

# Ядерно-физические установки ИЯРФ: 70 лет развития, этапы большого пути

С. В. ВОРОНЦОВ, А. А. ДЕВЯТКИН

## Историческая справка

Первым, документально зафиксированным упоминанием необходимости создания импульсных ядерных реакторов (ИЯР) надо считать письмо Ю. Б. Харитона (в адрес Б. Л. Ванникова) от 11.01.1946 г. В письме говорится об обязательном строительстве в организуемом тогда КБ-11 «павильона для опытов с мощным нейтронным источником от цепной реакции...». Позже, в декабре 1948 г. (как принятие идеи Ю.Б.), в протоколе совещания, проведенного в КБ-11 И. В. Курчатовым и Б. Л. Ванниковым, записано: «В результате дальнейшего обсуждения экспериментальных задач и имеющихся методов их решения была признана крайне желательной постройка в КБ-11 двух малых котлов без съема энергии для получения мощных потоков нейтронов деления (один котел с раствором солей Z в воде, второй котел – на металлическом Z)». В приведенной цитате «котел» означает «реактор», а «Z» – «плутоний-239». В названных «котлах» нетрудно разглядеть будущие реакторы типа ВИР и БИР.

А документально обозначенным моментом старта – началом истории критмассовых и модельных экспериментов, разработок и исследований в области ИЯР надо считать Постановление СМ СССР № 117 от 08.02.1948 г., которым предписывалось: «Определить величину критической массы заправки тяжелого топлива (плутония-239), отработать из тяжелого топлива заправку для РДС-1 к 01.02.1949...».

Понятно, что в КБ-11 к этому времени уже были проведены исследования, создававшие основу, позволяющую (с разумной степенью риска) принимать такое Постановление.

## Критмассовые эксперименты и стенды

В октябре 1947 г. в КБ-11 создается лаборатория критмассовых измерений (руководитель – Г. Н. Флеров). Первой задачей лаборатории было изучение процессов взаимодействия быстрых нейтронов с ядрами тяжелых элементов и деления ядер. Эти работы были связаны с подготовкой, обеспечением и осуществлением экспериментов по определению ядерно-физических

констант делящихся материалов, используемых в атомных зарядах, и с проведением критмассовых измерений.

Работы на критическом стенде предполагают экспериментальные измерения зависимости коэффициента умножения размножающей сборки (РС) от расстояния между верхней и нижней частями РС. В экспериментах надо реализовать максимально близкий подход к критическому состоянию, что должно обеспечить точность последующей экстраполяции.

Первый критмассовый эксперимент с плутониевой активной зоной (АЗ) в урановом отражателе был проведен Г. Н. Флеровым, Ю. С. Замятниным и др. в Кыштыме. По меткому определению И. В. Курчатова в так называемой «египетской технике», использованной на уральском комбинате для прогнозирования критмассы плутония и послужившей прообразом для создания «ФиКоБыНа» (физического котла на быстрых нейтронах), при сближении частей РС применялась ручная лебедка.

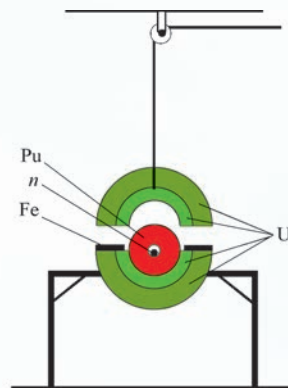


Схема первого критмассового эксперимента, 1949 г.

По экспериментальным данным, полученным командой Г. Н. Флерова, группа теоретиков, возглавляемая Я. Б. Зельдовичем, рассчитала массу плутония, необходимого для обеспечения заданных параметров ядерного взрыва. По результатам этих расчетов на комбинате был изготовлен заряд, принятый 5 августа 1949 г. комиссией Ю. Б. Харитона и отправленный в КБ-11, где в ночь с 10-го на 11-е августа была проведена сборка изделия для испытаний.

В мае 1952 г., лаборатория критмассовых измерений (уже под руководством В. Ю. Гаврилова) вошла в состав специально созданного физического сектора, начальником которого был назначен В. А. Давиденко.

Критмассовые исследования в лаборатории вели В. А. Давиденко, Д. П. Ширшов, Ю. А. Зысин, Ю. С. Замятнин и др. Постепенно формировались группы сотрудников, работавшие по более узким направлениям: методики измерений, определение ядерно-физических констант, лабораторные экспериментальные устройства и стенды, контроль безопасности.

Развитие работ сопровождалось структурными преобразованиями по объединению групп специалистов. Начальниками лаборатории после В. Ю. Гаврилова (1952–1953 гг.) были В. А. Давиденко (1953–1956 гг.) и Б. Д. Сциборский (1956–1964 гг.). В 1964 г. лаборатория была преобразована в отдел под руководством Б. Д. Сциборского с тремя лабораториями (начальники лабораторий: А. А. Малинкин, А. М. Воинов, Б. Д. Сциборский). Затем отделом руководили А. М. Воинов (1969–1990 гг.), совмещающая должность начальника отдела с должностью заместителя начальника сектора, и с 1990 г. – И. Г. Смирнов, позже, с 1998 г., ставший начальником отделения прикладной ядерной физики и ядерных установок.

Эксплуатацией «ФиКоБыНа» руководил И. А. Курилов – один из первых сотрудников лаборатории Г. Н. Флерова, основавший позднее дозиметрическую службу ВНИИЭФ.

А. М. Воинов так оценивал структурные преобразования: «По существу, с марта 1950 г. должен вести отчет своей деятельности нейтронно-физический отдел нашего института, а последующая реорганизация 1952 г. только поменяла расстановку сил».

Все работы по сборке размножающих систем всегда проводились вручную. Основная роль выбора безопасного алгоритма сборки РС принадлежала Б. Д. Сциборскому, А. А. Малинкину и А. М. Воинову.

Все годы, от момента появления первого стенда критических сборок (СКС – ФКБН), кон-



*Первое производственное здание реакторной площадки («павильон» – потом «корпус Б»), в котором в помещении казематного типа с мощной биологической защитой – железобетонными стенами и потолком толщиной до 2 м – размещалась первая ЯФ установка – «ФиКоБыН»*

струкция стендов постоянно совершенствовалась и модернизировалась. Основная цель модернизации – повышение безопасности работ.

Первый стенд вступил в строй в 1950 г.

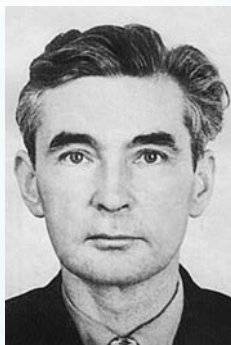
Здесь же потом размещался ФКБН-1 (1955 г.), в котором уже использовался электро-механический подъемник, аварийная защита осуществлялась в результате отключения питания электромагнита и падения стола с нижней частью РС под действием силы тяжести.

В создании первых СКС от конструкторского отдела принимали участие В. М. Ферапонтов, Н. К. Плехов, Н. П. Герасимова и др.

В 1955 г. под руководством А. М. Воинова и Ю. В. Стрельникова в быстро возведенной металлической пристройке началось изготовление двух новых лабораторных физических установок. Ю. В. Стрельников и М. И. Кувшинов руководили изготовлением нейтронного генератора НГ-14. А. М. Воинову поручили создание облегченного варианта критстенда – МСКС (малый стенд критических сборок); основные участники работы – А. С. Матвеевко, С. Ф. Мельников, позднее – А. С. Кошелев и В. Ф. Гуцин.



И. А. Курилов



Б. Д. Сциборский



А. М. Воинов



А. А. Малинкин



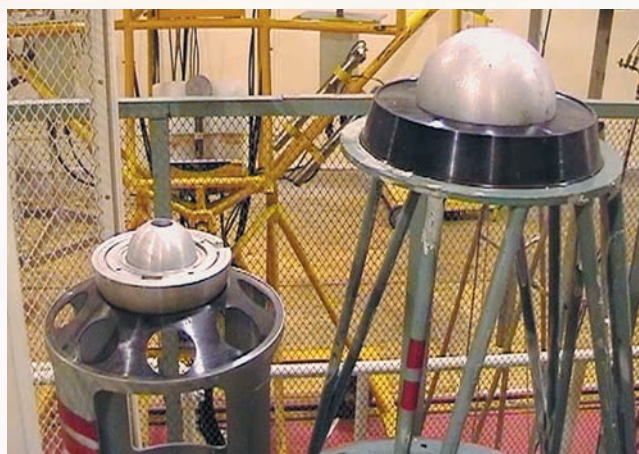
И. Г. Смирнов

Установки МСКС и НГ-14 предназначались для изучения динамических процессов, происходящих в РС в первую очередь при работах, связанных с проверочными нейтронно-физическими измерениями на новых «изделиях» перед их отправкой на полигон для испытания. Установки были построены в последней трети 1950-х гг.

Пульты управления новыми установками были размещены в том же не очень большом помещении (35 м<sup>2</sup>), где находился пульт управления ФКБН-1. Была очевидна недостаточность площади помещений отдела. Поэтому в середине 1950-х гг. по инициативе начальника сектора В. А. Давиденко, поддержанной Ю. Б. Харитоновым, развернулось грандиозное строительство так называемого «Физгородка» – площадки, расположенной рядом с городской застройкой. В 1961 г. на ее территории вошло в строй новое здание для реакторного отдела. Здание проектировалось для размещения в нем двух новых задуманных в то время установок: критстенда ФКБН-2 (в комплексе с нейтронной трубкой НГ-14) и первого растворного импульсного реактора ВИР.

Вновь построенный стенд ФКБН-2 (1963 г.) разместили в реакторном зале восточного крыла здания. В процессе физпуска стало ясно, что железобетонная биологическая защита здания не обеспечивает необходимые требования (из-за борьбы с «архитектурными излишествами» проектная земляная обваловка не была выполнена). Поэтому было решено построить для ФКБН-2 специальное здание на удаленной площадке, подальше от города.

Для повышения безопасности работ по ручной сборке РС в конструкцию стенда ФКБН-2

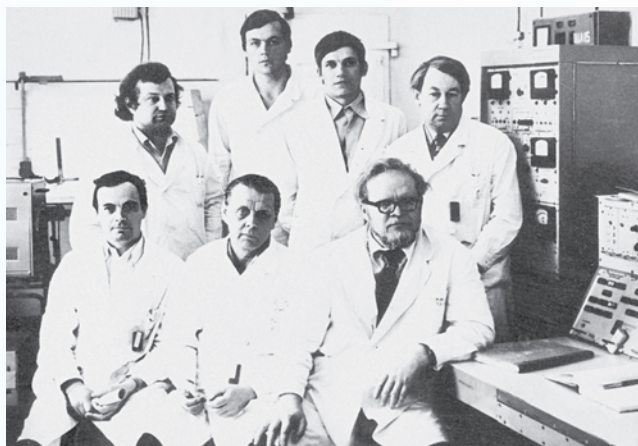


РС на стенде ФКБН-2М, нижняя и верхняя части РС в законченной сборке, но разнесены в стороны

было введено разнесение нижней и верхней частей РС в горизонтальном направлении на 1 м. Они сводились дистанционно после сборки и удаления персонала из помещения. Также была введена регулирующая пробка для плавной регулировки реактивности вблизи критического состояния.

Планы по созданию новых установок требовали существенного увеличения производственных площадей. К 1963 г. на удаленной площадке было построено три новых двухэтажных здания, каждое из которых по площади вдвое превышало корпус Б.

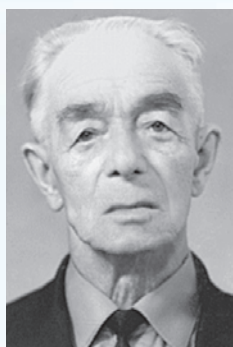
В одном из новых зданий, в конечном итоге, разместился ФКБН-2. В начале 1970-х гг. была проведена его модернизация в части системы управления и защиты (СУЗ) и конструкции механизма подъема стола, в которую были введены две независимые системы аварийного сброса.



Группа ФКБН-2, 1974 г. Сидят: В. Е. Запольский, В. Г. Вершинин, А. А. Безруков; стоят: А. Г. Василенко, В. М. Ивин, А. Н. Захаров, В. П. Егоров



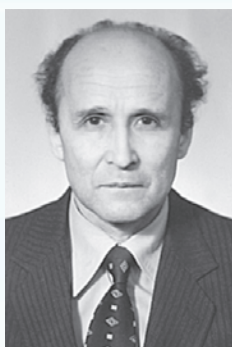
Группа ФКБН-2М, 1998 г. А. А. Петров, О. В. Оловянный, А. В. Панин, А. В. Баранов (ДК), П. С. Мельников, Д. П. Пешехонов, В. П. Егоров



И. Н. Шлейников



А. У. Мельков



Г. С. Прохоров



А. Н. Дегтярев



Ю. П. Демин

После модернизации стенд был введен в эксплуатацию в 1976 г. под названием ФКБН-2М.

Строительство новых зданий, укрепление экспериментальной базы, рост хозяйственных забот – объективные причины (посылки) введения должности заместителя начальника отдела по техническим вопросам. Им стал А. У. Мельков, работавший ранее технологом в экспериментальном цехе сектора, в 1964 г. на эту должность назначен Г. С. Прохоров – тоже бывший технолог, руководитель технологической группы на заводе. С 1975 по 1991 г. заместителем начальника отдела работал А. Н. Дегтярев. С 1991 г. заместителем начальника отдела, а затем заместителем начальника отделения по инженерно-техническим вопросам стал Ю. П. Демин. В ряду помощников начальника отдела надо вспомнить И. Н. Шлейникова, добросовестного, с высоким чувством ответственности человека, участника трех войн (гражданской, финской и Великой отечественной), который с 1956 г. занимался вопросами обеспечения жизнедеятельности отдела.

Руководство проведением критических экспериментов во ВНИИЭФ

всегда поручалось наиболее опытным и ответственным специалистам – «ответственным руководителям работ». «Ответственных руководителей работ» на установках ФКБН было не много. За всю 70-летнюю историю систематически ручную сборку РС выполняли (в хронологической последовательности): Д. П. Ширшов, Б. Д. Сциборский, А. А. Малинкин, А. М. Воинов, М. И. Кувшинов, Ю. В. Стрельников,



Экспериментальный зал СКС ФКБН-3. Физический пуск ФКБН-3, ноябрь 2014 г.



М. И. Кувшинов



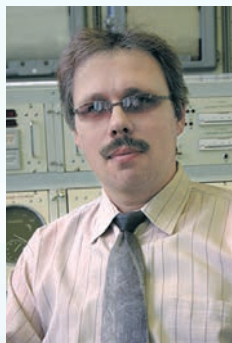
В. Н. Богданов



А. А. Девяткин



А. А. Кайгородов



А. М. Пичугин



*В. П. Егоров*

В. П. Егоров, А. Н. Захаров, В. Н. Богданов, Д. П. Пешехонов, А. А. Девяткин, А. А. Кайгородов, А. М. Пичугин.

За прошедшее время на СКС были изучены параметры ~1200 различных РС, в том числе моделей АЗ создаваемых импульсных ядерных реакторов.

В 2015 г. в эксплуатацию введен СКС ФКБН-3.

На стенде на порядок (по сравнению со старым стендом) повышена точность позиционирования частей РС.

Срок эксплуатации ФКБН-3 – 20 лет, поэтому данная установка позволяет реализовать все намеченные на среднесрочную перспективу планы исследований.

### **Первые импульсные ядерные реакторы, история развития**

История практического создания реакторов во ВНИИЭФ началась с запуска в 1956 г. установки ВР-1 – реактора бассейнового типа, работающего на статической мощности. Построен по инициативе И. В. Курчатова для освобождения ФКБН-1 от облучательных экспериментов.

Рядом с корпусом «Б» довольно быстро был собран деревянный «финский домик», в котором и развернулось (1955 г.) строительство нового реактора под руководством приглашенного И. В. Курчатовым из Кыштыма опытного инженера – участника создания первого промышленного реактора в СССР – Н. А. Протопопова. Вы-

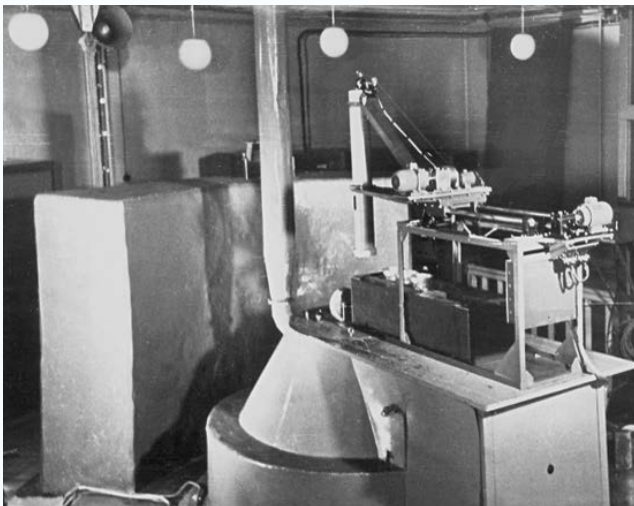
бор оказался удачным, и менее чем за 2 года под его руководством был разработан проект, создан и сдан в эксплуатацию реактор ВР-1. Реактор дал хорошую практику работы многим специалистам реакторного отдела.

В 1950–1960-х гг. стала активно обсуждаться идея создания физических установок с неизменной по составу активной зоной (АЗ), которые можно было бы использовать для проведения части испытаний «изделий» и их элементов в лабораторных условиях, без дорогостоящих выездов на полигоны. Первой реализованной установкой стал водный импульсный реактор ВИР.

ИЯР на водных растворах солей урана обладают рядом достоинств. В них используется малое количество (до 10 кг) делящегося материала, растворное топливо обладает сильно выраженными свойствами саморегулирования. Кроме того, они надежны в эксплуатации и наиболее безопасны.

А. М. Воинов вспоминал: «В 1963 г. на опытный завод передали заказ на изготовление корпуса для первого реактора с активной зоной из водного раствора урана (ВИР-1). Заказ для заводчан был необычный и они не спешили с его выполнением. Ю. Б. Харитон очень интересовался этим реактором, и, узнав, что завод работает без энтузиазма, отправился в цех без предупреждения, взяв меня с собой. Естественно, туда же явилось и заводское начальство, которое на вопрос Ю.Б., где тут корпус растворного реактора, ответить не смогло. Скромный технолог показал на проточенную внутри поковку, стоящую на деревянной подставке в углу. Юлий Борисович сунул внутрь руку, повозил ею по стенкам, вынул грязную, в масле и пыли, и произнес следующую речь: "Вот в Германии на заводе Цейса оптику протирают стиранным батистом, чтобы не повредить поверхность. В этом реакторе внутренняя поверхность должна быть обработана лучше, чем у Цейса оптика". И мы ушли. На следующий день меня вызвали в цех, где на станке крутилась болванка, а рядом лежала куча стиранного батиста...».

Под руководством А. М. Воинова ВИР-1 был введен в эксплуатацию в 1965 г., проработал 424 дня, выдал 126 импульсов и был остановлен из-за появившейся течи в корпусе. При изготовлении нового корпуса АЗ была не только исправлена ошибка в его первоначальной конструкции, но и появилось важное нововведение – сравнительно большой (диаметр 134 мм) полусферический канал (ПСК) в боковой стенке корпуса. Это значительно расширило возможно-



*Реакторный зал ВР-1*



*В. М. Кульгавчук за пультом управления ВИР-1*

сти проведения облучательных опытов. На модернизированном реакторе (ВИР-1М) сгенерировано 1028 импульсов.

Практически одновременно под руководством Б. Д. Сциборского вступил в строй первый во ВНИИЭФ ИЯР с металлической активной зоной – БИР-1. Это реактор на быстрых нейтронах с компактной АЗ, с жестким спектром и малым временем жизни нейтронов, коротким импульсом, высокой удельной мощностью и интенсивностью излучений в импульсе.

Методы расчета кинетики и динамики быстрых импульсных реакторов разработал В. Ф. Колесов, он же провел весьма полные теоретические исследования таких реакторов, в том числе конкретной конструкции реактора БИР.

Проработав более 3-х лет и выдав около 400 импульсов, реактор БИР-1 был модернизирован (стал БИР-2), переведен в специально по-

строенное здание с улучшенной биологической защитой и санпропускником. После очередной модернизации с заменой системы управления и защиты реактор (уже под именем БИР-2М) продолжал эксплуатироваться до 2006 г. Всего на нем генерировано около 4000 пусков.

К 25-летию деятельности реакторного отдела, как в едином мощном потоке, уже выделялись три основных могучих течения, которые, неразрывно переплетаясь, давали возможность усиливаться то одному, то другому из них. Это:

- критмассовые измерения и критические стенды;

- исследовательские импульсные реакторы, особенно растворные реакторы, реактор с разрушающейся активной зоной;

- лазеры с ядерной накачкой, реактор-лазер.

В приветственной речи к началу юбилейного семинара реакторного отдела А. М. Воинов говорил: «Круг современных научных представлений имеет четко ограниченные рамки, связанные с предшествующей научной практикой человечества. Понимание закономерности поведения вещества в состоянии мощного энергетического возбуждения находится пока за этими рамками. То, что отдел обладает уникальными инструментами для исследования этих закономерностей, дает нам возможность стать пионерами в новой области науки, если найдутся энтузиасты». Примером такой области науки стали исследования лазеров. Энтузиасты тоже не заставили себя ждать, и прежде всего сам А. М. Воинов.

### **Лазеры с ядерной накачкой**

Во ВНИИЭФ исследования по созданию лазеров, возбуждаемых за счет энергии ядерных реакций, так называемых «лазеров с ядерной накачкой» (ЛЯН), (инициатор, идейный руководитель и организатор – А. М. Воинов) начали активно развиваться в конце 1960-х гг.

Исследования по использованию импульсных реакторов для прямого преобразования энергии деления ядер в оптическое проводились на реакторах ВИР-1М, ТИБР, а потом и на других ИЯР. Новизна и интерес к работе увлекали специалистов.

Благодаря наличию во ВНИИЭФ уникального парка установок, на которых проводились эксперименты, благодаря постоянному вниманию к работе со стороны руко-



*Участники семинара, посвященного 25-летию реакторного отдела: А. С. Кошелев, Л. В. Юрьев, Ю. В. Стрельников, В. Г. Вершинин, В. Ф. Колесов, А. Г. Гордеев, В. А. Давиденко, Б. Д. Сциборский, А. М. Воинов, Н. Н. Неводничий, А. А. Малинkin, Г. С. Прохоров, В. П. Егоров, И. И. Игнатов. 1977 г., Арзамас-16*



Часть сотрудников лаборатории, занимавшейся проблемой ЛЯН. Сидят: Т. А. Боголюбова, В. Е. Выровский, Т. В. Немудрова, А. М. Воинов, Т. А. Кузьменкова; стоят: В. Н. Данилов, В. А. Панов, Л. М. Павловская, С. П. Мельников, Л. Е. Довбыш, А. А. Синянский, Б. Л. Лебедев, А. Д. Добринских, А. И. Кузнецов, В. Н. Чукрин, В. М. Кульгавчук

водства и, наверное, самое главное, благодаря прекрасной рабочей обстановке в коллективе и энтузиазму молодых ученых, результаты исследований ВНИИЭФ (судя по открытым публикациям) на несколько лет опережали результаты коллег-конкурентов из США. Многие годы исследований и оценки приемлемого варианта конструкции реактора-лазера привели к уверенному обоснованию возможности создания энергетических ядерных реакторов нового типа с выводом энергии из АЗ в виде лазерного излучения. Прямая ядерная накачка лазера, работающего в режиме непрерывной генерации, успешно реализовалась в 1992 г. в опытах с 4-канальным лазерным модулем на комплексе ЛМ-4-БИГР.

В 2008 г., базируясь на предыдущих работах, был введен в эксплуатацию критический стенд ИКАР-С, который в 2016 г. был превращен в облучательную установку с значительными размерами облучательной полости.

### Импульсные реакторы, современное состояние и развитие

Кроме упоминавшихся выше ВИР-1 и БИР-1 в физическом секторе были созданы реакторы: ТИБР (1970), БИГР (1977), БР-1 (1979), РИР (1981), ГИР (1984), ГИР-2 (1993), БР-К1 (1995). Стоит отметить, что без тесного контакта физиков реакторного отдела, теоретиков, конструкторов и производственников ВНИИЭФ никогда бы не смог иметь сегодняшнего парка реакторных установок, удовлетворяющих требованиям мировых стандартов.

**ТИБР** (транспортابلый импульсный быстрый реактор). В нем реализован режим, близ-

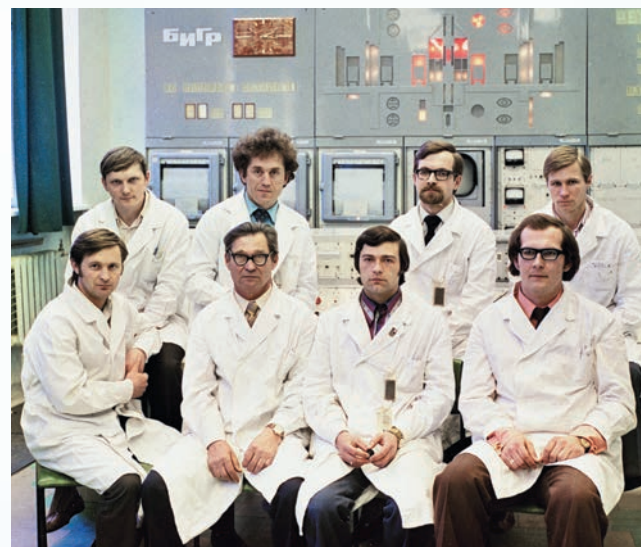
кий к предельной термостойкости топлива на основе сплава урана с молибденом. После всесторонних исследований характеристик реактор транспортирован в НИИП (г. Лыткарино).

**РИР** (разрушающийся импульсный реактор). Идея самого необычного из импульсных реакторов – реактора взрывного типа исходит от А. М. Воинова и В. Г. Заграфова. Предварительные исследования модели реактора РИР проводились на установке ФКБН-2М. В реакторе РИР удельное энерговыделение настолько велико, что происходит сублимация делящегося материала и взрывное разрушение АЗ. Для обеспечения надежной защиты персонала и окружающей среды при проведении опытов была разработана специальная взрывозащитная камера, позволяющая, в принципе, собрать оставшийся в камере ДМ.

Эксперименты на реакторе РИР (1981, 1984) позволили, в частности, оценить последствия возможной аварии на ИЯР с металлической АЗ.

В настоящее время во ВНИИЭФ эксплуатируются 4 импульсных ядерных реактора: с металлической активной зоной – БР-1М и ГИР2-КР, с растворной активной зоной – ВИР-2М, с керамическим топливом – БИГР. Кроме того, проводятся работы по физическому пуску модернизированного ИЯР с металлической АЗ – БР-К1М.

**БИГР** (быстрый импульсный графитовый реактор) – самый мощный в мире импульсный реактор на быстрых нейтронах с АЗ из керамического топлива. Конструкция реактора детально обоснована расчетами В. Ф. Колесова. Вопрос создания активной зоны потребовал специаль-



Часть группы БИГР. Стоят: В. Н. Богданов, А. Я. Горячев, И. Г. Смирнов, М. В. Хлестков; сидят: А. Г. Пергаев, Г. М. Пергаев, А. И. Толкачев, И. Г. Кашинцев

ного постановления Совета министров СССР и ЦК КПСС, по которому в целях изготовления топливных колец на Новосибирском заводе химических концентратов построен цех, где были отработаны методы порошковой металлургии и технологии высокотемпературного прессования с медленным (в течение месяца) нагревом (до 1000 °С) и остыванием изделий.

Благодаря энергии и настойчивости М. И. Кувшинова, при определяющей поддержке Ю. Б. Харитона, были успешно преодолены многочисленные трудности, которые встретились при осуществлении проекта.

На базе реактора ВИГР создан облучательный комплекс, моделирующий аварии с возрастанием реактивности для твэлов реакторов АЭС. Проведена серия испытаний, в результате которых определены энергетические пороги разрушения твэлов ВВЭР – важного параметра границы работоспособности в аварийных условиях. Реактор оснащен ударным стендом, что позволяет моделировать комплексные воздействия ионизирующих излучений и ударных нагрузок. Планируется проведение модернизации реактора в части замены СУЗ.

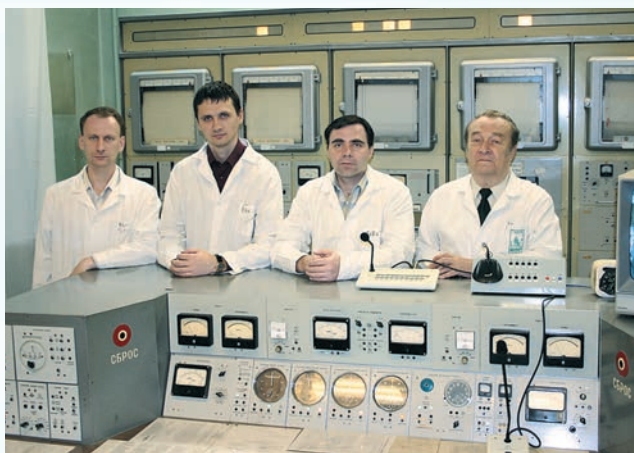
**ВИР-2М** (водный импульсный реактор) – импульсный реактор с растворной АЗ. Топливный раствор соли высокообогащенного урана в воде заливается в корпус АЗ реактора, размещенный в перекрытии между двумя находящимися друг над другом реакторными залами, так что нижний торец корпуса расположен на уровне потолка нижнего зала. Со всех сторон, кроме нижнего торца, реактор окружен блоком биологической защиты с минимальной толщиной по бетону 1,5 м. Прочный герметичный корпус изготовлен из нержавеющей стали и имеет форму цилиндра.

Модернизация реакторов серии ВИР была связана с усовершенствованием конструкции корпуса АЗ. Реактор ВИР-2М эксплуатируется с 1979 г. В 2011–2013 гг. проведены работы по оснащению реактора новой СУЗ.

Предполагается изготовить для реактора новый корпус, а также оснастить реактор системой каталитической рекомбинации радиолитического газа и новой двухконтурной системой охлаждения, что позволит проводить длительные статические пуски.

### Импульсные реакторы для облучательных комплексов, бустер-реакторы

Реализация привлекательной (по своим потенциальным возможностям: укорочение длительности импульса, увеличение объемов с вы-



Пульт управления ВИР-2М до 2011 г. Стоят: А. А. Кубасов, С. П. Котков, Л. Ю. Глухов, С. Ф. Мельников

соким флюенсом нейтронов для размещения испытываемых образцов и др.) идеи создания облучательного комплекса (в виде работающих в единой связке быстрого ИЯР и сильноточного ускорителя электронов) ограничивается пока достижимыми мощностями генерируемых импульсов электронов. Действовавшие устройства подобного типа исчисляются единицами: бустер АРФА (США), два комплекса ИЯР и ускорителей электронов: ЛИУ-10-ГИР, ЛИУ-30-БР-1.

**ГИР** (гамма-источник реакторный). Реактор ГИР-1 был введен в эксплуатацию в 1984 г. и вошел в состав первого облучательного комплекса ЛИУ-10-ГИР, в 1993 г. модифицирован в составе ОК «ЛИУ-10М-ГИР2». В 2014 г. эксплуатация установки приостановлена в связи с предпочтением использовать ОК «Пульсар». После модернизации и проведенного в 2015 г. физического пуска реактор ГИР2-КР (с комплексным регулятором) стал использоваться для изучения возможностей автоматических систем управления ядерных установок в переходных режимах, которые моделируются при генерировании квазиимпульса.

**БР-1** (бустер-реактор, модификация 1) – импульсный реактор с компактной металлической АЗ. На БР-1 достигнут рекордный для таких реакторов уровень флюенса нейтронов  $10^{15}$  см<sup>-2</sup> за импульс длительностью 50 мкс. Платой за рекорд был ограниченный ресурс АЗ – не более 400 импульсов с последующим разрушением топливных колец. Изготовлено два комплекта топливных деталей. В 1993 г. реализован режим совместной работы мощного линейного индукционного ускорителя электронов ЛИУ-30 и БР-1. На комплексе исследовано и достигнуто устойчивое функционирование двух сложных установок





*Пульс и группа эксплуатации реактора БР-К1, 2002 г. Сидят: Ю. М. Одинцов, Л. В. Зауглова, В. А. Аникеев, А. Б. Соколов; стоят: Е. А. Соснин, А. Ю. Катраев, В. Ф. Зотов*

по предварительно задаваемой временной программе их последовательного включения.

В 2009 г. завершена модернизация ИЯР БР-1М, в результате которой изменена конструкция и состав АЗ. Предпринятые меры позволили снизить термомеханические напряжения в топливе и сохранить уникальную пиковую мощность 100 ГВт, значительно увеличить ресурс элементов АЗ и повысить безопасность работ при эксплуатации реактора.

В настоящее время БР-1М входит в состав облучательного комплекса «Пульсар» и может работать как совместно с ускорителем ЛИУ-30 и другими установками комплекса, так и в автономном режиме. Ресурс АЗ позволяет эксплуатировать реактор еще не один десяток лет и использовать его для проведения разнообразных исследований и испытаний.

**БР-К1** (бустер-реактор «Каскад», вариант 1) – импульсный реактор с крупногабаритной металлической АЗ и непростой историей.

Реактор введен в эксплуатацию в 1995 г. в режиме классического импульсного реактора в отступление (в силу многих причин) от прежних замыслов каскадного умножения импульса фотонейтронов в двух активных зонах. При этом из-за обнаруженного при физпуске коробления (затирания) чехлов топливных блоков максимальное энерговыделение для эксплуатации было ограничено величиной 30 МДж (~100 МДж по проекту). Использовался реактор, в основном, как «метрологическая» установка.

В период с 2016 по 2019 г. проведена модернизация реактора (стал БР-К1М) с целью реализации импульсного режима с проектным энерговыделением. Для исключения коробления чех-

лов изменена их конструкция и материал. Проведена модернизация СУЗ, в которую включены функциональные подсистемы для управления новым импульсным блоком и системой охлаждения. Вновь изготовлены подсистемы контроля мощности и отображения физических характеристик.

В настоящее время с учетом накопленного опыта и знаний началось проектирование бустер-реактора БР-3, который, вероятно, будет работать в бустерном режиме, усиливая первичный импульс фотонейтронов от нового мощного ускорителя.

### **ЦЯРИ и ИЯРФ. Последние структурные и кадровые изменения**

В связи с реорганизацией физического отделения в Центр ядерно-физических исследований (ЦЯРИ) приказом в 1997 г. на базе реакторного отдела образовано отделение прикладной ядерной физики и ядерно-физических устройств. Первым руководителем отделения стал И. Г. Смирнов. Начальниками отделов назначены С. В. Воронцов, Л. Е. Довбыш, А. Я. Учаев и А. А. Синянский.

С 2000 г. ЦЯРИ преобразован в Институт ядерной и радиационной физики (ИЯРФ). После перевода (1999 г.) И. Г. Смирнова на должность заместителя директора ИЯРФ по работам с ядерными установками и делящимися материалами начальником отделения становится С. В. Воронцов. На место начальника отдела избирается по конкурсу А. А. Девяткин.

Последняя реорганизация ИЯРФ (2011 г.) повлекла кадровые перестановки. После перевода С. В. Воронцова на должность первого заместителя директора ИЯРФ начальником отделения избирается по конкурсу А. А. Девяткин. Начальниками отделов стали А. В. Панин, М. А. Воинов и А. А. Пикулев.

Накопленный многолетний опыт позволяет братья за решение новых сложных задач. Слаженная работа конструкторов, расчетчиков и экспериментаторов позволяет институту сохранять лидирующие в мире позиции в области создания и использования мощных импульсных ядерно-физических установок.

**ВОРОНЦОВ Сергей Владимирович** –

кандидат физ.-мат. наук,  
первый заместитель директора ИЯРФ

**ДЕВЯТКИН Андрей Александрович** –

кандидат физ.-мат. наук,  
начальник научно-исследовательского отделения ИЯРФ