффективности ($\sim 2 \beta_{эф}$) с относительно небольшой скоростью (~ 6 м/с) удалось достичь значительной скорости ввода реактивности, $\sim 300 \beta_{эф}/с$. Реализация режима «с мощности» позволила значительно повысить безопасность эксплуатации установки БАРС-5, исключив возможность гипотетических аварий взрывного типа с большим энерговыделением.

Реактор БАРС-4 был запущен в Межведомственном центре радиационных испытаний (г. Лыткарино) в 1980 году. БАРС-5 после первого физического пуска был введен в эксплуатацию в РФЯЦ-ВНИИТФ в 1986 году. На рис. 3 и 4 приведены фотографии реактора БАРС-5 и схема его активных зон в основной и дополнительной конфигурациях.

На базе реактора БАРС-5 В. И. Литвиным совместно с сотрудниками лаборатории (А. Л. Подъезжих, М. М. Чернухиной, Л. В. Крутовой, Д. В. Зайцевым) и сотрудниками ГНМЦ ВНИИФТРИ (Е. И. Григорьевым, Н. Б. Гилевым) было разработано метрологическое обеспечение измерений характеристик полей нейтронного излучения ядерно-физических установок РФЯЦ-ВНИИТФ и создан комплекс эталонных средств измерений, обеспечивающий все исследования и испытания по нейтронной стойкости объектов и радиоэлектронной аппаратуры на указанных установках. В состав этих средств измерений входят:

- опорное поле нейтронов ОП-3;
- образцовый источник нейтронов ОИ-Р-16;
- измерительный радиометрический комплекс ИКЭ-П-2;
- бета-радиометрическая установка ОСУ-П-9.



Рис. 3. Двухзонный импульсный реактор БАРС-5. Расстояние между центрами АЗ составляет 150 см, минимальное – 37 см (зазор между АЗ «в свету» равен 10 см)

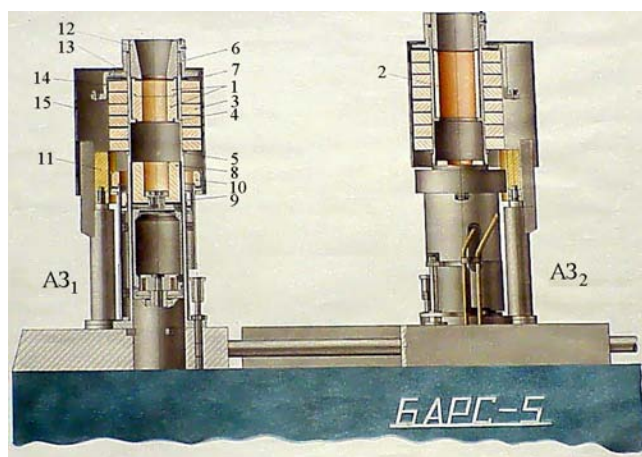


Рис. 4. Активные зоны БАРС-5 в осевом сечении: (АЗ₁ – основной вариант, $\varnothing_{зк} = 60$ мм; АЗ₂ – дополнительный вариант, $\varnothing_{зк} = 90$ мм): 1 – вкладыши (малый, большой); 2 – втулка; 3 – диски; 4 – труба; 5 – опорное кольцо; 6 – фланец; 7 – тарельчатые пружины; 8 – блок безопасности; 9 – стоп-стержень; 10 – стержень тонкой регулировки; 11 – импульсный стержень (медь); 12 – гайка; 13 – пружина; 14 – упор ИС с нейтронным источником; 15 – экран, бор-10, 80%-ное обогащение по массе

Успешному созданию двухзонных реакторов способствовали расчетно-теоретические работы по физике связанных импульсных реакторов, выполненные В. Ф. Колесовым (РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров) и А. В. Лукиным, а также экспериментальные исследования особенностей связанной двухзонной системы ЭБР-200М + РУС, проведенные Э. П. Магдой во второй половине 1970-х годов. А. В. Лукиным были обобщены экспериментальные результаты, введены критерии «сильной» и «слабой» нейтронной связи и установлены гра-

ницы применимости однотоочечной модели кинетики при описании связанных реакторных систем, исследованы зависимости параметров импульсов делений от характеристик связанных реакторов.

Исследование потенциально возможных аварийных режимов работы реактора БАРС-5 выполнили Н. В. Птицына, В. И. Мужижкий, А. В. Андрияш и сотрудник РФЯЦ-ВНИИЭФ (г. Саров) С. В. Петрин.

Для дальнейшего расширения возможностей реактора БАРС-5 по облучению протяженных блоков РЭА и образцов из делящихся материалов А. В. Лукин в конце 1987 года предложил оснастить установку БАРС-5 реакторным умножителем нейтронов (РУН) и рассчитал его основные нейтронно-физические характеристики. Такое устройство являлось бы подкритической сборкой с коэффициентом умножения, соответствующим требуемому по условиям облучательного эксперимента флюенсу нейтронов. Здесь же следует отметить, что возможность совместной работы импульсного реактора БАРС-1 и подкритической сборки с большой полостью для облучаемых образцов рассматривалась М. Г. Поповым еще во второй половине 1960 годов. Однако реактор БАРС-1 не мог работать с большим вкладом в реактивность от образцов, и эти идеи в то время не были развиты и не получили практической реализации.

Это направление работ было одобрено главным конструктором РФЯЦ-ВНИИТФ Б. В. Литвиновым, и в короткий срок по техническому заданию, составленному А. А. Снопковым и В. П. Кошмяковым, был сконструирован и изготовлен РУН-1. Его подкритичность регулировалась при сборке АЗ, а величина эффективного коэффициента размножения нейтронов не превышала 0,9. При выполнении этого условия допускалась ручная сборка РУН-1 и не требовалось оснащать его регулирующими элементами. Эскизный проект РУН-1 был разработан А. А. Снопковым, В. П. Кошмяковым и В. И. Черашевым, а конструкторская документация – группой сотрудников конструкторского бюро Б. В. Литвинова под руководством А. А. Соколова.

РУН-1 состоял из стальной цилиндрической матрицы с большим центральным каналом для облучаемых образцов. В обеих половинах этой матрицы в два ряда выполнены отверстия-гнезда, в которых находились активные элементы из металлического высокообогащенного урана. Подкритичность РУН-1 определялась числом активных элементов, установленных в гнезда матрицы, и зазором между составляющими ее стальными

полуцилиндрами. В цилиндрической полости РУН-1 (в составе комплекса БАРС-5 + РУН-1) диаметром 25 см и длиной 22 см достигался флюенс нейтронов до $3 \cdot 10^{14} \text{ мс}^{-2}$ (с неоднородностью не хуже $\pm 15\%$) при полуширине импульса 90 мкс. В феврале 1991 года был завершен физический пуск облучательного комплекса БАРС-5 + РУН-1 и началась его интенсивная эксплуатация.

Схемы АЗ РУН-1 и его установки у АЗ БАРС-5 показаны на рис. 5 и 6 соответственно.

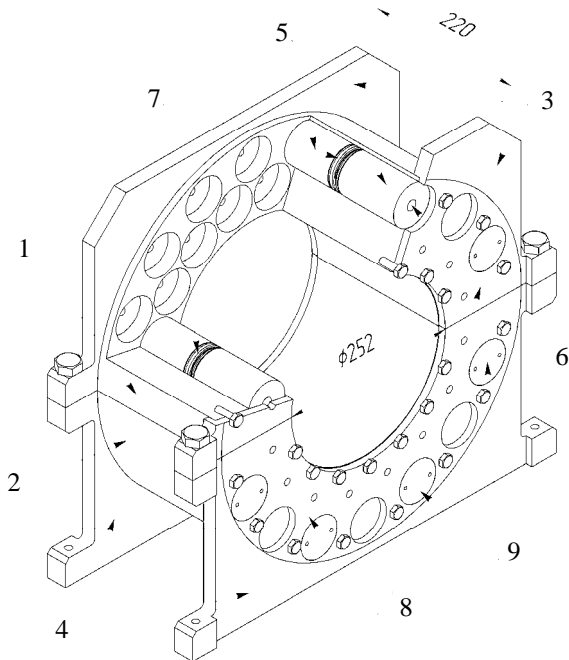


Рис. 5. Реакторный умножитель нейтронов РУН-1: 1 – верхняя половина цилиндра (матрица); 2 – нижняя половина цилиндра (матрица); 3 – верхняя крышка; 4 – нижняя крышка; 5 – стержни из ^{235}U , 14 пар – наружный ряд, 16 пар – внутренний ряд; 6 – толкатели; 7 – тарельчатые пружины; 8 – листовой кадмий; 9 – пробки

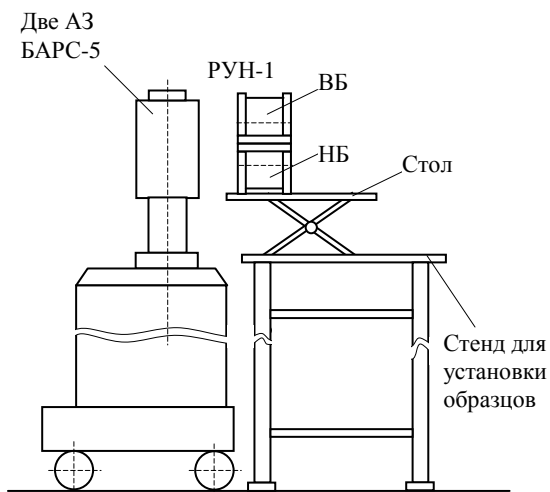


Рис. 6. Реакторный умножитель нейтронов РУН-1, схема установки у АЗ БАРС-5

Позднее был создан и введен в эксплуатацию в июне 1994 года трехзонный реакторный комплекс БАРС-5 + РУН-2. РУН-2 с образцом – это известная подкритическая система с $Q > 10$, которая в автономном режиме дистанционно выводится на коэффициент умножения $Q \leq 125$, а при совместной работе с реактором БАРС-5 эта подкритическая система является одним из компонентов трехзонной системы, связанной в нейтронном отношении.

Отличие РУН-2 от РУН-1 состоит в следующем: в РУН-2 добавлены стержни из ДМ, а нижний блок РУН-1 преобразован в орган регулирования реактивностью, который с помощью механизмов стенда и СУЗ РУН-2 может дистанционно передвигаться в горизонтальном и вертикальном направлениях. СУЗ реактора БАРС-5 была модернизирована с целью адаптации с СУЗ РУН-2 для управления трехзонной системой в целом.

Конструкторская документация на стенд и механизмы РУН-2 была выполнена В. И. Васильевым и Ю. Г. Гарасем. Особенностью этой разработки было применение маломощного шагового двигателя, обеспечивающего перемещение достаточно тяжелого (массой ~300 кг) нижнего блока РУН-2 с требуемой точностью. Конструкция РУН-2 дорабатывалась С. Н. Кондраниным и П. А. Гуровым. Внешний вид реактора-умножителя показан на рис. 7, а фотография комплекса БАРС-5 + РУН-2 приведена на рис. 8.

Анализ фактических характеристик трехзонной системы БАРС-5 + РУН-2 показал, что АЗ РУН-2 «ведет» себя как равноправный компонент этой системы, а при больших коэффициентах умножения может являться даже «ведущим» по энерговыделению. Поэтому умножитель РУН-2 был переименован в реактор-умножитель, а комплекс БАРС-5 + РУН-2 – в трехзонный импульсный реактор аperiодический с нейтронной связью между АЗ (ТИРАН).

В течение последних лет проделана большая работа по реализации на многозонных реакторах БАРС-5, ТИРАН новых возможностей, которых нет у однозонных импульсных реакторов.

Начальником лаборатории В. И. Черашевым разработан способ управления многозонной системой в режиме «с мощности» путем ввода избыточной реактивности в одну активную зону, что позволило получать вспышки делений с одной и той же полушириной, но с разным энерговыделением и наоборот, а созданная им математическая модель применяется для прогнозирования параметров импульсов делений в связанной системе с разными начальными мощностями в АЗ и разными временами жизни мгновенных нейтронов.

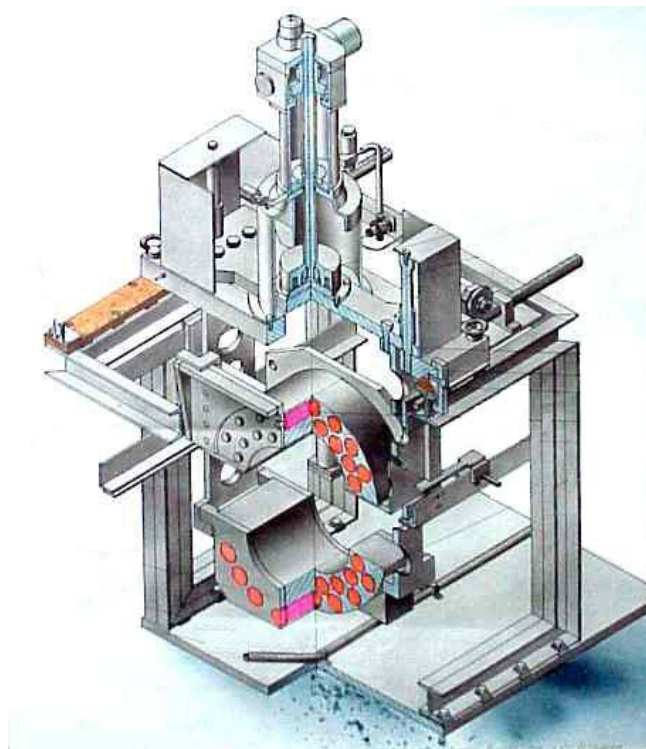


Рис. 7. РУН-2. Видны механизмы вертикального и горизонтального перемещения, удерживающий электромагнит, верхний и нижний блоки активной зоны



Рис. 8. Комплекс БАРС-5 + РУН-2 (ТИРАН)

Под руководством С. А. Андреева сотрудниками группы эксплуатации реактора ТИРАН (В. В. Зюковым, Ю. В. Осеевым, А. Е. Запысовым) создан аппаратный комплекс АСКиУ «ТИРАН», который обладает предельными техническими характеристиками: высоким быстродействием, широким динамическим диапазоном, минимальной погрешностью измерений, обеспечивает регистрацию и определение параметров реактора в масштабе реального времени и в необходимом объеме.

С помощью комплекса АСКиУ «ТИРАН» исследована динамика реактора ТИРАН при работе с крупногабаритными объектами.

Показано, что при работе с замедлителями нейтронов совместно с ДМ уменьшается обратная связь реактора по реактивности, и система может долгое время находиться в районе критичности на мгновенных нейтронах.

Таким образом, история создания и совершенствования реакторов типа БАРС показала, что выбранный путь дал возможность в значительной степени преодолеть противоречивые требования, предъявляемые к ИРСД как лабораторным источникам нейтронов, моделирующим излучение ядерного взрыва (получение высоких однородных флюенсов нейтронов в больших объемах при минимальных, менее 100 мкс, длительностях импульсов). Двухзонный импульсный реактор БАРС-5 и трехзонный реактор ТИРАН удовлетворяют практически всем требованиям исследователей по радиационной стойкости РЭА и образцов из делящихся материалов. Это уникальные установки с рекордными параметрами импульсов делений.

Список литературы

1. Леваков Б. Г., Лукин А. В., Магда Э. П., Погребов И. С., Снопков А. А., Терехин В. А. Импульсные ядерные реакторы РФЯЦ-ВНИИТФ / Под ред. А. В. Лукина. – Снежинск: Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2002.

2. Снопков А. А., Черашев В. И., Кошмяков В. П., Литвин В. И. Нейтронно-физические характеристики трехзонного импульсного реактора ТИРАН // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. 2001. Вып. 2/3. С. 23–32.

Контактная информация –

Снопков Альберт Александрович,
главный научный сотрудник НТО-5
РФЯЦ-ВНИИТФ,
тел. (35146) 51154

Статья поступила в редакцию 11.07.2014.

Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 2014, вып. 3, с. 3–10.