

# НИИАР: ЛЮДИ, ГОДЫ, СВЕРШЕНИЯ



Димитровград  
2017

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»

Акционерное общество «Государственный научный центр —  
Научно-исследовательский институт атомных реакторов»

# **НИИАР: ЛЮДИ, ГОДЫ, СВЕРШЕНИЯ**

*Издание второе,  
переработанное и дополненное*

Димитровград  
2017

УДК 621.039 (091)

ГРНТИ 58.01.09

ББК 31.4

**Клочков Е.П., Гордеев Я.Н., Вавилов С.К. и др.** НИИАР: люди, годы, свершения / под общей ред. д-ра техн. наук, проф. В.В. Калыгина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Димитровград: АО «ГНЦ НИИАР», 2017. — 416 с., ил.

*Авторский коллектив:*

Клочков Е.П., Гордеев Я.Н., Вавилов С.К., Крюков Ф.Н.,  
Ладзин А.С., Скиба О.В., Туртаев Н.П., Шишин В.Ю., Шулимов В.Н.

В книге рассказывается об истории развития Научно-исследовательского института атомных реакторов, расположенного в городе Димитровграде Ульяновской области, — крупнейшего научно-исследовательского центра, широко известного в России и за рубежом. Книга повествует не только об истории института, этапах его строительства и создании экспериментальной базы, но и охватывает различные направления деятельности предприятия: от научных и инженерно-технических (реакторное материаловедение, физика, техника и эксплуатация исследовательских реакторов, радиохимия, топливный цикл, исследования фундаментальных свойств трансуранных элементов, производство радионуклидов, обращение с радиоактивными отходами, контроль за окружающей средой и пр.) до вспомогательных (педагогическая деятельность сотрудников института, подготовка кадров высшей квалификации, международное сотрудничество, издание книг и т.д.). В книге представлены история становления коллективов и основные достижения института в области атомной науки и техники.

Издание предназначено для широкого круга читателей.

*Рекомендовано редакционно-издательским советом и утверждено научным советом АО «ГНЦ НИИАР».*

Авторы-составители выражают самую искреннюю благодарность замечательным людям, без участия и помощи которых появление этой книги было бы невозможно: В.В. Авдонино, В.В. Антоновой, Л.Ю. Беляевой, Т.В. Богатовой, Ю.А. Валикову, Г.И. Гаджиеву, Х.Х. Галиакберову, С.В. Давыдовой, Е.А. Ерину, А.В. Захарову, В.Б. Захарову, Е.А. Звир, Л.Л. Казакову, В.В. Калыгину, А.В. Клинову, А.С. Королькову, Н.И. Крошкину, А.В. Кузину, Ю.А. Кушниру, В.А. Макееву, В.В. Маклакову, Т.А. Максutowой, А.П. Малкову, В.Б. Мишенёву, М.Н. Мурзиной, В.М. Недашковскому, Л.Н. Никишиной, В.А. Овчинникову, С.В. Павлову, А.С. Покровскому, А.О. Посевину, В.И. Прохорову, В.Д. Рисованому, М.А. Рябинину, Д.К. Рязанову, М.Н. Святкину, В.В. Серебрякову, С.Б. Семёнычеву, Н.Н. Скулкину, В.П. Смирнову, А.М. Соболеву, В.А. Старкову, Е.М. Табакину, В.А. Тарасову, А.А. Тейковцеву, Г.А. Тимофееву, Ю.Г. Топорову, А.А. Тузову, В.Н. Федулину, Д.В. Харьковку, Ю.М. Хлюстову, В.А. Цыканову, А.А. Чобе, Н.В. Чертухиной, З.И. Чечёткиной, А.М. Щетинину, В.И. Широкову и многим-многим другим.

© Акционерное общество «Государственный научный центр — Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (АО «ГНЦ НИИАР»), 2017

© Клочков Е.П., Гордеев Я.Н., Вавилов С.К.,  
Крюков Ф.Н., Ладзин А.С., Скиба О.В.,  
Туртаев Н.П., Шишин В.Ю., Шулимов В.Н., 2017

ISBN 978-5-94831-152-4

*Нам обязательно нужно написать обо всём,  
что было и как было, ничего не прибавляя и не выдумывая.*  
И.В. Курчатов

*Будущее неведомо.  
Вселять в нас надежду должно прошлое.*  
У. Черчилль

*Не зная прошлого, невозможно понять  
подлинный смысл настоящего и цели будущего.*  
М. Горький

# Оглавление

К читателю.....	5
Глава 1. ОСНОВНЫЕ ВЕХИ.....	12
Глава 2. СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ.....	24
2.1. Создание экспериментальной базы .....	25
2.2. Перспективы развития экспериментальной базы .....	104
Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	109
3.1. Исследовательские ядерные реакторы и техника испытаний .....	110
3.2. Ядерно-физические исследования .....	126
3.3. Отработка технологических процессов .....	139
3.4. Получение, изучение, применение трансурановых элементов, их химических соединений и других радионуклидов .....	149
3.5. Реакторное материаловедение .....	180
3.6. Топливный цикл ядерных реакторов .....	195
3.7. Испытания и исследования материалов и элементов транспортных реакторов .....	219
3.8. Институт и космос .....	247
Глава 4. НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ .....	253
Глава 5. МЕЖДУНАРОДНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ .....	271
Глава 6. В ЦЕНТРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ .....	327
Глава 7. ОНИ БЫЛИ ПЕРВЫМИ.....	350
Глава 8. ВКЛАД РУКОВОДИТЕЛЕЙ ОТРАСЛИ В СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ НИИАРа .....	378
Заключение.....	392
Список сокращений .....	400
Использованные литературные источники .....	413

## К читателю

### Уважаемые читатели!



Тузов Александр Александрович

Время, а точность и масштаб выбранных ими решений до сих пор не вызывают сомнений и продолжают поражать современников.

Эта книга даёт возможность получить более полное представление о том, как создавался крупнейший научный центр атомной отрасли России — Научно-исследовательский институт атомных реакторов. Немало интересного смогут найти в ней специалисты, изучающие становление инженерных и научных коллективов, условия и факторы, способствующие их развитию и профессиональному росту. В основе поразительного феномена создания российской атомной науки и техники лежали высокий патриотизм, гражданское мужество и исключительная ответственность участников этой грандиозной программы. Создавая эту книгу, авторский коллектив сделал попытку проследить вехи формирования института, вспомнить людей, внёсших вклад в его развитие. Рамки издания не позволили вместить весь тот материал, который имеется в архивах. Пусть не подумают ветераны, не найдя своего имени в книге, что не помнят и не ценят их труд. Мы с почтением и признательностью относимся к вкладу каждого из них, ведь современные достижения НИИАРа стали возможны благодаря труду тысяч сотрудников, работавших в институте на протяжении всех этих шестидесяти лет.

Сегодня руководство страны, как и много лет назад, ставит перед нашим научным центром стратегические задачи, от решения которых зависит будущее атомной отрасли, безопасность государства, и я уверен, что эта работа по плечу нашему коллективу.

Директор АО «ГНЦ НИИАР»,  
кандидат технических наук

А. А. Тузов

## Дорогие читатели!



Цыканов Владимир Андреевич      Рисованый Владимир Дмитриевич

Академик И.В. Курчатов ещё в середине прошлого века стал предпринимать меры по созданию экспериментальных установок, исследовательских реакторов, горячих лабораторий, без которых невозможно получение информации о радиационных характеристиках делящихся, конструкционных и нейтронно-поглощающих материалов. Важность получения такой информации подчёркивает постановление Первого главного управления при Совете Министров СССР

от 16 декабря 1946 года № 2697-1113сс/оп «О развитии научно-исследовательских работ по изучению атомного ядра и использованию ядерной энергии в технике, химии, медицине и биологии». Первый исследовательский реактор Ф-1 был пущен 25 декабря 1946 года в лаборатории измерительных приборов Академии наук СССР (ЛИПАН\*), там же была создана первая в стране горячая материаловедческая лаборатория. В апреле 1952 года был введён в строй исследовательский реактор РФТ в Институте атомной энергии. В короткие сроки были созданы и введены в строй и другие установки для испытаний твэлов, топливных сборок и поглощающих материалов энергетических и транспортных реакторов. Пятнадцатого марта 1956 года было принято постановление Совета Министров СССР о развитии атомной энергетики в СССР, в рамках выполнения которого в июле 1956 года министр среднего машиностроения А.П. Завенягин поручил создать «станцию по испытанию ядерных котлов» и выбрал местом для её строительства город Мелекесс. Так было создано Управление строительства (п/я 83). Несколько позднее, в 1957 году, было принято решение о привязке к выбранной площадке большого научно-исследовательского комплекса, предназначенного для работ по реакторному материаловедению, физике твёрдого тела, ядерной физике, а также по накоплению и изучению свойств трансурановых элементов. И хотя сооружение этого комплекса предполагалось на севере Вологодской области, А.П. Завенягин решил построить его на территории «станции». Принятие этого решения послужило причиной переименова-

\* Далее преобразована в Институт атомной энергии имени И.В. Курчатова. — Прим. ред.

ния «станции» в научно-исследовательский институт атомных реакторов. Аббревиатура НИИАР была предложена Д.С. Юрченко\*\*.

Коллектив института всегда поддерживал тесную связь с ведущими научными центрами отрасли и Академии наук СССР. За время становления и развития НИИАРа руководители атомной отрасли постоянно интересовались научными достижениями специалистов института и давали свои рекомендации относительно направлений деятельности на будущее. Они сыграли решающую роль в создании и многолетнем функционировании НИИАРа. Авторы книги об истории НИИАР постарались отразить тот вклад, который на первых этапах становления и развития института внесли руководители и ведущие учёные атомной отрасли, директорский корпус, заместители директора по науке, главные инженеры и их заместители, а также ведущие специалисты.

Составители книги предложили рассматривать историю НИИАРа в рамках крупных научных и инженерно-технических направлений, которые условно обозначили как: реакторный комплекс, материаловедческий комплекс, радиохимический комплекс, топливный цикл, обращение с радиоактивными отходами, источники излучения. Составители также сочли необходимым изложить историю международного сотрудничества, поскольку оно существенно повлияло на социальную обстановку в Димитровграде (Мелекесе) и Ульяновской области.

Для любого научно-исследовательского института важнейшим показателем работы является подготовка научных кадров высшей квалификации, издание научной и учебно-методической литературы. Поэтому информация о докторах и кандидатах наук, изданных монографиях и учебных пособиях, сотрудничестве с вузами, преподавательской деятельности сотрудников НИИАРа, обучении российских и иностранных специалистов не могла остаться без внимания составителей, и это широкое направление деятельности по передаче знаний молодому поколению нашло отражение в предлагаемой книге.

Авторы исходили из того, что подвиг создателей атомной промышленности должен остаться в памяти поколений, стараясь с максимальной объективностью рассказать о том, что было сделано в НИИАРе. Поэтому одна из глав называется «Они были первыми» и охватывает период создания научных коллективов, сооружения основных объектов экспериментальной базы института. Именно в этот период (1956–1973 годы) был заложен тот фундамент и создан тот морально-этический климат, которые позволили НИИАРу в дальнейшем войти в число ведущих научно-исследовательских институтов как в СССР, России, так и за рубежом. Для авторов данная книга — прежде всего долг памяти первому поколению молодых специалистов, инженеров, испытателей, конструкторов, расчётчиков, рабочих и служащих НИИАРа, которые самоотверженным трудом создавали передовую по своему уровню атомную технику. Для тех, кто в настоящее время работает и в ближайшие десятилетия будет работать в НИИАРе

\*\* Директор НИИАРа с 1958 по 1964 годы. — Прим. ред.

над решением тех задач, которые поставлены перед Госкорпорацией «Росатом», эта книга будет напоминанием о сделанном и необходимости постоянно преумножать достигнутое.

По мнению составителей, книга позволит читателю получить достаточно полное представление о вкладе НИИАРа в решение задач реакторного материаловедения, радиохимии топливного цикла, обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами и т.д. Книга поможет понять уникальность и масштаб научных изысканий НИИАРа, оценить значимость того, что было сделано его сотрудниками за годы существования института для развития атомной науки и техники.

Эта книга — плод труда большого числа людей, ветеранов и нынешних специалистов НИИАРа, попытавшихся на основе личных воспоминаний и документальных источников воссоздать долгую, сложную, но необычайно интересную в творческом плане историю развития российской атомной науки.

В свете всего изложенного книга, как нам кажется, представляет несомненный интерес.

Заместитель генерального директора —  
научный руководитель  
по физико-энергетическому блоку  
АО «Наука и инновации»  
доктор технических наук, профессор



В.Д. Рисованный

Директор НИИАРа с 1973 по 1989 г.,  
доктор технических наук, профессор



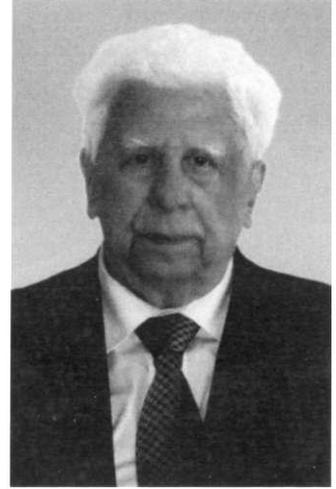
В.А. Цыканов

## Уважаемые сотрудники НИИАРа!

Основоположники атомной науки и техники академики И.В. Курчатов, А.П. Александров, А.А. Бочвар, Ю.Б. Харитон, Н.А. Доллежалъ ясно понимали, что без создания специального экспериментального научно-технологического комплекса в составе исследовательских и испытательных реакторов и горячих материаловедческих лабораторий невозможно организовать исследования характеристик твэлов, делящихся материалов, конструкционных и нейтронно-поглощающих материалов для получения информации об их свойствах и поведении при облучении в мощных нейтронных и гамма-полях реакторного излучения.



Рязанцев Евгений Петрович



Платонов Павел Александрович

После известного постановления от 15 марта 1956 года дополнительно вышло постановление Правительства СССР от 21 июля 1959 года о создании исследовательского комплекса с реактором СМ, радиохимической и материаловедческой лабораториями. Многие сотрудники Института атомной энергии имени И.В. Курчатова стояли у истоков создания НИИАРа, участвовали в пуске его реакторных установок, разработке и освоении методик исследований облучённых материалов и изделий и большого количества методик работы в радиохимической лаборатории, обсуждении многочисленных результатов исследований.

Результаты многолетнего сотрудничества ИАЭ и НИИАР свидетельствуют о плодотворном влиянии наших контактов на решение важнейших научно-технических задач атомной науки и техники и создание ядерных энергетических установок гражданского и военного назначения.

Доктор технических наук, профессор,  
лауреат Ленинской премии СССР

Е.П. Рязанцев

Доктор технических наук, профессор,  
лауреат Государственной премии СССР

П.А. Платонов

## Уважаемые сотрудники и ветераны НИИАРа!



Сафутин Валерий Дмитриевич

Мне посчастливилось в шестидесятые — восьмидесятые годы прошлого столетия активно участвовать в проектировании и авторском надзоре за строительством ряда объектов основной промплощадки НИИАРа, как-то: реакторы МИР, ВК-50, СМ и БОР-60, установка «Орёл», здания 103, 117 и др. Многие из перечисленных объектов являются уникальными, не имеющими аналогов в отечественной и мировой практике.

Как известно, официально история НИИАРа началась с известного постановления Совета министров СССР от 15 марта 1956 года о строительстве «опытной станции для испытания новых ядерных котлов», которая позже была переименована в НИИАР. В это же время главным инженером проекта стал удивительно талантливый человек, технически высококвалифицированный специалист и грамотный организатор порученного ему дела — Михаил Леонидович Барский. Некоторое время я был у него заместителем. Первые двадцать лет активного проектирования, реконструкции, технического перевооружения и модернизации установок, зданий и сооружений НИИАРа прошли в условиях становления нормативно-технической базы атомной энергетики и промышленности. Успешный опыт эксплуатации объектов НИИАРа показал правильность принятых в свое время конструкторских и проектных решений, высокую квалификацию специалистов и учёных, всех тружеников наших институтов. Верю, что совместное сотрудничество продлится в будущем при строительстве многоцелевого исследовательского реактора МБИР и позволит в ближайшее время решить многие крупные научно-технические проблемы в области ядерной физики, энергетики, радиохимии, биологии, медицины и других сопутствующих высокотехнологичных наук. Наши совместные усилия стали достойным и неоспоримым вкладом в создании ядерного щита России. Ответственное отношение к проблемам обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами — это вопросы наших взаимоотношений в настоящее время.

Желаю многочисленному коллективу НИИАРа и его ветеранам здоровья, благополучия и дальнейших успехов.

Генеральный директор  
ОАО «Головной институт "ВНИПИЭТ"»\*,  
лауреат премии  
Совета Министров СССР

В.Д. Сафутин

\* В настоящее время АО «Атомпроект» — Прим. ред.

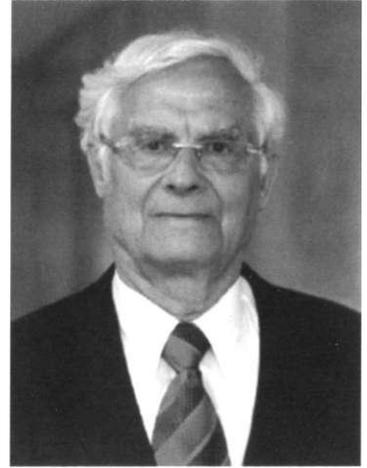
## Уважаемые коллеги из НИИАРа!

Развитие атомной науки, техники и энергетики, а также медицины невозможно без наличия экспериментальной базы, которая обеспечивала бы проведение исследований в области физики ядерных реакторов и фундаментальной физики, производство изотопной продукции для медицины и промышленных целей и подготовку специалистов атомной отрасли. Основоположники атомной науки и техники ясно понимали, что без такой базы невозможно и получение информации о радиационных характеристиках делящихся, конструкционных и нейтронно-поглощающих материалов. И такая экспериментальная площадка была создана в Мелекессе. Ныне НИИАР — крупный исследовательский центр, известный далеко за пределами страны.

Многолетнее тесное сотрудничество специалистов ОКБМ и НИИАР позволило решить многие крупные научно-технические проблемы и получить результаты, актуальные до настоящего времени и оказывающие существенное влияние на развитие стационарной атомной энергетики России. Наши совместные усилия стали достойным вкладом в научно-технический прогресс и создание ядерного щита Родины. Мы знаем и о Вашей роли в подготовке научных кадров высокой квалификации, организации и проведении практики студентов, многие из которых работали и сейчас работают в ОКБМ.

Желаю коллективу института новых научно-производственных достижений и надеюсь на дальнейшее сотрудничество.

Главный конструктор АО «ОКБМ Африкантов» по активным зонам,  
доктор технических наук, профессор,  
лауреат Ленинской премии СССР



Самойлов Олег Борисович

О.Б. Самойлов

# Глава 1



## ОСНОВНЫЕ ВЕХИ

*Жизнь человека не вечна,  
но наука и знания переступают пороги столетий.*

И.В. Курчатов

В 1956 году, 15 марта, было принято постановление Совета Министров СССР о развитии атомной энергетики в стране. Данным постановлением предусматривалось строительство АЭС: первой очереди Белоярской атомной электростанции, Южно-Уральской АЭС на углекислом газе, атомной теплоэлектроцентрали в Москве (Ховрино) и вблизи Ленинграда, АЭС с реактором ВК-50. Это же постановление обязывало Министерство среднего машиностроения построить в районе города Мелекесса опытную станцию для испытания новых ядерных котлов суммарной мощностью 200 МВт, а уже 29 июня 1956 года вышел приказ Министерства сельского хозяйства РСФСР «Об отводе земель под строительство временных сооружений для обеспечения строительства предприятия п/я 83». Исполняя постановление Совета Министров СССР, 20 июля 1956 года А.П. Завенягин, куратор советского атомного проекта, поручил построить в Мелекессе опытные реакторы по 50 МВт каждый. Опытные реакторы охватывали разработки советских учёных по различным направлениям реакторостроения. Первыми реакторами, намеченными к строительству, были реактор на быстрых нейтронах БН-50, кипящий водо-водяной реактор ВК-50, гомогенный реактор ТГ-50, реактор ГН-50 с жидкометаллическим теплоносителем. Реактор ТГ-50 (здание 103) был доведён до уровня средней стадии строительства, но в связи с полученной информацией о трудностях использования жидкостных реакторов гомогенного типа строительство реактора было прекращено. Не было достаточно обосновано применение реактора ГН-50 с жидкометаллическим теплоносителем, поэтому его строительство было прекращено на начальной стадии. В том же году начали строить АЭС с кипящим водо-водяным реактором ВК-50 и первые основные и вспомогательные объекты.

Ещё в 1955 году были начаты проектные и конструкторские проработки научно-исследовательского комплекса, включающего в себя исследовательский реактор со сверхмощным нейтронным потоком, материаловедческую и радиохимическую лаборатории. Позднее по инициативе И.В. Курчатова было принято решение о привязке этого большого научно-исследовательского комплекса, предназначенного для работ по реакторному материаловедению, физике твёрдого тела, ядерной физике и изучению свойств трансурановых элементов, к площадке опытной станции, хотя ранее сооружение этого комплекса предполагалось на севере Вологодской области. Это решение послужило причиной переименования в июле 1959 года опытной станции (п/я 30)

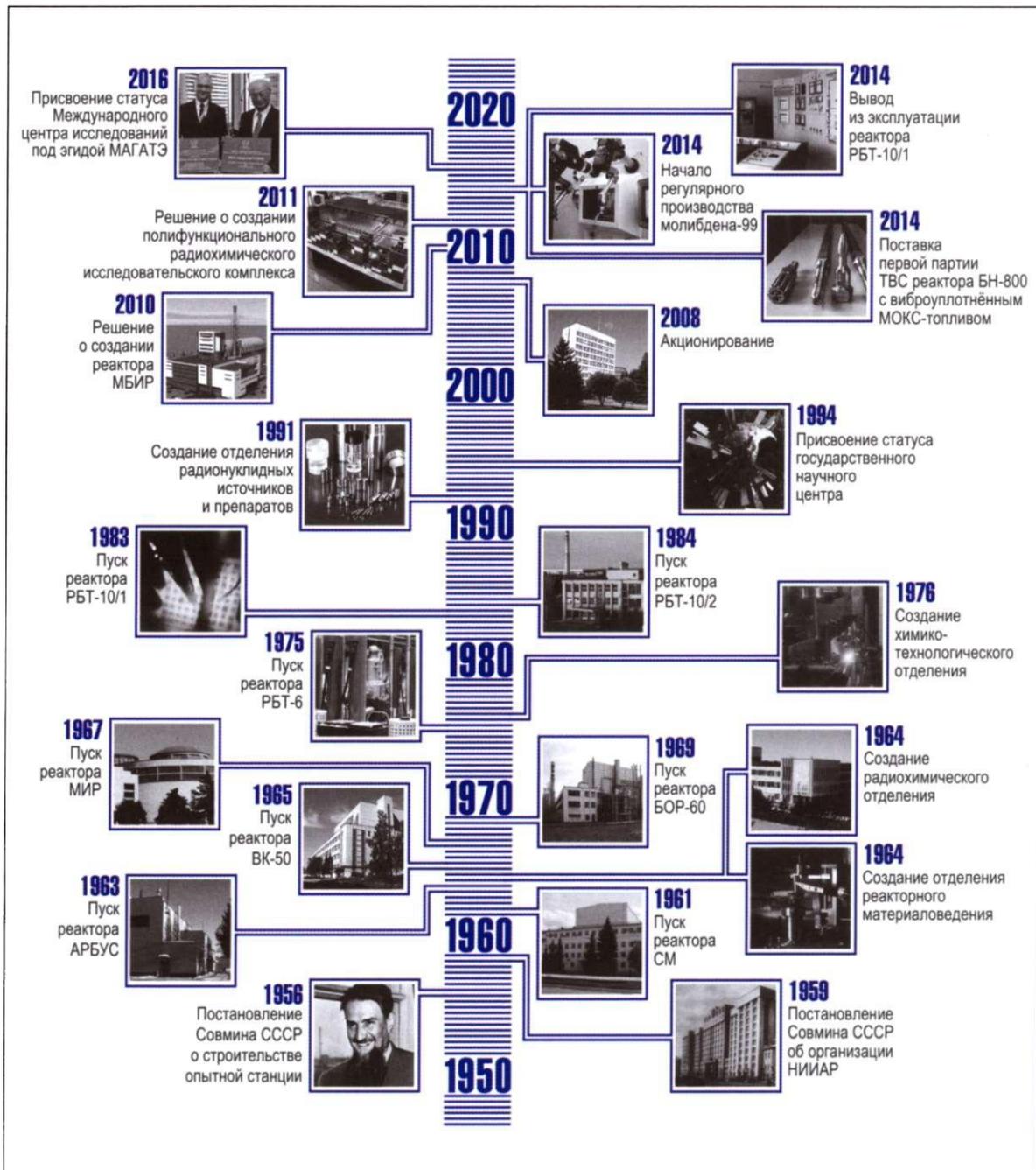
в научно-исследовательский институт атомных реакторов. Случилось это после выхода постановления Совета Министров СССР «О создании опытных атомных реакторов и развитии научно-исследовательской базы реакторов Главного управления по использованию атомной энергии при Совете Министров СССР».

Сооружение основных объектов научно-исследовательского комплекса, строительству которого придавалось первостепенное значение, началось в 1958 году, а уже осенью 1961 года реактор СМ был выведен на проектную мощность 50 МВт. В 1964 году начали работу материаловедческая и радиохимическая лаборатории. В 1963 году был пущен реактор АРБУС с органическим теплоносителем, через год — реактор ВК-50, а в 1966 году ввели в эксплуатацию материаловедческий петлевой реактор МИР. С 1966 года на реакторе СМ эксплуатируется петлевая установка с водяным теплоносителем с двумя каналами, а на реакторе МИР с 1967 года — две петлевые установки с четырьмя каналами с характеристиками, близкими к соответствующим теплофизическим параметрам работы топливных сборок активных зон реакторов транспортных атомных паропроизводящих установок.

В дальнейшем экспериментальная база НИИАРа расширялась за счёт сооружения реакторов БОР-60, РБТ-6, РБТ-10/1, РБТ-10/2, создания новых установок, облучательных устройств, крупнейшего в России комплекса по неразрушающим исследованиям полномасштабных топливных сборок и органов регулирования, опытно-промышленного полигона по обращению с радиоактивными отходами. В последующие годы успешно развивалось направление работ по топливному циклу реакторов на быстрых нейтронах на основе реактора БОР-60 и радиохимического комплекса. Чуть позже был пущен в эксплуатацию комплекс «Орёл» для производства тепловыделяющих сборок, в том числе со смешанным виброуплотнённым топливом. Для расширения работ по исследованию отработавшего топлива энергетических реакторов в материаловедческой лаборатории был сооружён корпус для неразрушающих исследований полномасштабных сборок реакторов ВВЭР-440, ВВЭР-1000, РБМК-1000, БН-600. Ныне экспериментальная база НИИАРа является крупнейшей в России и одной из самых крупных в мире.



Панорама промышленной площадки НИИАРа



История развития НИИАРа

Академик Игорь Васильевич Курчатов еще в самом начале пятидесятых годов прошлого столетия стал предпринимать меры по созданию экспериментальных установок, ядерных реакторов для исследовательских целей, организовывать коллективы теоретиков, расчётчиков и экспериментаторов. Необходимо было развивать направления исследований, касающиеся взаимодействия нейтрона с веществом, накопления трансурановых элементов и изучения их свойств.

Первоначально перед научным коллективом формирующегося института были поставлены три основные задачи. Первая из них заключалась в получении и накоплении в весовом количестве далёких трансурановых элементов. Вторая задача состояла в изучении влияния излучения на свойства применяемых в реакторостроении материалов, определении их работоспособности и ресурса. Третья задача представляла собой целый комплекс ядерно-физических исследований, результаты которых были необходимы как для получения фундаментальных знаний о ядре, так и для совершенствования методов расчёта ядерных реакторов и константного обеспечения этих расчётов. Для выполнения поставленных задач в институт были направлены научные руководители по каждой задаче: В.А. Цыканов — по вопросам пуска в эксплуатацию и освоения исследовательского реактора СМ; Г.Н. Яковлев — по созданию радиохимической лаборатории (позже к нему присоединился А.Г. Рыков); И.Н. Соколов — по реактору ВК-50. Научным руководителем института по рекомендации И.В. Курчатова был назначен Е.Д. Воробьёв — учёный в области реакторной физики и техники. С.Т. Конобеевский, член-корреспондент Академии наук СССР, по просьбе И.В. Курчатова осуществлял научное руководство по материаловедческому направлению.

Со строительством и вводом в эксплуатацию реактора БОР-60 появилась ещё одна научная задача, имеющая важное значение для развития атомной энергетики и связанная с работами по реакторам на быстрых нейтронах. Научное руководство по данной проблеме возглавил О.Д. Казачковский, который прибыл в институт в 1964 году как директор. Решение проблемы топлива быстрых реакторов потребовало проведения широких исследовательских работ по обоснованию замкнутого топливного цикла, что было сформулировано в соответствующем приказе председателя Государственного комитета Совета Министров СССР по использованию атомной энергии от 15 мая 1965 года.

Научно-исследовательский институт атомных реакторов формировался с учётом разделения труда между научными и производственными подразделениями Министерства среднего машиностроения как сугубо исследовательское предприятие. Основные научные достижения и их место в развитии атомной науки и техники не всегда можно было отнести к конкретным проектам атомных установок, технологическим процессам, внедрённым на предприятиях отрасли, к другим образцам гражданской и военной

техники, зачастую они являлись общенаучными результатами в динамично развивающейся атомной отрасли знаний\*.

### Ключевые события в истории НИИАРа

Дата	Событие
1956 год	Постановление (15 марта) Совета Министров СССР о строительстве в городе Мелекесе опытной станции для испытания новых ядерных котлов, директором предприятия п/я 30 (будущий НИИАР) назначен Ф.Г. Герасимов, в Мелекес прибыли первые работники (июль)
Ноябрь 1957 года	Прибыл первый отряд молодых специалистов
Октябрь 1957 года	Начало строительства реактора ВК-50 (здание 101)
17 февраля 1958 года	Директором назначен Д.С. Юрченко
13 июля 1958 года	Начало строительства здания реактора СМ (здание 106)
Январь 1959 года	Создание отдела контрольно-измерительных приборов
Июль 1959 года	Постановление Совета Министров СССР об организации научно-исследовательского института атомных реакторов на базе строящихся исследовательских и опытных реакторов, установок и лабораторий
Март 1960 года	Начало строительства здания радиохимической лаборатории (здание 120)
10 февраля 1961 года	На физической модели реактора СМ впервые получены нейтроны
Октябрь 1961 года	Реактор СМ достиг проектного значения мощности (50 МВт)
16 марта 1962 года	Сдана в эксплуатацию ТЭЦ
24 декабря 1962 года	Сдана в эксплуатацию «холодная» часть здания 120
23 мая 1963 года	Институт посетила первая иностранная делегация во главе с Гленном Сиборгом, председателем комиссии по атомной энергии США
17 августа 1963 года	Пуск реакторной установки АРБУС
30 сентября 1963 года	Закончены строительство и монтаж материаловедческой лаборатории
Октябрь 1963 года	В радиационно-защитной камере здания 106 принят первый контейнер с ТВС реактора атомного ледокола «Ленин»
Март 1964 года	Принят первый контейнер из реактора СМ для исследовательских целей, начало производства в НИИАРе трансурановых элементов
29 февраля 1964 года	Директором назначен О.Д. Казачковский
1964 год	Сдана в эксплуатацию радиохимическая лаборатория

\* Обо всех исследованиях по направлениям деятельности института можно прочитать в научных годовых отчётах (отчётах об основных исследовательских работах, выполненных в отчётном году), которые размещены на официальном сайте АО «ГНЦ НИИАР» в рубрике «Годовой отчёт» раздела «Раскрытие информации». — Режим доступа: [http://niiar.ru/annual\\_report](http://niiar.ru/annual_report). Дата обращения: 03.04.2017. — Прим. ред.

Дата	Событие
15 декабря 1964 года	Физический пуск реактора ВК-50
27 декабря 1964 года	Выделено первое индикаторное количество плутония-242
1964–1965 годы	Первая реконструкция реактора СМ
Май 1965 года	Начало строительства здания реактора БОР-60 (здание 160)
20 октября 1965 года	Энергетический пуск реактора ВК-50
1965 год	Выделено индикаторное количество америция-243, кюрия-242, кюрия-244; получен плутоний-238 массой 50 г, изготовлен изотопный источник тока «Земля»
24 декабря 1966 года	Физический пуск реактора МИР
11 августа 1967 года	Энергетический пуск реактора МИР
1968 год	Получен калифорний-252
18 октября 1968 года	Пуск радиохимической установки УР-1 по выделению плутония, америция, кюрия
30 декабря 1968 года	Сдана в эксплуатацию первая очередь установки «Фрегат» для исследования фторидно-газовых процессов
7 декабря 1969 года	Физический пуск реактора БОР-60
28 декабря 1969 года	Энергетический пуск реактора БОР-60
Ноябрь 1970 года	Пуск уникального механического селектора нейтронов, превосходящего аналогичные установки СССР
10 февраля 1971 года	Принят в эксплуатацию стенд по испытаниям парогенераторов
1972 год	Изготовлены 20 опытных нейтронных источников из калифорния-252, выделено 10 г кюрия-242 для теплового источника «Вега»
24 апреля 1973 года	Введена в эксплуатацию установка для получения ультрахолодных нейтронов и получен самый высокий в СССР поток ультрахолодных нейтронов
2 августа 1973 года	Сдана в эксплуатацию первая очередь технологического материаловедческого корпуса (здание 119)
29 августа 1973 года	Директором назначен В.А. Цыканов
10 апреля — 30 мая 1974 года	Вторая реконструкция реактора СМ
1974 год	Получена первая партия кюрия-248, начат выпуск штырьковых нейтронных источников
24 сентября 1975 года	Физический пуск реактора РБТ-6
1976 год	Впервые в мире получен калифорний-252 в четырёхвалентном состоянии, начат выпуск гибких нейтронных источников для внутритканевой терапии
29 декабря 1976 года	Энергетический пуск реактора РБТ-6
13 января 1977 года	Введена в эксплуатацию установка «Орёл» (здание 180)
27 октября — 5 ноября 1977 года	Изготовлены две опытные кассеты для загрузки в реактор БОР-60

## Продолжение таблицы

Дата	Событие
1977–1978 годы	Третья реконструкция реактора СМ
24 июля 1978 года	Приказом министра на НИИАР возложены обязанности научного руководителя по разработке АСТ на базе органо-органического корпусного реактора
1978 год	Впервые в мире получен кюрий в шестивалентном состоянии
Декабрь 1979 года	Завершено строительство здания установки «Орёл»
3 мая 1979 года	Реактор АРБУС переведён в режим АСТ (первая АСТ в стране!) с выдачей тепла на обогрев помещений
9 февраля 1981 года	Решение о создании опытно-промышленного комплекса по производству гранулированного смешанного топлива и изготовлению виброуплотнённых твэлов и ТВС на его основе для промышленных реакторов типа БН
1982–1983 годы	Впервые в СССР выделены эйнштейний-253, эйнштейний-254 и фермий-257
30 декабря 1982 года	Физический пуск реактора РБТ-10/1
24 ноября 1983 года	Физический пуск реактора РБТ-10/2 (первый этап)
23 декабря 1983 года	Энергетический пуск реактора РБТ-10/1
26 июня 1984 года	Объединённой группой радиохимиков и материаловедов впервые в СССР и Европе получен в металлическом состоянии калифорний-249 и проведены первичные исследования этого металла
26 ноября 1984 года	Физический пуск реактора РБТ-10/2 (второй этап)
24 декабря 1984 года	Энергетический пуск реактора РБТ-10/2
1985 год	Изготовлены источники на основе кюрия-244 для космических целей
4 декабря 1985 года	Введён в эксплуатацию комплекс для неразрушающих исследований ТВС (здание 117)
15 октября 1986 года	Введён в эксплуатацию опытно-исследовательский комплекс химико-технологического отделения
14 апреля 1989 года	Введена в эксплуатацию и выведена на мощность петлевая установка ПВП-2 реактора МИР
1 ноября 1989 года	Директором назначен В.Б. Иванов
2 февраля 1990 года	НИИАР назначен главным конструктором-технологом твэлов энергетических реакторов на тепловых и быстрых нейтронах с виброуплотнённым топливом
5 марта 1991 года	Закончен монтаж обратного парогенератора на реакторной установке БОР-60, проведены пусконаладочные работы
1992 год	Получен иридий-192 (январь–февраль), создание совместного китайско-российского предприятия «КИАЭ — НИИАР-компания по производству радиоизотопов» (г. Пекин)
7 мая 1993 года	Энергетический пуск реактора СМ после четвёртой реконструкции
14 апреля 1994 года	Присвоение статуса государственного научного центра
16 июня 1997 года	Приказ Министерства среднего машиностроения о создании в НИИАРе установки для переработки плутония оружейного происхождения
Июль 1997 года	На Марс приземлился аппарат «Патфайндер», для его приборов в НИИАРе изготовили источники альфа-излучения
27 июля 1998 года	Директором назначен А.Ф. Грачёв

Дата	Событие
Октябрь 1999 года	Изготовление первой сборки реактора БН-600 из оружейного плутония, начало работ по конверсии оружейного плутония, подтверждение статуса государственного научного центра
2004 год	На Марс приземлились два марсохода «Спирит» и «Оппортьюнити», а космический аппарат «Розетта» отправился на комету Чурюмова — Герасименко
2006 год	Пятьдесят лет со дня основания института, директором назначен А.В. Бычков, завершены работы по проектированию и изготовлению 34 стержней системы управления и защиты для исследовательских реакторов Китая
15 ноября 2010 года	Визит председателя Счётной палаты Российской Федерации С.В. Степашина
18 декабря 2010 года	Визит заместителя председателя правительства Российской Федерации И.И. Шувалова, пуск первой очереди производства молибдена-99
Февраль 2011 года	Директором назначен В.М. Троянов
Апрель 2011 года	Пятьдесят пять лет со дня основания института
26 сентября 2011 года	Визит президента Российской Федерации Д.А. Медведева, руководством Роскосмоса за участие в создании элементов для орбитального телескопа «ЛЕНД» отмечены Л.Л. Казаков и В.Д. Рисованный, за обоснование радиационных характеристик изделий «Тополь», «Енисей», «Бук», «Вега» — Е.П. Ключков, В.Н. Шулимов, Ю.Г. Топоров
Июнь 2012 года	Визит делегации Совета Федерации Федерального собрания Российской Федерации
Июль 2012 года	Подтверждение статуса государственного научного центра
Август 2012 года	Приземление марсохода «Кьюриосити» на Марс. Сотрудники радиохимической лаборатории М.А. Рябина изготовили источники альфа-излучения для приборов этого марсохода
Октябрь 2012 года	Директором назначен С.В. Павлов
Май 2013 года	Юбилейная X Российская конференция по реакторному материаловедению
31 мая 2013 года	На заседании Совета глав правительств Содружества Независимых Государств ОАО «ГНЦ НИИАР» было признано базовой организацией по информационному обмену в области обеспечения безопасности исследовательских ядерных установок государств — участников СНГ
Июль 2014 года	Получена лицензия Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору на право размещения реактора МБИР
Август 2014 года	Выведен из эксплуатации исследовательский ядерный реактор РБТ-10/1
Май 2015 года	Директором института назначен А.А. Тузов, получена лицензия от Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору на сооружение реактора МБИР
Декабрь 2015 года	Подтверждение статуса государственного научного центра
Апрель 2016 года	Шестьдесят лет со дня основания института
Сентябрь 2016 года	АО «ГНЦ НИИАР» признано Международным центром исследований под эгидой МАГАТЭ. Вручение сертификата Международного центра для реализации совместных научно-исследовательских проектов на базе исследовательских реакторов (ICERR) состоялось в рамках 60-й Генеральной конференции МАГАТЭ в городе Вене

Набор персонала проводили ускоренными темпами. Опытный персонал был направлен в НИИАР с предприятий атомной отрасли (например, производственного объединения «Маяк»; Сибирского, Ангарского и Красноярского комбинатов) и других предприятий Министерства среднего машиностроения Уральского и Среднеазиатского регионов. Комплектация научного и инженерно-технического персонала осуществлялась в первую очередь молодыми специалистами — выпускниками

Московского инженерно-физического института, Московского энергетического института, Горьковского политехнического института, Уральского политехнического института имени С.М. Кирова, Ленинградского политехнического института имени М.И. Калинина, Ленинградского технологического института, Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Томского политехнического института и других вузов. Общая численность персонала росла и достигла

своего максимального значения в 1989 году — 6 945 человек. С 2000 по 2013 годы численность института снизилась с 6 900 до 4 900 человек, в 2014 году она составляла 3 937, в 2015 году — 3 642, а в 2016 году — 3 398 человек.



*Главным я считаю перевод из статуса опытной станции по испытанию ядерных реакторов в статус научно-исследовательского института. Произошло это 21 июля 1959 года. То, что мы постепенно вырастаем из прежнего «станционного» состояния, стало ясно уже в конце 1958 года. Внутри коллектива разговоры о необходимости изменения статуса велись. И так получилось, что в этом же направлении развивались мысли и у руководства отрасли. Во время посещения нашей площадки председатель комитета по использованию атомной энергии А.М. Петросьянц спросил меня: «Как вы отнесётесь к переименованию в НИИ?». Я ответил, что такое предложение есть и у нас и я даже могу предложить его полное название. Так с моей, надеюсь, лёгкой руки и появилась эта аббревиатура — НИИАР.*

Из воспоминаний Д.С. Юрченко

## ДИРЕКТОРА ИНСТИТУТА



**ГЕРАСИМОВ**

Фёдор Герасимович  
(1956–1958 годы)



**ЮРЧЕНКО**

Дмитрий Сергеевич  
(1958–1964 годы)



**КАЗАЧКОВСКИЙ**

Олег Дмитриевич  
(1964–1973 годы)



**ЦЫКАНОВ**

Владимир Андреевич  
(1973–1989 годы)



**ИВАНОВ**

Валентин Борисович  
(1989–1998 годы)



**ГРАЧЁВ**

Алексей Фролович  
(1998–2006 годы)



**БЫЧКОВ**

Александр Викторович  
(2006–2011 годы)



**ТРОЯНОВ**

Владимир Михайлович  
(2011–2012 годы)



**ПАВЛОВ**

Сергей Владленович  
(2012–2015 годы)



**ТУЗОВ**

Александр Александрович  
(с 2015 года по наст. время)

## ГЛАВНЫЕ ИНЖЕНЕРЫ



### ЕРМОЛАЕВ

Михаил Иванович  
(1958–1960 годы)



### БЕЛОВ

Алексей Романович  
(1960–1965 годы)



### ДЕМЬЯНОВИЧ

Михаил Антонович  
(1965–1986 годы)



### ФОФАНОВ

Владимир Сергеевич  
(1986–1993 годы)



### ГРАЧЁВ

Алексей Фролович  
(1993–1998 годы)



### КАЛЫГИН

Владимир Валентинович  
(1998–2006 годы)



### СВЯТКИН

Михаил Николаевич  
(2006–2013 годы)



### ПЕТЕЛИН

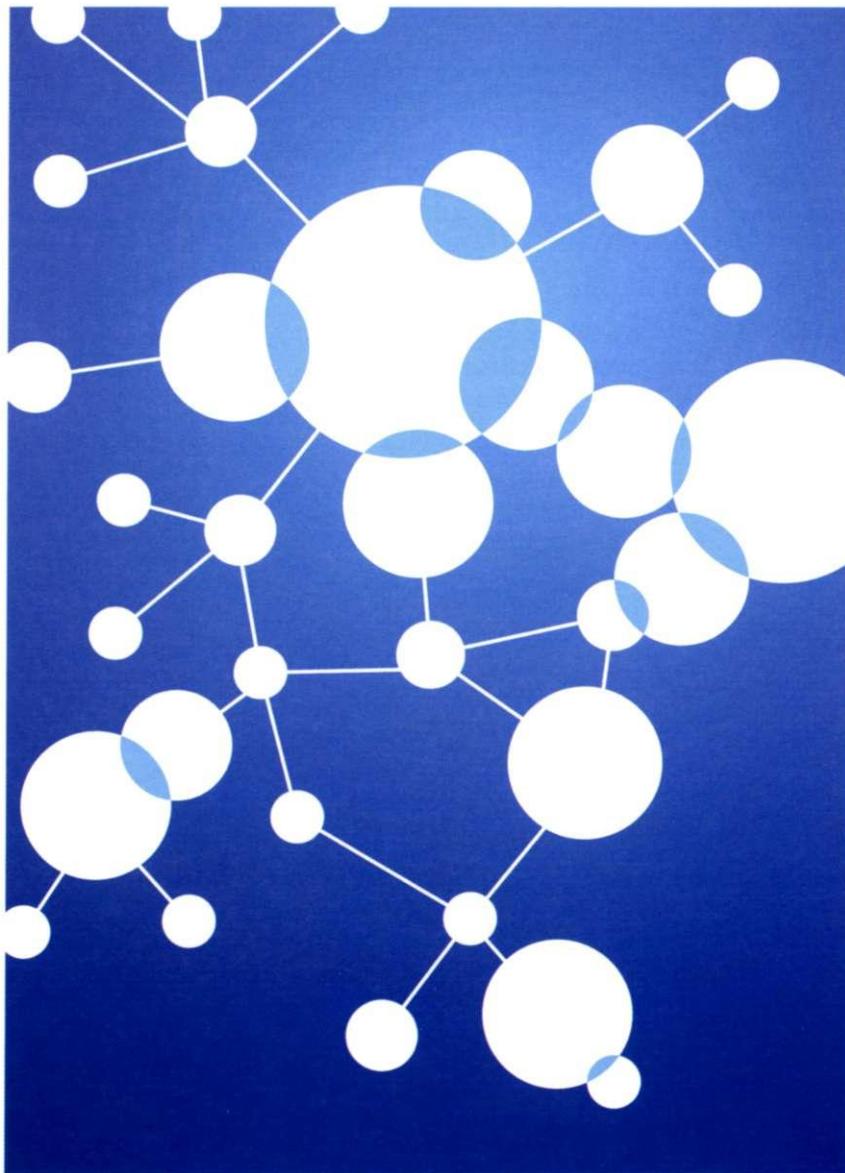
Алексей Леонидович  
(2013–2015 годы)



### ВОРОБЕЙ

Андрей Олегович  
(с 2015 года по настоящее время)

## Глава 2



## **СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ**

## 2.1. Создание экспериментальной базы

*Наука является коллективным творчеством  
и не может быть ничем иным; она как монументальное сооружение,  
строить которое нужно века и где каждый должен принести камень,  
а этот камень часто стоит ему целой жизни.*

А. Пуанкаре

### Реакторная установка СМ

Сооружение здания реактора СМ началось летом 1958 года. Строительство шло быстрыми темпами, поскольку объект входил в число 100 важнейших строек Советского Союза. Первым начальником реакторной установки СМ был назначен М.А. Борисов. Весной 1959 года первыми начальниками смен реактора СМ стали А.Д. Желонкин, П.Ф. Карягин, Ю.А. Соловьёв, В.Д. Тетюков, Е.В. Борисюк, а с 1960 года началась комплектация сменного персонала. Были назначены начальники служб: электриков — И.А. Плотников, механиков — М.А. Кулешов, службы «Д» — И.М. Носов, технологов — Ю.А. Соловьёв. Научным руководителем реактора 20 февраля 1960 года назначен В.А. Цыканов, а главным инженером реактора 15 марта этого же года — П.Г. Аверьянов.

Летом 1960 года в помещении второго горизонтального канала начал создаваться критический стенд — физическая модель реактора СМ. Стенд введён в эксплуатацию 27 января 1961 года. В феврале 1961 года на критическом стенде получены первые нейтроны. Физический пуск реактора проведён весной 1961 года, а энергетический пуск был начат 21 сентября 1961 года. Датой завершения строительства реактора СМ считается октябрь 1961 года, когда была достигнута проектная мощность 50 МВт.

Разработчикам реактора СМ из НИИАР, НИКИЭТ, ИАЭ, ВНИИНМ, ЭМЗ и ВНИПИЭТ в 1967 году была присуждена Ленинская премия. От НИИАРа этой премии удостоены Е.Д. Воробьёв и В.А. Цыканов.

За время эксплуатации реактор СМ неоднократно реконструировался с целью расширения экспериментальных возможностей и повышения уровня безопасности. В результате существенные изменения были внесены в конструкцию активной зоны и отражателя, во все основные технологические системы реактора.



Внешний вид здания реактора СМ

*Вырос институт и многое изменилось с памятного дня 13 июля 1958 года, когда группы геодезистов и сотрудников института нашли реперную точку и на местности, в дремучем лесу, определили точку левого угла здания будущего реактора. По обычаю предков, в честь этого события была принесена жертва, за отсутствием добровольцев, первая попавшаяся лягушка. Не было салютов и фейерверков, но каждый из них тогда уже знал, что на этом месте вырастет красивое здание с самым мощным по нейтронному потоку реактором, который предстояло построить и эксплуатировать и что этим творением наших учёных будет восхищаться мир.*

Из воспоминаний В.А. Цыканова о строительстве реактора СМ

В ходе **первой реконструкции** в 1964–1965 годах была увеличена высота активной зоны от 250 до 350 мм, осуществлён переход на новый вид конструкции тепловыделяющего элемента и на новые органы системы управления и защиты, произведена замена оксида бериллия в отражателе на металлический бериллий. Мощность реактора

была увеличена от 50 до 75 МВт. Нейтронно-физические, технические и эксплуатационные характеристики были существенно улучшены по отношению к аналогичным проектным, что позволило реактору СМ занять лидирующие мировые позиции по этим показателям.

**Вторая реконструкция**, успешно проведённая в апреле–мае 1974 года, была вызвана необходимостью увеличения запаса реактивности активной зоны и мощности реактора СМ. После замены теплообменного оборудования на новое и выполнения мероприятий по дальнейшему увеличению эффективности системы управления и защиты мощность реактора была увеличена до 100 МВт. В результате плотность потока тепловых нейтронов возросла до  $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , что позволило реактору СМ стать самым высокопоточным в мире.

**Третья реконструкция**, проведённая в 1977–1978 годах, была вызвана необходимостью замены центральной зоны реактора в связи с исчерпанием её ресурса. Проектная документация была разработана в конструкторском отделе института, а металлоконструкции изготовлены в опытно-экспериментальном цехе. Были также сконструированы и изготовлены защитные кожухи на входные и выходные патрубки корпуса. На участке контрольно-измерительных приборов и автоматики (А.Р. Щеглов) был разработан проект новой компоновки щитов управления экспериментальными петлями. Был разработан и полностью смонтирован новый пульт управления реактором, введена в эксплуатацию водно-химическая петля. Реактор был остановлен на реконструкцию 26 октября 1977 года, а 10 февраля 1978 года выведен на проектный уровень мощности. Кампания реактора в связи с увеличением эффективности стержневой системы управления и защиты и с увеличением запаса реактивности возросла до 12 сут при среднем выгорании топлива в выгружаемых тепловыделяющих сборках 30 %. Повышен запас до кризиса теплосъёма до значения 1,7. Сокращена численность обслуживающего персонала каждой из смен от 17 до 12 человек. Проведённая реконструкция обеспечила ещё более 10 лет безопасной эксплуатации реактора.

В начале 1980-х годов встал вопрос о четвёртой, коренной, реконструкции реактора СМ. В первую очередь речь шла о замене корпуса реактора и об изменении схемы подвода теплоносителя. Результаты предварительного анализа показали, что извлечение старого, сильно активированного корпуса потребует больших материальных затрат; еще больших затрат потребует установка нового корпуса на место старого. Поэтому было принято решение о монтаже нового реактора в помещении третьего горизонтального канала. 1 марта 1985 года был утверждён первый вариант проекта реконструкции реактора СМ, которая намечалась на 1987–1988 годы. К сожалению, по ряду причин первый вариант проекта не был воплощён в жизнь.

Второй вариант **проекта четвёртой реконструкции** предусматривал установку нового корпуса (изготовленного на заводе в г. Волгодонске) реактора СМ

с внутрикорпусными устройствами в старый, который становился страховочным корпусом. По мере претворения в жизнь проект обрастал всё новыми решениями и разработками. Наиболее существенные изменения были внесены после Чернобыльской аварии. Были разработаны дополнительная система аварийного охлаждения реактора, новая система контроля радиационной безопасности, система сбора информации на ЭВМ; предусмотрены дизельные электростанции и многое другое. Существенно переработана система электроснабжения. Разработку проекта реконструкции осуществляли при непосредственном участии специальной группы кураторов-технологов во главе с Е.В. Борисюком. В ноябре 1986 года в связи с отказом сторонней организации от проектирования логической части системы управления и защиты при конструкторском отделе была создана рабочая группа во главе с В.И. Голиковым, которая выполнила намеченную работу в установленные сроки. Проект реконструкции включал в себя: использование нового корпуса с подводом и отводом теплоносителя в верхней части; замену силовых и контрольных кабелей на кабели негорючего исполнения и модернизацию системы пожаротушения; создание дополнительных каналов аварийного охлаждения и расхолаживания активной зоны; повышение независимости и разделение каналов контроля технологических параметров; исключение возможности образования вторичных критических масс; создание дополнительного источника электроснабжения; уменьшение эффекта реактивности из-за обезвоживания центральной полости.

В ходе реконструкции изменились количество и расположение экспериментальных каналов в отражателе при сохранении конфигурации активной зоны. Петлевой канал в центральной нейтронной ловушке был заменён на бериллиевый блок с 27 отверстиями для облучаемых мишеней, что на треть увеличило эффективность производства одного из наиболее востребованных радионуклидов — калифорния-252.

К лету 1989 года всё было готово к реконструкции реакторной установки СМ. В июле директор отделения реакторного материаловедения В.А. Куприенко назначен ответственным за организацию подготовительных работ и работ по остановке реактора СМ на реконструкцию. Проведение этой реконструкции реактора СМ можно назвать крупным научно-техническим достижением всего коллектива института. Действительно, проведение реконструкции в сложных экономических условиях начала 90-х годов в настоящее время выглядит как подвиг. Поэтому судить строго за несоблюдение каких-то сроков, графиков просто невозможно. Несколько раз возникали ситуации, когда из-за организационных неурядиц или из-за отсутствия финансирования после очередной реформы работы просто останавливались.

В октябре 1990 года заместитель начальника отдела исследовательских реакторов М.Н. Святкин был назначен руководителем работ по проведению реконструкции

и освобождён от исполнения других обязанностей. Заместителем руководителя работ был назначен главный инженер реактора В.А. Гремячкин. 22 декабря 1990 года для проведения реконструкции был остановлен реактор СМ, а 29 декабря — реактор РБТ-6. Кроме персонала реакторной установки СМ активное участие в работе приняли специалисты цеха централизованного ремонта.

31 января 1992 года руководителем физического пуска реактора СМ после реконструкции был назначен Р.И. Коротков. Была сформирована группа контролирующих физиков в составе: В.В. Калыгина, А.П. Малкова, Н.Х. Хайруллина, О.В. Анисимова. В декабре 1992 года проведён физический пуск реактора. Седьмого мая 1993 года был завершён энергетический пуск реактора СМ после реконструкции, 13 мая этого же года издан приказ Государственного управления о вводе реакторной установки СМ в эксплуатацию. Таким образом, в НИИАРе стала функционировать полностью обновлённая реакторная установка СМ. Модернизация петлевых установок реактора СМ завершилась в 1995 году пуском петли ВП-3, а в 2001 году — пуском петли ВП-1. В этом же году в институте под научным руководством В.А. Цыканова был начат большой комплекс исследований для обоснования модернизации активной зоны реактора СМ с целью расширения его экспериментальных возможностей и улучшения топливного цикла.

Высочайший потенциал установки далеко не исчерпан, это подтверждает проведённая в 2002 году замена центрального бериллиевого блока на сеператорную конструкцию из 27 тонкостенных циркониевых труб с водой в межтрубном пространстве, повысившая плотность потока тепловых нейтронов на 30 % и соответственно эффективность получения никеля-63, селена-75 и других востребованных изотопов, для накопления которых необходима высокая плотность потока тепловых нейтронов.

Выполненные под руководством В.А. Старкова расчёты и экспериментальные исследования на критическом стенде, проведённые группой А.П. Малкова, показали возможность размещения двух дополнительных экспериментальных петлевых каналов большого диаметра непосредственно в активной зоне при компенсации возникающих при этом потерь реактивности за счёт 20 %-ого увеличения массы урана-235 в твэле при сохранении его геометрии, материалов оболочки и топливной матрицы.

После успешных испытаний разработанных ВНИИНМ и НИКИЭТ новых твэлов и ТВС в петле ВП-1 реактора СМ и их материаловедческих исследований в течение пяти месяцев 2005 года без прекращения эксплуатации реактора был выполнен его поэтапный перевод на новое топливо (техническое руководство работами — М.Н. Святкин и А.Л. Петелин, научно-методическое — В.А. Старков и А.П. Малков). Кроме очевидного расширения экспериментальных возможностей реактора получена значительная (до 40 %) экономия в использовании топлива. Основной вклад в выполне-

ние этой работы внесли начальники отделов А.Е. Новосёлов, А.В. Клинов; начальники лабораторий В.А. Старков, В.Ю. Шишин; научные сотрудники В.В. Пименов, В.Г. Дворецкий, В.Е. Федосеев.

Вертикальный и горизонтальный разрезы реактора СМ современного исполнения показаны далее на рисунках. В таблице приведены современные технические характеристики реактора СМ.

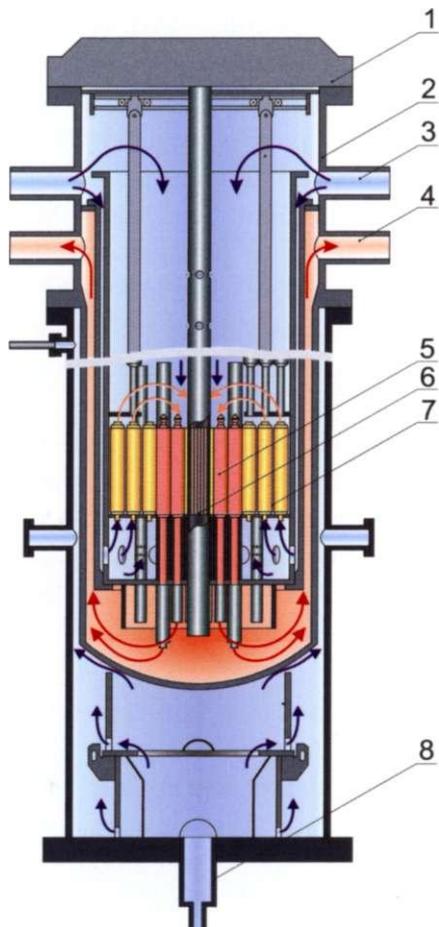
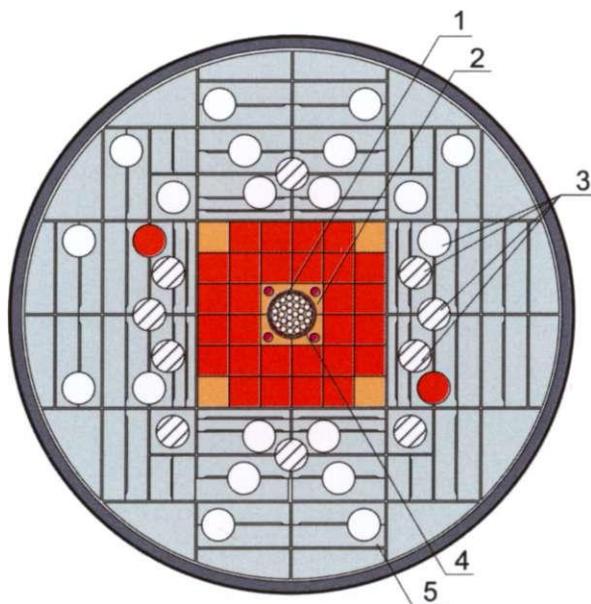


Схема реактора СМ:

1 — крышка; 2 — корпус; 3 — входной патрубок;  
4 — выходной патрубок; 5 — ТВС; 6 — центральная  
ловушка; 7 — бериллиевый отражатель; 8 — входной  
патрубок системы охлаждения межкорпусного  
пространства



Картограмма активной зоны реактора СМ:

1 — центральная ловушка; 2 — бериллиевые  
вкладыши; 3 — облучательные каналы;  
4 — центральный компенсирующий орган;  
5 — бериллиевые блоки отражателя

## Основные технические характеристики реактора СМ

Характеристика	Значение
Мощность реактора тепловая, МВт	100
Максимальная плотность потока нейтронов, см <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup> :	
тепловых	5·10 <sup>15</sup>
быстрых	2·10 <sup>15</sup>
Объём активной зоны, л	50
Высота активной зоны, м	0,35
Объёмная плотность теплового потока активной зоны, МВт/л:	
средняя	2
максимальная	10
Топливо	Кермет с диоксидом урана
Обогащение, %	90
Замедлитель	Вода
Теплоноситель	Вода
Отражатель	Бериллий
Параметры теплоносителя:	
температура, °С:	
на входе в активную зону	До 50
на выходе из активной зоны	До 95
расход, т/ч	2400
давление, МПа	4,9
Количество исполнительных органов СУЗ, шт.:	
автоматического регулирования	2
компенсирующих	5
аварийной защиты	4
Среднее выгорание урана-235, %	35

В последние годы ведутся работы по переводу реактора на новое слабопоглощающее топливо, предусматривающие применение выгорающего поглотителя. Работы по совершенствованию самого мощного реактора планеты продолжаются!

## Реакторная установка МИР

Строительство многопетлевого исследовательского реактора началось в 1960 году. Физический пуск состоялся 25 декабря 1966 года. В августе 1967 года осуществлён энергетический пуск реактора МИР с двумя водяными петлями ПВ-1 и ПВК-1. Был достигнут уровень мощности 25 МВт, что обеспечивало проведение ресурсных испытаний петлевых сборок. В декабре 1967 года закончено строительство второй очереди с петлевыми установками со свинцово-висмутовым и натриевым теплоносителями.

За создание реакторной установки МИР наиболее отличившиеся специалисты были награждены медалями Выставки достижений народного хозяйства СССР. Первым начальником реакторной установки МИР был Г.С. Цветков. В мае 1965 года главным инженером назначен В.А. Зверев. В 1969 году заместителем главного инженера по реактору МИР отделения исследовательских реакторов был назначен И.Д. Куликов.



Внешний вид здания реактора МИР

В 1975 году была проведена реконструкция, позволившая реализовать новый вариант компоновки активной зоны, при котором значительно улучшились экспериментальные возможности реактора. Для проведения экспериментов продолжалось сооружение новых петлевых установок: петли ПВ-2 и петли ПВК-2 — для внутриреакторных испытаний тепловыделяющих элементов и конструкционных материалов водоохлаждаемых реакторов в теплоносителе первого контура, в том числе в режиме кипения. В декабре 1976 года была создана группа по разработке высокотемпературной петлевой установки с гелиевым теплоносителем реактора МИР. Ответственность за разработку была возложена на лабораторию С-3 под руководством Е.П. Ключкова. В то время петлевая установка ещё не была создана. Лишь через 13 лет, в 1989 году, на реакторной установке МИР появилась петлевая установка с газовым теплоносителем ПГ-1, предназначенная для комплексных исследований работоспособности тепловыделяющих элементов и ТВС перспективных энергетических реакторов с газовым теплоносителем типа ВТГР. В июне 1978 года был осуществлён ввод в эксплуатацию петлевой установки с органическим теплоносителем ПО-1. Она была создана взамен натриевой петли ПМ-1 и предназначена для выполнения работ по тематике реактора АРБУС-АСТ. После окончания эксплуатации этой реакторной установки прекратила существование и петля ПО-1. В апреле 1983 года принято решение о создании петлевой установки ПВП-1 для ресурсного испытания в режиме кипения опытных тепловыделяющих элементов, ТВС и конструкционных материалов. Создана рабочая группа под техническим руководством Г.Ф. Коренева. Сооружение этой петлевой установки началось в июле и закончилось в августе 1984 года.

После аварии на Чернобыльской АЭС остро встал вопрос о поведении топлива при проектных и запроектных авариях. При поддержке руководства Министерства среднего машиностроения СССР в рекордные сроки было проведено сооружение петлевой установки ПВП-2 для изучения теплогидравлических характеристик и последующих ресурсных испытаний опытных ТВС, в том числе при проектных авариях. Персональная ответственность за создание установки была возложена на руководителей НИИАРа, ДУС, МСУ-14, МСУ-30. Научное руководство экспериментами было возложено на А.Ф. Грачёва. В апреле 1989 года (через три года после аварии на Чернобыльской АЭС) был осуществлён ввод петлевой установки в эксплуатацию и вывод её на мощность.

Рабочая группа по модернизации петлевой установки ПВП-2 для испытаний твэлов реакторов типа ВВЭР в аварийных ситуациях была создана 2 июля 1991 года. Группу возглавил первый заместитель директора института В.А. Цыканов. В состав группы вошли специалисты ИАЭ, ФЭИ, ОКБМ, ВНИИНМ, НПО «Луч». 13 января 1994 года было принято решение о проведении реконструкции петлевой установки ПВП-2 для обеспечения начала реакторных испытаний типа «Большая

течь» в первом квартале 1995 года. Все работы по модернизации были успешно проведены. Далее в таблице приведены современные технические характеристики реактора МИР, а на рисунках показаны его схема и активная зона.

### Основные технические характеристики реактора МИР

Характеристика	Значение
Тепловая мощность, МВт	До 100
Максимальная плотность потока нейтронов, см <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>	5·10 <sup>14</sup>
Вид топлива	Металлокерамика на основе диоксида урана
Обогащение топлива, %	90
Замедлитель	Бериллий, вода
Теплоноситель	Вода
Отражатель	Бериллий
Параметры теплоносителя:	
температура, °С:	
на входе в активную зону	До 40
на выходе из активной зоны	До 95
расход через активную зону, т/ч	2500
давление в первом контуре, МПа	1,24
Количество органов системы управления и защиты:	
автоматического регулирования	2
компенсирующих	21
аварийной защиты	6
каналов с догрузкой	12
Среднее выгорание <sup>235</sup> U по активной зоне, %	20–25
Выгорание <sup>235</sup> U в выгружаемом топливе, %	50
Общее число петлевых каналов	До 11
В том числе:	
с водой под давлением	4
с кипящей водой	4
пароводяных	1–2
газовых	1

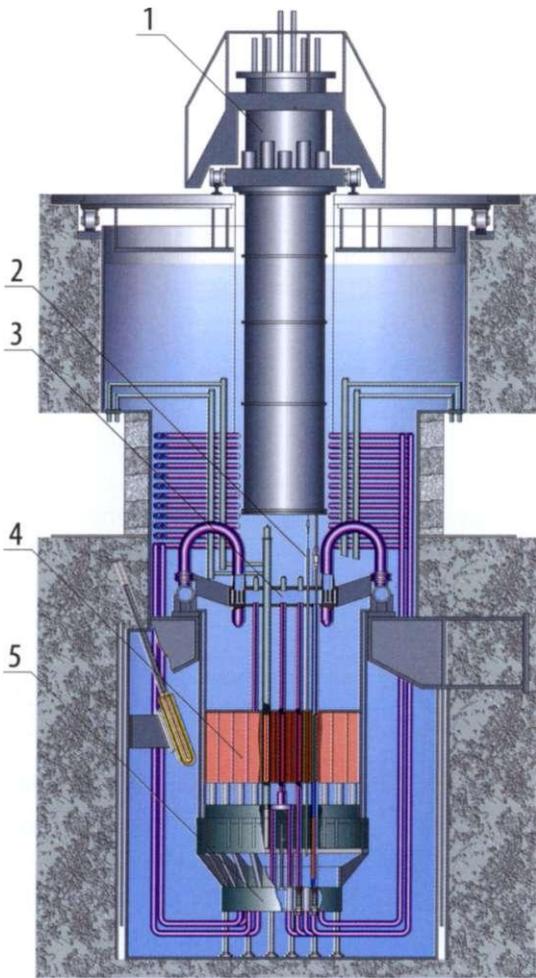
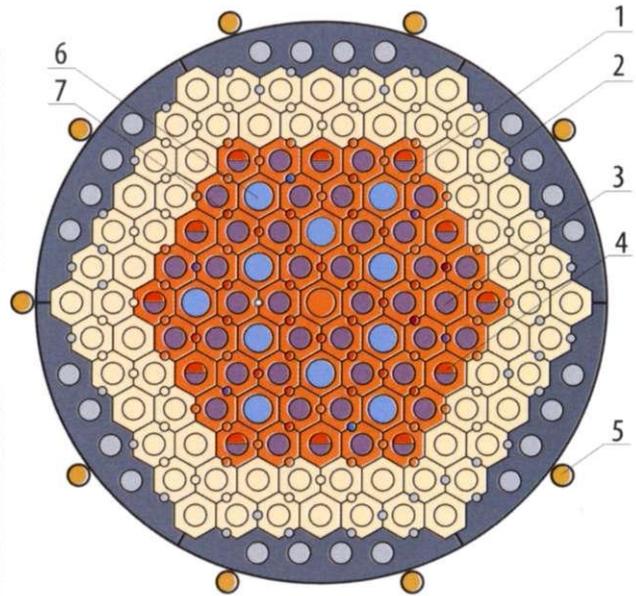


Схема реактора МИР: 1 — тележка приводов системы управления и защиты; 2 — компенсирующая стержень; 3 — водяной коллектор; 4 — активная зона; 5 — трубная решётка



Картограмм активной зоны реактора МИР: 1 — бериллиевый блок активной зоны; 2 — бериллиевый блок отражателя; 3 — рабочий канал; 4 — канал с догрузкой; 5 — ионизационная камера; 6 — петлевой канал; 7 — стержень системы управления и защиты

## Критические стенды реакторов МИР и СМ

Критические сборки, которые моделируют активные зоны реальных установок, часто называют физическими моделями реакторов. В начале 1966 года было начато сооружение на здании 170 физической модели реактора МИР. В октябре 1966 года критический стенд с физической моделью реактора МИР был введён в эксплуатацию. В 1968 году было принято решение о переносе критической сборки реактора СМ со здания 106 и размещении её в помещениях критического стенда реактора МИР.

Критический стенд реактора СМ введён в эксплуатацию на новом месте 29 декабря 1969 года. За все время существования подразделений физического профиля (в состав которых входили критические стенды реакторов СМ и МИР) в них работало около 150 сотрудников. Многие из них принимали участие в пуске и дальнейшем научном сопровождении эксплуатации реакторов СМ, МИР, РБТ-6, РБТ-10. Большой вклад в изучение нейтронно-физических характеристик исследовательских реакторов НИИАРа и постановку экспериментов в них внесли Ю.П. Кормушкин, Н.А. Клименкова, Б.А. Залётных, Р.М. Нефёдова, Г.А. Кормушкина, В.В. Фрунзе, А.В. Клинов, И.Ф. Поливанов, Р.И. Коротков, Г.Д. Лядов, М.Е. Горюнов, С.Н. Зизина, Т.Г. Рябошапка, Ю.Г. Топоров, В.П. Бурукин, В.В. Пименов, В.В. Калыгин, А.П. Малков, Н.Х. Хайруллин, Ю.Е. Ванеев, В.А. Старков, Л.В. Булычёва, Н.А. Нехожина, А.В. Мамелин, В.А. Адаев, В.А. Тарасов, В.А. Ануфриев.

Проведение работ на реакторах и критических стендах в течение более пятнадцати лет, а также обработку и оформление результатов исследований обеспечивали П.П. Мезенцева, В.Н. Шевалдин, В.Г. Кусиков, О.А. Рыбакова, О.В. Пименова, Л.В. Мамелина. В составе группы критических стендов в настоящее время продолжает трудиться заслуженный ветеран А.Ф. Евсеев.

### **Критический стенд «Спектр»**

Критическая сборка «Спектр» в первом приближении является физической моделью реактора БОР-60. Была сооружена в 1971 году в здании 103, активная зона собрана из 73 тепловыделяющих сборок реактора БОР-60 без натрия и графитового отражателя. Главная задача — оценка и уточнение нейтронно-физических констант делящихся и сырьевых материалов, что необходимо для определения выгорания и накопления топлива, составляющих коэффициента воспроизводства. В центре активной зоны критической сборки проводились измерения относительной эффективности стержней системы управления и защиты, множества конструкций с различными поглощающими материалами. По инициативе МАГАТЭ на этой критической сборке разработан и выполнен цикл работ по испытанию методик, обеспечивающих эффективный неразрушающий контроль количества высокообогащённого ядерного материала. Были организованы курсы по обучению инспекторов МАГАТЭ по применению методик. Результаты работ на критической сборке нашли применение в технологическом контроле производства твэлов на установке «Орёл».

Основной вклад в сооружение и функционирование сборки «Спектр» внесли С.М. Баранов, А.А. Шкурпелов, А.В. Инчагов, И.В. Яковлева, Ю.М. Карацуба, Н.Р. Нигматуллин, С.Н. Хиленко, Ю.И. Лещенко, А.К. Горобец, А.Л. Семёнов, Л.И. Демидов, М.А. Афанасьев, И.Н. Алексеев.

## Реакторная установка БОР-60

Постановление о строительстве реактора БОР-60 принято в сентябре 1964 года. Строительство началось в мае 1965 года, энергетический пуск состоялся в декабре 1969 года. В полном объёме реакторный комплекс БОР-60 принят 28.12.1970 года.

В разработке проектной и конструкторской документации, курировании изготовления оборудования и проведении строительно-монтажных работ активное участие принимали: А.М. Смирнов, В.П. Кевролев, В.М. Грязев, Н.В. Красноярров, Г.И. Гаджиев, Б.Н. Нечаев, В.Б. Ермолаев, В.И. Кондратьев, В.Н. Ефимов, В.Н. Бритов, В.Я. Кравченко, В.С. Сроелов. За существенный вклад в работы по созданию реакторной установки БОР-60 сотрудники НИИАРа А.М. Смирнов, Е.В. Борисюк, Н.В. Красноярров удостоены Государственной премии СССР. Работы сотрудников НИИАРа по созданию реакторной установки БОР-60 отмечены медалями ВДНХ.



Внешний вид здания реактора БОР-60

Спектр нейтронов с энергией свыше 0,1 МэВ содержит 80 % всего нейтронного потока, достигающего в центре реактора значения примерно  $3,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Именно высокопоточный реактор с жёстким спектром был необходим для ускоренных реактор-

ных испытаний всего спектра реакторных материалов: топливных, конструкционных, поглощающих, а также моделей твэлов, пэлов для проектируемого реактора БН-600. Пик реакторных испытаний изделий по данной программе, разработанной во ВНИИНМ и ОКБМ, пришёлся на 70-е годы. На реакторе БОР-60 работой руководил В.М. Грязев. Обеспечивала необходимые температурно-дозные условия испытаний группа В.Л. Тимченко, основываясь на уточнённых нейтронно-физических и теплогидравлических расчётах, а также на экспериментальных данных, полученных сотрудниками Н.А. Асеевым, Р.Р. Мельдером, В.А. Неверовым, С.А. Маркиным, А.Н. Щучкиным. После окончания этой работы, выбора материалов и решений и состоявшегося пуска реактора БН-600 к началу 80-х годов под руководством В.А. Цыканова стала выполняться программа по переводу реактора БОР-60 на смешанное уран-плутониевое оксидное виброуплотнённое топливо. Первые экспериментальные твэлы с виброуплотнённым оксидным топливом были изготовлены в материаловедческом отделе в начале семидесятых сотрудниками лабораторий Г.А. Стрельникова, В.Н. Сюзёва, Ю.В. Чушкина. Демонстрационная работа реактора БОР-60 с данным топливом началась с декабря 1981 года, и с тех пор реактор работает на виброуплотнённом оксидном урановом или смешанном уран-плутониевом топливе. Работы по совершенствованию топлива возглавил А.А. Маёршин, затем — В.А. Кислый, а группа А.А. Тейковцева обеспечивала испытания в реакторе и паспортизовывала результаты. Одновременно выполнялись работы по облучению циркониевых сплавов для водо-водяных энергетических реакторов, материалов для термоядерного реактора ИТЕР, твэльных и чехловых материалов производства США, Франции, Швеции, материалы внутрикорпусных устройств и корпусов различных водо-водяных реакторов. Начиная с 1992 года на реакторе БОР-60 производится наработка радиоизотопной продукции (примерно  $29,6 \cdot 10^{11}$  Бк/год (80 Ки/год)) для медицинских целей, например стронция-89. В вертикальных каналах испытывалась электрокерамика. На установке испытаны пять парогенераторов «натрий–вода» различного типа, запорная арматура. В настоящее время на реакторе выполняются многочисленные контрактные и договорные работы для отечественных реакторов: МБИР, БРЕСТ, а также для иностранных заказчиков. Современный горизонтальный и вертикальный разрезы реактора БОР-60 показаны далее на рисунках.

На установке БОР-60 выполняли большой объём экспериментальных работ по обоснованию безопасности, особое внимание уделялось вопросам специальной технологии. Здесь же впервые были разработаны и испытаны ловушки радиоактивного цезия (А.М. Соболев, Н.В. Краснояров, В.И. Поляков, В.Ф. Коньков) и радиоактивных коррозионных элементов (В.И. Поляков) из натрия первого контура, устройство контроля (измерения) цезия-137 в натриевом теплоносителе первого контура работающего реактора (А.М. Соболев, В.И. Поляков, Д.И. Старожуков) и целостности оболочек твэлов в активной зоне реактора БОР-60 (А.М. Соболев, В.И. Поляков, Д.И. Старожуков, В.В. Коняшов). Эти устройства были

внедрены на реакторных установках БН-350 и БН-600, где успешно работали. Научное руководство этими работами осуществлял Ю.В. Чечёткин.

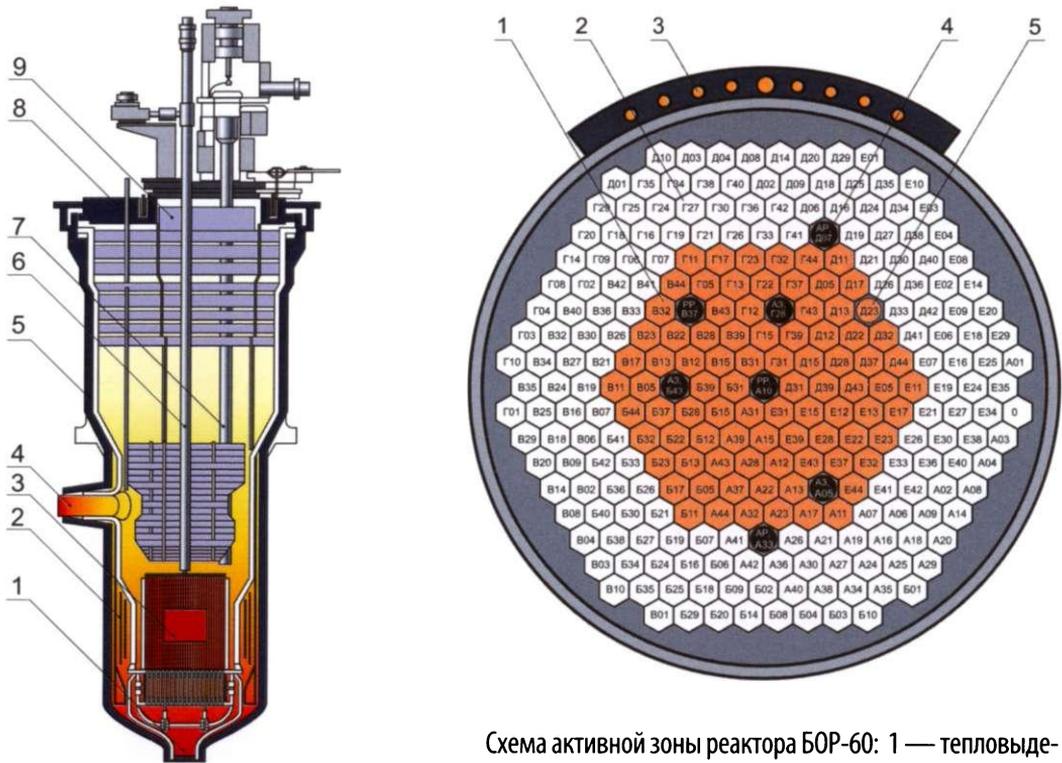


Схема реактора BOR-60: 1, 4 — входной и выходной патрубki соответственно; 2 — тепловая и нейтронная защита корпуса реактора; 3 — активная зона; 5 — корпус; 6 — управляющий стержень; 7 — перегрузочный канал; 8, 9 — большая и малая защитные поворотные пробки

Схема активной зоны реактора BOR-60: 1 — тепловыделяющие сборки; 2 — сборки бокового экрана; 3 — вертикальные экспериментальные каналы диаметром от 90 до 230 мм; 4 — органы системы управления и защиты; 5 — инструментованная ячейка; AP — автоматический регулятор; PP — ручной регулятор; AZ — стержень аварийной защиты

Время эксплуатации реактора BOR-60 является рекордным по мировым масштабам для таких установок. Подобные реакторные установки: EBR-II, «Рапсодия», KNK-II и DFR давно перестали существовать. Заслуга в долговременном успешном функционировании реакторной установки BOR-60 принадлежит создателям установки, а также коллективам по эксплуатации реактора и исследователям. С целью сохранения экспериментальной базы НИИАРа, а также востребованности исследований на реакторе BOR-60 предпринимается работа по продлению срока его службы. За весь период эксплуатации главными инженерами реактора BOR-60 работали: Е.В. Борисюк, В.П. Кевролев, А.С. Корольков, В.Н. Марашев; в настоящее время — Ю.М. Крашенинников.

## Реакторная установка АРБУС

Совет Министров СССР распоряжением Государственной комиссии по использованию атомной энергии № 1588 от 15.06.1962 года обязал обеспечить в 1965 году пуск атомной реакторной блочной установки с размещением её в Антарктиде, поскольку предполагалось бурное развитие исследований на этом континенте. Прототип установки решили разместить в НИИАРе. Для этого было предложено использовать существующее здание складского хозяйства НИИАРа. В сентябре 1962 года началась реконструкция здания. Установка состояла из 19 блоков заводского изготовления общим весом 365 т, которые к месту монтажа перевозились железнодорожным транспортом. В феврале 1963 года строительство завершилось. Вторая установка АРБУС также была изготовлена, но в Антарктиду так и не доставлена.



Внешний вид здания реактора АРБУС

В первом контуре реактора АРБУС в качестве теплоносителя и замедлителя использовали органическую (углеводородную) среду. Теплоносителем второго контура являлась вода. Пар, образовавшийся в парогенераторах, подавался на турбину (режим АЭС). Мощность турбогенератора составляла 0,75 МВт; электроэнергию использовали для электроснабжения объектов института параллельно с основной энергосистемой. Группа физического пуска под руководством В.М. Грязева и сменного руководителя

В.С. Фофанова была создана 15 марта 1963 года. В группу входили также С.М. Баранов, Г.И. Гаджиев, Б.Е. Ярославцев. Технологическое обеспечение осуществляли Е.В. Борисюк, В.Д. Тетюков, В.А. Барков, В.П. Кевролев, Н.С. Скляр; химический контроль выполняла Н.П. Чикова. Первыми начальниками смен были Б.С. Ярославцев, П.И. Букин, В.И. Архипов, В.В. Егоров, В.П. Овчаров. Установка АРБУС введена в эксплуатацию 18 августа 1963 года. В сентябре 1963 года она была выведена на номинальную мощность.

В 1978 году установка была реконструирована в трёхконтурную атомную станцию теплоснабжения (АСТ-1) тепловой мощностью 5 МВт. Реконструкция была проведена с целью обоснования и отработки режимов работы атомных станций теплоснабжения. Тепловую энергию, вырабатываемую установкой АСТ-1, использовали параллельно с энергией ТЭЦ для отопления объектов НИИАРа и жилого посёлка.

### Основные технические характеристики установки АСТ-1

Характеристика	Значение
Максимальная тепловая мощность, МВт	5
Теплоноситель первого контура, замедлитель	Дитолилметан (C <sub>15</sub> H <sub>16</sub> )
Параметры теплоносителя первого контура:	
давление, МПа	0,65
температура, °С:	
на входе	230
на выходе	240
Расход теплоносителя, м <sup>3</sup> /ч	1320
Теплоноситель второго и третьего контуров	Вода
Температура воды третьего контура, °С	150
Средняя плотность потока тепловых нейтронов, см <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>	1,2·10 <sup>13</sup>
Давление сетевой воды, МПа	0,8

### Реакторная установка ВК-50

Реакторная установка ВК-50 была создана по предложению И.В. Курчатова для изучения одного из направлений атомной энергетики — корпусных кипящих реакторов с естественной циркуляцией. За время эксплуатации (с 1965 года) реактора ВК-50

поставленные задачи по изучению данного направления реакторной техники были решены. За этот период выполнен большой объём опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ, позволивший создать на основе реакторной установки ВК-50 образец региональной атомной теплоэлектроцентрали в рамках программы малой энергетики. Благодаря высококвалифицированным, преданным своему делу специалистам, которые из поколения в поколение передавали свой опыт, знания и способность продолжать начатое дело, установка ВК-50 остаётся единственной в мире атомной электростанцией (с корпусным кипящим реактором на естественной циркуляции), проработавшей более 50 лет.



Внешний вид здания реактора ВК-50

*Здание строящейся атомной электростанции напоминает улей. На лестничных площадках работают штукатуры и маляры, в машинном отделении хозяйничают механики, на пульте управления – электронщики и электрики, везде – люди, каждый занят своим делом. Строители торопятся. Спешат и физики, готовые в любую минуту начать наполнение пока ещё пустого корпуса реактора той самой «начинкой», которая и позволит назвать эту электростанцию атомной.*

О строительстве реактора ВК-50.

Из книги В.С. Губарева «Рождение атомного реактора».

Губарев В.С. Рождение атомного реактора. Встречи в городе физиков. — Атомиздат, 1965. — 97 с.

Строительство реакторной установки ВК-50 началось в 1957 году и осуществлялось с большими временными перерывами. С этого времени начал формироваться коллектив установки. Это были: инженеры-технологи Е.В. Козин, А.И. Гаврилин, Ю.А. Летницкий, А.А. Лисенков, В.Е. Шмелёв; инженер-электрик Г.М. Иванов; инженеры-турбинисты П.С. Попов, Н.Д. Кошелев; инженер КИП и А и системы управления и защиты В.В. Спечак. Первым начальником установки был В.А. Морозов. Первыми начальниками служб были назначены: службы механиков — М.А. Кулешов, службы электриков — В.И. Сурков; службы КИПа и СУЗ — М.П. Лопарев; службы дозиметрического контроля — С.Г. Бакланов; химико-технологической службы — Ю.Ф. Баронкин.

В 1963 году, с началом монтажных работ основного оборудования, руководителями реакторной установки ВК-50 были назначены: начальником установки — В.А. Щепетильников, главным инженером — Ю.А. Соловьёв. Благодаря организаторским способностям В.А. Щепетильникова, производственному опыту Ю.А. Соловьёва, личным волевым качествам обоих руководителей был сформирован коллектив ВК-50, заложены правила и традиции эксплуатации реакторной установки, ставшие базисом дальнейшей успешной работы. В 1964 году был завершён комплекс монтажных работ по системам, необходимым для физического пуска реактора.

Для проведения физического пуска была сформирована служба управления. Первыми начальниками смен стали Н.П. Карбовничий, В.В. Егоров (старший), В.П. Бурукин, С.Н. Тюрин, Е.В. Козин, Е.А. Яковлев. В декабре 1964 года состоялся физический пуск реактора под руководством начальника физической лаборатории В.М. Грязева. Активное участие в подготовке и проведении физического пуска реактора ВК-50 приняли В.С. Фофанов, Р.Е. Федякин, С.М. Баранов, А.В. Инчагов, А.П. Колпаков, И.В. Яковлева, Г.И. Гаджиев. Научным руководителем энергетического пуска являлся А.Я. Крамеров (Институт атомной энергии). Координацию действий подразделений НИИАРа по подготовке и проведению энергетического пуска осуществлял заместитель директора — главный инженер НИИАРа А.Р. Белов.

Научным руководителем реакторной установки ВК-50 в период первого этапа эксплуатации был И.Н. Соколов, начальник лаборатории Института атомной энергии (ныне НИЦ «Курчатовский институт»). Основные этапы энергетического пуска: 15 октября 1965 года реактор выведен в критическое состояние; 17 октября 1965 года тепловая мощность составила 32 МВт; 20 октября 1965 года турбина выведена на номинальные обороты; 21 октября 1965 года в 01 ч 45 мин турбогенератор реакторной установки ВК-50 включён в Ульяновскую энергетическую систему. Операцию по включению в сеть турбогенератора реактора ВК-50 выполнила смена под руководством начальника смены В.В. Егорова. Проектная мощность (140 МВт) реактора ВК-50 была достигнута в сравнительно короткий срок — с октября по декабрь 1965 года. Акт приёмки в эксплуатацию опытной атомной энергетической установки с реактором ВК-50 кипящего типа был утверждён председателем Государственного комитета по использованию атомной энергии А.М. Петросьянцем 15 декабря 1965 года.

Использование установки ВК-50 в качестве экспериментальной базы началось с первых дней её эксплуатации. С 1965 по 1971 годы основные работы на реакторе были направлены на отработку технологических режимов основного оборудования. Была освоена технология и изучены режимы работы оборудования, включая взрыво- и пожаробезопасность при образовании «гремучей смеси», выделение инертных радиоактивных газов и т.д. В этот период для улучшения технологической схемы и повышения надёжности была проведена модернизация исполнительных механизмов СУЗ, отключены два технологических конденсатора, а вместо них смонтирована схема сброса пара реактора в конденсатор турбины через редуционно-охладительную установку. Это повысило надёжность установки при резких изменениях нагрузки турбогенератора.

В 1968–1976 годах по результатам исследований теплогидравлических характеристик контура естественной циркуляции теплоносителя и распределения энерговыделения в активной зоне улучшены эксплуатационные характеристики реактора ВК-50: уменьшено гидравлическое сопротивление ТВС и выравнено поле энерговыделения по высоте активной зоны (с применением стержней выгорающих поглотителей), повышен полезный напор контура естественной циркуляции теплоносителя (модернизация тягового участка), улучшены условия сепарации пара в паровом объёме корпуса реактора и в вынесенных сепараторах.

В исследованиях нейтронно-физических, теплогидравлических и динамических характеристик реактора ВК-50 на первом этапе эксплуатации приняли участие специалисты НИИАРа: Ю.А. Соловьёв, В.И. Кондратьев, В.А. Афанасьев, Р.Е. Федякин, В.П. Садулин, Б.В. Кебадзе, В.Е. Шмелёв, В.М. Ещеркин, Е.В. Козин, Л.А. Адамовский, Г.П. Николаев, Л.И. Демидов и сотрудники Института атомной энергии.

Улучшение теплогидравлических, нейтронно-физических и эксплуатационных характеристик позволило в экспериментальном режиме 26–27 сентября 1973 года на реакторе ВК-50 увеличить тепловую мощность до 256 МВт при электрической нагрузке генератора 60,8 МВт, а объёмную плотность энерговыделения в активной зоне повысить с 28 до 52 кВт/л. Одновременно с изучением и улучшением характеристик реактора ВК-50 на нём в течение 1968–1988 годов выполнен комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью обоснования и совершенствования реакторов типа РБМК. Проведением работ по проблемам РБМК руководили В.Е. Шмелёв, В.Ф. Андреев, Ю.А. Летницкий. За время проведения этих работ на реакторе испытаны: образцы различных конструкционных материалов, отдельные узлы реактора, две модели пароперегревателей турбины К-500, опытные ТВС с твэлами реактора РБМК, два типа турбонасосов для реакторов типа РБМК-П-2000, модель барабана-сепаратора с различными внутрикорпусными сепарационными устройствами для Игналинской и Ленинградской АЭС.

Необходимо отметить, что В.Е. Шмелёв и Ю.А. Летницкий (начиная с 1958 года) всю свою трудовую жизнь посвятили эксплуатации и совершенствованию реакторной установки ВК-50. Под их руководством и / или при их непосредственном участии проходили работы по пуску и наладке оборудования, велись исследования на реакторе,

расчётные обоснования теплотехнической и теплогидравлической безопасности работы реакторной установки. Они были разработчиками основного документа «Техническое обоснование безопасности реакторной установки ВК-50» (а впоследствии «Отчёта по обоснованию безопасности реакторной установки ВК-50»), на основании которого получены лицензии на эксплуатацию этой реакторной установки. За обобщение опыта исследований и эксплуатации В.Е. Шмелёв получил учёную степень кандидата технических наук.

С 1970 по 1976 годы под руководством Ю.В. Чечёткина на реакторе ВК-50 выполнялся комплекс работ по исследованию процессов очистки газовых выбросов реактора от активности и по отработке технологических режимов работы соответствующего оборудования. В результате этого в 1976 году на реакторе была создана и введена в промышленную эксплуатацию установка подавления газовой активности УПАК-П, позволившая решить одну из важных проблем работы кипящего реактора — утилизацию радиолитических газов. По уровню газоаэрозольных выбросов корпусной кипящий реактор сравнивался с современными типами реакторов. Активное участие в исследованиях и создании установки подавления газовой активности принимали Е.К. Якшин и В.М. Ещеркин, которые защитили по этой тематике кандидатские диссертации.

В 1974–1981 годы под руководством Ю.И. Лещенко, старшего научного сотрудника лаборатории Ф-1, и начальника инженерно-физической группы В.П. Садулина, старшего научного сотрудника И.И. Семидоцкого были разработаны и внедрены система и программно-методическое обеспечение внутриреакторного контроля энерговыделения и расхода теплоносителя на основе подвижных детекторов прямой зарядки и турбинно-нейтронных расходомеров, что значительно повысило информативность и точность при проведении экспериментов. Данная система внутриреакторного контроля эксплуатируется и составляет основу для обеспечения безопасности активной зоны реакторной установки ВК-50.

За время эксплуатации реактора ВК-50 выполнен комплекс работ по изучению водно-химического режима реакторной установки. Активными участниками этой работы были начальник химической лаборатории, кандидат химических наук А.И. Забелин; техник С.А. Чудина; руководитель группы, инженер-химик Т.М. Святышева; инженер-химик Н.Г. Курочкина; начальник химической группы Р.Г. Короткова; лаборант-химик А.М. Ефимов.

В 1978 году под руководством начальника лаборатории А.И. Забелина, начальника службы эксплуатации В.П. Ейскова и руководителя химической группы Р.Г. Коротковой был внедрён бескоррекционный нейтрально-кислородный режим теплоносителя, что снизило коррозию трубопроводов и оборудования. За эту работу её участники были награждены медалями Выставки достижений народного хозяйства СССР.

Развитие вычислительной техники позволило коллективу специалистов под руководством А.И. Охрименко создать на реакторной установке ВК-50 в середине

1980 годов автоматизированную систему научных исследований на базе электронной вычислительной машины ЕС-1011. Это обеспечило возможность внедрения программ обработки реакторных измерений и физических расчётов для обоснования безопасности эксплуатации реактора ВК-50. С использованием ЭВМ в 1986 году было подготовлено одно из первых в НИИАРе технических обоснований безопасности реакторной установки ВК-50, позволившее доказать безопасность дальнейшей эксплуатации реакторной установки. Это был результат коллективного труда научно-технического персонала установки.

С 1982 по 1991 годы на реакторе ВК-50 проведён комплекс исследований по изучению физических и теплогидравлических характеристик реактора ВК-50, в том числе и при пониженных значениях давления теплоносителя, свойственных атомным станциям теплоснабжения, а также атомным электростанциям. Активными участниками работ были главный инженер Е.В. Козин, начальники лаборатории В.Е. Шмелёв, А.И. Гаврилин, научные сотрудники Р.Е. Федякин, В.Н. Федулин, В.П. Садулин, А.В. Абасов. По результатам выполненных исследований показано, что корпусной кипящий реактор с естественной циркуляцией теплоносителя в активной зоне обладает свойствами саморегулируемости, самозащищённости и надёжной естественной циркуляцией теплоносителя, обеспечивающими высокий уровень безопасности данного типа реактора. Продолжены работы по обоснованию действующих и вновь создаваемых атомных электростанций.

Научными сотрудниками физической лаборатории Р.Е. Федякиным и С.Н. Антоновым были выполнены работы по созданию ТВС с повышенным водно-урановым отношением и более оптимальными нейтронно-физическими характеристиками. Внедрение этих ТВС в 1985 году позволило повысить нейтронно-физическую устойчивость работы реактора, снизить содержание топлива в ТВС на 15 %, значительно повысить его выгорание, перейти на пятилетнюю кампанию (с 2010 года — на шестилетнюю кампанию) топлива и в результате снизить долю необлучённых, загружаемых в активную зону реактора, тепловыделяющих сборок с 1/3 до 1/5 от общего числа ТВС в активной зоне. Позже (с 2009 года) руководителем лаборатории стал И.И. Семидоцкий, который с 1976 года постоянно и непосредственно занимался вопросами обоснования и повышения безопасности реакторной установки ВК-50. Под руководством И.И. Семидоцкого и при непосредственном участии Н.А. Святкиной были верифицированы расчётные коды, проведены комплексы расчётов для обоснования безопасности реактора, а также систематизирована и создана база данных по итогам экспериментов на реакторе ВК-50.

Авария на Чернобыльской АЭС вызвала повышение требований к безопасности действующих реакторных установок. Это коснулось и реактора ВК-50, на котором в 1986 году было проведено комплексное обследование состояния всех систем на соответствие требованиям действующих норм и правил и начиная с 1987 года выполнен большой объём работ по обоснованию безопасности и приведению исследовательской ядерной установки ВК-50 в соответствие с современными федеральными нормами

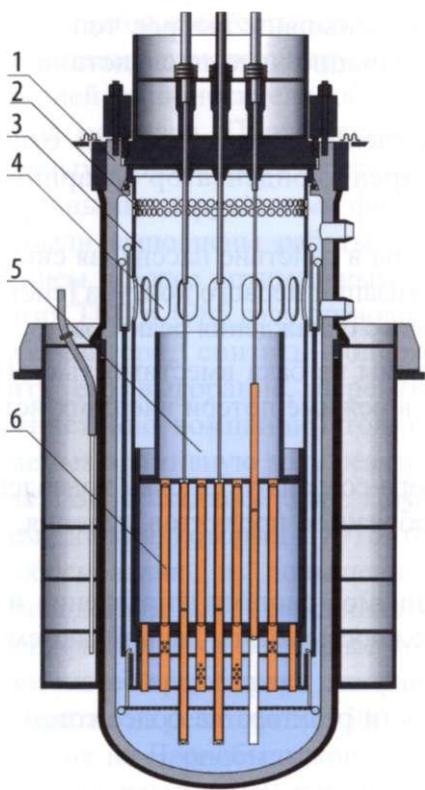
и правилами. Были улучшены действующие системы безопасности; спроектированы и смонтированы новые системы, основанные на пассивных принципах работы. Фактически с 1986 по 2002 годы проводилась модернизация реакторной установки ВК-50, позволившая повысить её безопасность, экономичность и тем самым продлить срок эксплуатации. Работы выполнялись при активном участии главного конструктора и генерального проектанта, подразделений НИИАРа, всего коллектива реактора ВК-50 под руководством В.М. Ещеркина, Н.П. Туртаева, В.И. Широкова, при активном участии ведущих специалистов В.Е. Шмелёва, Е.К. Якшина, Ю.А. Летницкого, И.И. Семидоцкого. Начиная с 2008 года эти работы были продолжены под руководством А.С. Курского, а затем Д.П. Протопопова.

Исходя из современных требований по безопасности, на реакторе выполнен комплекс работ по повышению надёжности его эксплуатации:

- созданы две независимые автоматически действующие системы аварийной остановки реактора с помощью жидкого поглотителя (раствора борной кислоты);
- на все патрубки корпуса реактора установлены страхующие кожухи с упорными рамными конструкциями, которые существенно уменьшают выброс теплоносителя при возможном разрушении патрубков и радиационные последствия этой аварии;
- для отвода остаточного тепловыделения остановленного реактора при отключении внешнего электроснабжения предусмотрен конденсатор аварийного расхолаживания;
- для исключения проектных аварий созданы и введены в действие пассивная система подачи охлаждающей воды в реактор при разгерметизации первого контура (система аккумулярования воды реактора) и система аварийного охлаждения реактора;
- создана система подачи в реактор борированной воды из бака вместимостью 50 м<sup>3</sup> насосом, работающим от аккумуляторных батарей в режиме потери внешних источников энергоснабжения;
- для снижения активности газовых выбросов реактора создана установка подавления газовой активности, очищающая их как от газообразных продуктов деления, так и от трития, йода-131 и радиоактивных аэрозолей;
- произведена модернизация исполнительных механизмов системы управления и защиты реактора, повысившая быстродействие и надёжность работы данной системы;
- произведена замена приборов технологического контроля, важных для безопасности систем, и аппаратуры контроля нейтронной мощности реактора на более совершенную («Карпаты»);
- создан резервный щит управления реактором на случай пожара;
- отработан режим работы турбогенератора с использованием остаточного пара в контуре реактора при отключении энергосистемы, который позволяет обеспе-

чить электропитанием всех потребителей исследовательской ядерной установки от собственного генератора;

- разделены системы нормального и аварийного электроснабжения. Организовано электропитание по независимым каналам потребителей важных для безопасности систем и территориальное разделение источников электроснабжения потребителей систем безопасности;
- заменена и модернизирована часть оборудования, трубопроводов и систем (в том числе заменены шпильки М130 уплотнения главного разъёма корпуса реактора ВК-50);
- смонтирована система локализации выбросов пара после предохранительных клапанов реактора и сепараторов низкого давления, спецводоочистки и деаэраторов;
- введена в эксплуатацию автоматизированная система радиационного контроля при нормальной эксплуатации и при авариях;



- выполнен комплекс противопожарных мероприятий;
- смонтирована система расхолаживания реактора при запроектных авариях с возвратом в реактор теплоносителя при разгерметизации его корпуса;
- заменены на крышке реактора все чехлы исполнительных механизмов системы управления и защиты для обеспечения взрывобезопасности.

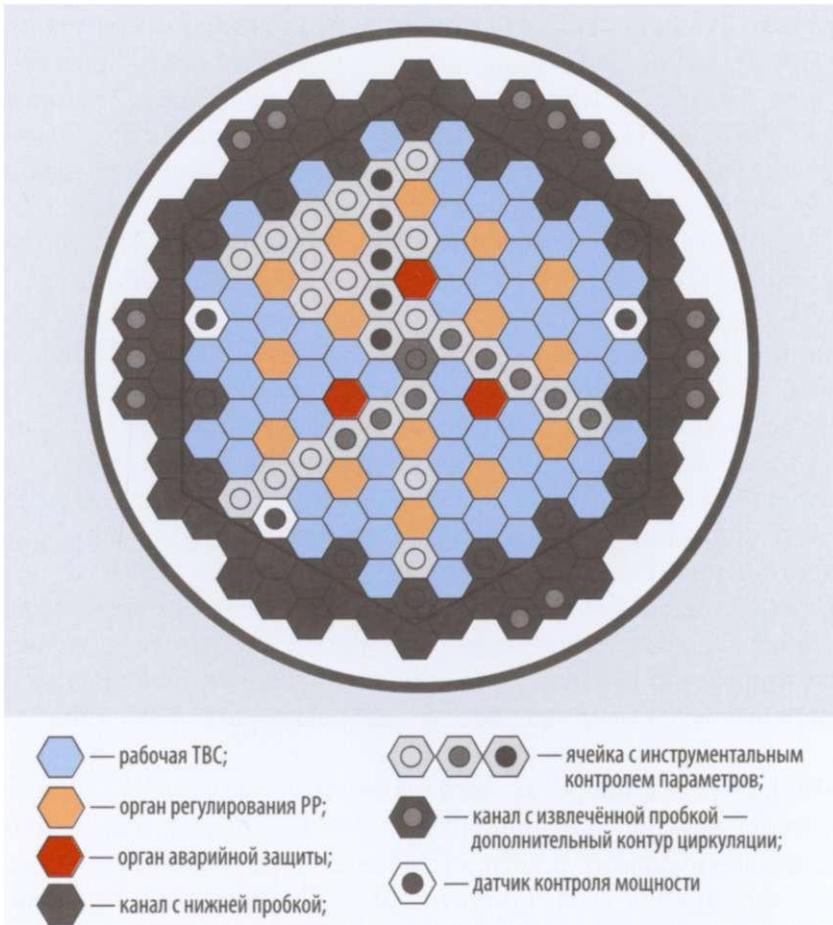
Большой вклад в обеспечение эксплуатации реактора ВК-50 и реализацию работ по её модернизации внесли ведущий инженер Н.П. Осипенко, по предложению которого была модернизирована система управления и защиты реактора, эксплуатирующаяся до сих пор; ведущий инженер Г.Д. Логинов, ведущий инженер В.А. Ямщиков, ведущий инженер-конструктор Г.И. Сидоренко, начальник лаборатории В.Е. Шмелёв, начальник группы инженерной подготовки Ю.А. Летницкий, начальник лаборатории радиационной безопасности Е.К. Якшин, старшие научные сотрудники В.В. Коняшов, В.Д. Кизин и Н.А. Святкина.

По итогам исследования и обоснования применимости реакторной установки ВК-50 для нужд теплофикации (режимы атомной стан-

Схема продольного разреза реактора ВК-50:

- 1 — корпус реактора; 2 — окна паровые;  
3 — шахта; 4 — окна переливные;  
5 — тяговый участок; 6 — ТВС

ции теплоснабжения, атомной теплоэлектроцентрали) в два этапа (1978 и 2001 годы) был осуществлён перевод установки ВК-50 на работу по схеме атомной теплоэлектроцентрали. При реализации этой задачи были отработаны вопросы технологии комбинированной выработки электроэнергии и тепла, выбора оборудования и осуществления радиационного контроля. Коэффициент полезного действия реакторной установки ВК-50 в режиме работы атомной теплоэлектроцентрали составлял 41,3 %, что сравнимо с коэффициентом полезного действия современных энергетических объектов. На примере реактора ВК-50 показан путь возможного повышения эффективности использования АЭС первого поколения. Основной вклад в решение такой задачи внесли В.М. Ещеркин, Ю.А. Летницкий, В.И. Южанин, Н.П. Туртаев, Е.С. Стесюк.



Поперечное сечение расширенной активной зоны реакторной установки ВК-50

Специалисты НИИАРа совместно со специалистами Московского энергетического института с 1998 по 2000 годы реализовали способ снижения концентрации примесей в теплоносителе реактора за счёт соблюдения режима изменения мощности

и давления в реакторе. В этот же период отработан режим изменения параметров теплоносителя (давления, температуры), исключая выход йода из-под оболочки негерметичных твэлов при остановке и пуске реактора, что позволило снизить радиационное воздействие на персонал во время проведения ремонтных работ. Большой вклад в выполнение этих работ внесли В.И. Широков, А.М. Краснов, Р.Г. Короткова, А.М. Ефимов, Д.Ф. Тульников.

Обеспечение безопасной и надёжной работы реакторной установки ВК-50, выполнение экспериментальных режимов осуществляет эксплуатационный персонал установки, без которого нельзя рассматривать историю и достижения установки. На каждом участке были ключевые работники, специалисты наивысшей квалификации: операторы реактора А.И. Кутов, А.В. Сапронов, В.Д. Мамонов, А.В. Феоктистов, В.Н. Степанов; В.Н. Романов, И.И. Надточий, К.А. Галимов; операторы парогазоводоснабжения Н.К. Пьянзин, В.И. Меньков, А.А. Житьков; слесари-ремонтники П.С. Чернов, А.М. Баев, Г.А. Шахов, Я.С. Климась, Э.К. Ризаев; машинисты турбины В. Храмков, А.С. Лебедев, Н.Д. Дедов, Р.А. Мустафин; мастера В.Г. Быков, В.В. Семёнов, Г.А. Кудряшов, В.И. Задоев, В.И. Бульчёр; ведущий инженер-электрик Ю.Е. Тихончев; электромонтёры В.И. Узинцев, В.П. Семёнов, Ю.Г. Прохоров, А.Ф. Ушаков, Н.С. Коншин, В.Н. Петрушкин; слесари КИПиА В.П. Фильков, П.Г. Лозин, А.И. Кузьмин; сварщики Ю.И. Жданов, В.М. Копанев; инженеры-конструкторы Г.И. Сидоренко, И.С. Власенко, Ю.М. Хлюстов; техник А.Л. Евдокимова; мастера службы радиационной безопасности Н.Ф. Костюченко, В.Д. Хаукка; слесари КИПиА этой службы Ю.И. Шавшуков, В.М. Ларионов; дозиметрист Л.И. Наконечный.

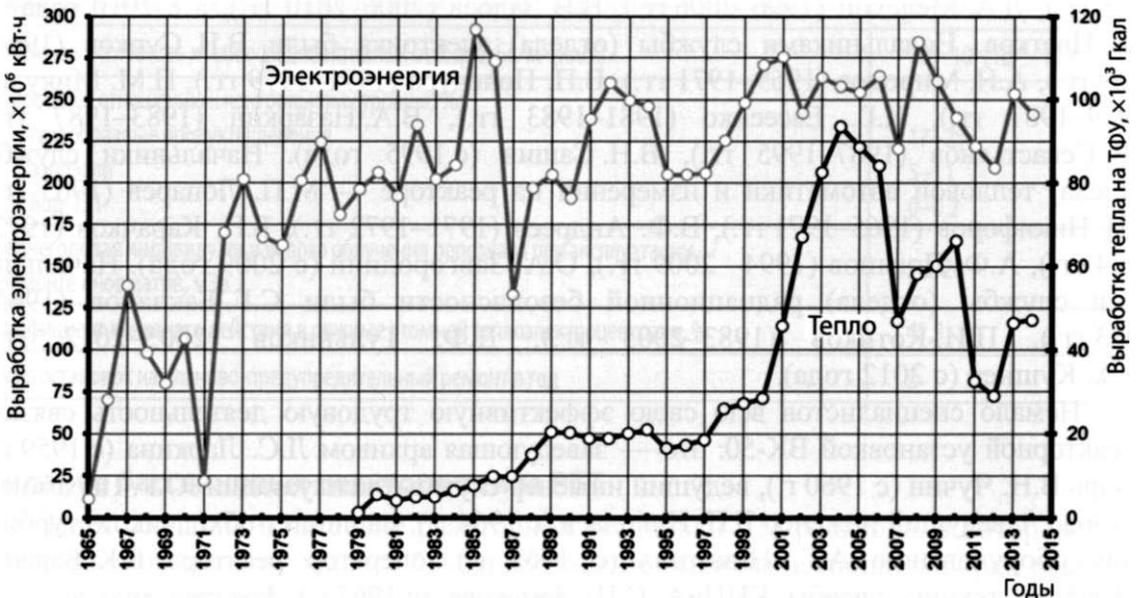
Наиболее весомый вклад в работоспособность установки, в создание культуры производства, а также в воспитание высококвалифицированных специалистов-механиков внёс В.Ф. Земсков, первый мастер и инженер участка по ремонту реактора и транспортной технологии, а затем мастер по ремонту оборудования основного контура. Он был ответственным исполнителем работ по монтажу реактора, обеспечивал его надёжную работу на протяжении многих лет. При его участии возглавляемым им коллективом решались сложнейшие задачи ремонта, подготовки экспериментальных устройств и внутриреакторных исследований, перегрузки активной зоны. Он был одним из столпов службы механика, проработав на реакторной установке ВК-50 с 1963 по 2009 годы.

Ключевой фигурой в вопросах эксплуатации установки ВК-50 всегда был главный инженер, который являлся и техническим руководителем, и активным участником всех научных исследований и производственных дел. Главными инженерами были Ю.А. Соловьёв, Е.В. Козин, В.М. Ещеркин, Н.П. Туртаев, А.С. Курский, в настоящее время — Д.П. Протопопов. Каждый из главных инженеров внёс свою посильную лепту в обеспечение работоспособности и безопасной эксплуатации реакторной установки. Главный инженер Ю.А. Соловьёв пришёл на реактор ВК-50, уже имея опыт работы на предприятии Челябинск-40 (ныне ПО «Маяк») и исследовательском реакторе СМ. Это был талантливый инженер-механик с задатками конструктора и исследователя.

Благодаря его энергии, техническим предложениям в начале 70-х годов удалось решить сложнейшую задачу ремонта патрубков корпуса реактора, в которых появились дефекты. Совместно со специалистами главного конструктора ОКБ «Гидропресс», завода-изготовителя производственного объединения «Ижорские заводы» и ЦНИИ КМ «Прометей» была проведена работа по усилению патрубков с применением уникальной конструкции и технологии сварки металла. Это позволило избежать закрытия реакторной установки и продолжить дальнейшую эксплуатацию реактора ВК-50.

Большое внимание уделялось подготовке высококвалифицированных инженерных кадров управления установкой. Была создана своя школа подготовки специалистов, основателем которой по праву являлся главный инженер Е.В. Козин. Талантливый инженер-эксплуатационник, он воспитывал в молодых специалистах потребность в глубоком понимании происходящих технологических процессов, готовность самостоятельно решать задачи в нестандартных ситуациях. Немало высококвалифицированных кадров подготовлено на реакторной установке ВК-50 для объектов атомной энергетики России и стран ближнего зарубежья.

В период работы В.М. Ещеркина и Н.П. Туртаева на реакторной установке ВК-50 велась активная научно-экспериментальная деятельность, была проведена её модернизация, которая привела техническое состояние установки в соответствие требованиям современных норм и правил по безопасности и обеспечила продление её работы сверх установленного срока. Деятельность главных инженеров А.С. Курского и Д.П. Протопопова обеспечила дальнейшее продление ресурса работы оборудования и эксплуатации реакторной установки ВК-50.



Выработка электроэнергии и тепла на реакторной установке ВК-50

За период существования реакторной установки ВК-50 её начальниками были В.А. Морозов (1957–1963 гг.), В.А. Щепетильников (1963–1976 гг.), В.М. Ещеркин (1991–2003 гг.), Н.П. Туртаев (2003–2008 гг.), А.С. Курский (2008–2011 гг.), В.И. Широков (2012–2016 гг.). В настоящее время начальником реакторной установки ВК-50 является А.Ю. Седин.

Организаторами практической эксплуатации реакторной установки и ответственными исполнителями по ведению технологического процесса являются начальники смен и начальники служб. Они отвечают за обеспечение безопасности работы ядерно-опасного оборудования и правильных действий персонала. Это — специалисты высокой квалификации. Начальниками смен в разные годы были Н.П. Карбовничий, В.В. Егоров (старший), В.П. Бурукин, Е.А. Яковлев, Н.И. Усманов, А.П. Колпаков, А.А. Лисёнков, С.Н. Тюрин, Г.И. Медведев, Р.Д. Фроловский, А.А. Изюмов, В.В. Болотов, Ф.В. Каль, В.П. Ейсков (в 1985–1986 годах был начальником службы эксплуатации), В.И. Южанин, А.З. Никулин, В.А. Гусаров (в 1986–1988 годах был заместителем главного инженера реактора ВК-50), П.И. Букин (в 1980–1993 годах был начальником службы механика реакторов ВК-50 и БОР-60), В.В. Егоров (младший), В.И. Сперанский, В.И. Широков, А.С. Костин, А.Ю. Седин, А.С. Курский, Е.С. Скачков (ныне начальник службы эксплуатации), С.В. Черкасов, Д.А. Демков, Д.А. Тюльпинев, Д.П. Протопопов, А.В. Саломатин, А.В. Носов, С.В. Белозёров, Д.Н. Соломаха, Р.А. Сулейманов. Начальниками службы (отдела) механика работали М.А. Кулешов (1963–1966 гг.), Л.В. Виноградов (1966–1980 гг.), Л.А. Герасимов (1980–1982 гг.), П.И. Букин (1982–1993 гг.), А.Т. Гордецкий (1993–1996 гг.), Д.А. Мелёхин (1996–2006 гг.), В.В. Задоев (2006–2010 гг.), а с 2010 года — В.В. Цветков. Начальниками службы (отдела) электрика были В.И. Сурков (1964–1969 гг.), А.Н. Миронов (1969–1971 гг.), В.П. Почечура (1971–1979 гг.), П.М. Микулин (1979–1981 гг.), К.Г. Евсеенко (1981–1983 гг.), В.А. Назаркин (1983–1987 гг.), Е.В. Севастьянов (1987–1995 гг.), В.Н. Сашин (с 1995 года). Начальники службы (отдела) тепловой автоматики и измерений на реакторе — М.П. Лопарев (1965 гг.), А.Н. Никифоров (1965–1971 гг.), В.Ф. Андреев (1971–1972 гг.), Б.П. Карачков (1972–1994 гг.), А.Ф. Логинов (1994–2009 гг.), О.А. Завгородний (с 2009 года). Начальниками службы (отдела) радиационной безопасности были С.Г. Бакланов (1965–1983 гг.), П.И. Котиков (1983–2005 гг.), Д.Ф. Тульников (2005–2012 гг.), Ю.А. Кушнер (с 2012 года).

Немало специалистов всю свою эффективную трудовую деятельность связали с реакторной установкой ВК-50: это — заведующая архивом Л.С. Ларкина (с 1959 г.), токарь В.Н. Чучин (с 1960 г.), ведущий инженер службы эксплуатации Ю.Г. Парамонов (с 1963 г.), ведущий инженер Г.П. Николаев (с 1964 г.), машинист-обходчик по турбинному оборудованию А.Г. Никитина (с 1965 г.), оператор реактора Е.К. Баранов (с 1965 г.), техник службы КИПиА С.П. Земскова (с 1967 г.), которая многие годы участвовала в общественной жизни ВК-50, возглавляя профсоюзный комитет, создавая товарищеские, доброжелательные взаимоотношения в коллективе. Начав с монтажа,

пуска реакторной установки ВК-50, эти сотрудники добросовестно проработали до момента ухода на заслуженный отдых.

Подводя итоги 50-летней эксплуатации исследовательской ядерной установки ВК-50, можно с удовлетворением констатировать, что она явилась экспериментальной базой по изучению технологии, оборудования, процессов корпусных кипящих реакторов, результаты исследований на которой применены на современных АЭС, и кузницей научных и производственных кадров, работающих сейчас на благо атомной энергетики страны.

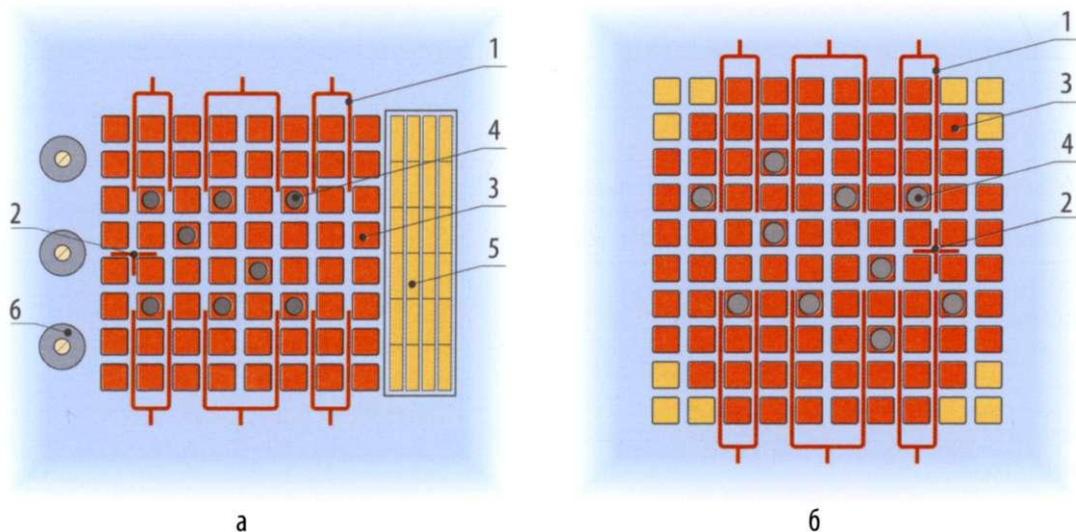
### Современные показатели работы реакторной установки ВК-50

Характеристика	Значение
Тепловая мощность реактора, МВт	200
Электрическая мощность генератора, МВт	До 50
Мощность теплофикационной установки для выработки тепла на отопление, Гкал/ч	35
Количество часов работы в год, ч	6 900–7 600
Коэффициент использования установленной мощности, %	77–80
Кампания реактора между перегрузками активной зоны, г.	1,0–1,5
Выработка электроэнергии в год, $\times 10^6$ кВт·ч	275–292
Выработка тепла на ТФУ в год для нужд отопления и горячего водоснабжения, $\times 10^3$ Гкал	80–100
Объёмная активность жидких радиоактивных отходов, Бк/м <sup>3</sup> (Ки/л)	$10^6$ – $10^8$ ( $10^{-5}$ – $10^{-7}$ )
Выбросы по отношению к контрольному уровню, %:	
газообразные продукты деления	17–25
аэрозоли	5–11
йод-131	0–0,2
Среднегодовая индивидуальная доза облучения персонала при эксплуатации и ремонте / норматив, мЗв	5,2/20
Коэффициент полезного действия в режиме атомной теплоэлектроцентрали, %	41,3
Число остановок на планово-предупредительный ремонт в год	2

### Создание бассейновых реакторов типа РБТ

Идея создания в бассейне реакторной установки СМ реактора, в котором в качестве топлива использовались бы отработавшие тепловыделяющие сборки реактора СМ, появилась в 1969 году. Задание на проектирование реактора мощностью 6 МВт было выдано 6 июня 1969 года. Через четыре года (20 августа 1973 года) технический проект на реактор РБТ-6 был утверждён. Реактор был создан в кратчайшие

сроки. В августе 1975 года прошёл его физический пуск. В декабре 1976 года реактор РБТ-6 достиг номинального уровня мощности. Комплекс работ по созданию и пуску реактора РБТ-6 был отмечен медалями ВДНХ (В.А. Цыканов, В.П. Бурукин, В.А. Куприенко, П.Г. Аверьянов). Работа первого реактора бассейнового типа показала перспективность данного направления, и 20 января 1977 года было дано указание подготовить техническое задание на проектирование комплекса реакторов типа РБТ (РБТ-10/1 и РБТ-10/2) с петлями естественной циркуляции. Реакторы было решено разместить в шахтах здания 103. В апреле 1978 года начато сооружение реакторной установки РБТ-10/1. Строительство заняло четыре года. Группа по физическому пуску реактора РБТ-10/1 создана 20 октября 1982 года. Руководителем физического пуска назначен начальник лаборатории отделения исследовательских реакторов Р.И. Коротков. В декабре 1982 года реакторную установку приняли в эксплуатацию. Через год, 18 ноября 1983 года, начат физический пуск реактора РБТ-10/2. Энергетический пуск этой установки — 22 декабря 1984 года. Через пять лет установка РБТ-10/1 подверглась незначительной модернизации: провели перекомпановку активной зоны. Физический пуск реактора РБТ-10/1 успешно проведён 28 августа 1989 года. В июне 2014 года реакторная установка РБТ-10/1 выведена из эксплуатации.



а б  
Поперечные сечения активных зон реакторов РБТ-6 (а) и РБТ-10/2 (б):

- 1 — компенсирующий орган; 2 — органы автоматического регулирования; 3 — рабочие ТВС;  
4 — испытательные каналы; 5 — стенд «Корпус»; 6 — испытательные каналы в отражателе

Для многих работ, особенно по исследованию свойств материалов в процессе их облучения, достаточна плотность нейтронного потока в 5–10 раз меньше, чем плотность нейтронного потока в реакторе СМ. Именно для выполнения подобных экспериментов в НИИАРе спроектированы, изготовлены и смонтированы три реактора бассейнового типа.

## Создание материаловедческого комплекса

Строительство материаловедческой лаборатории (здание 118) началось в июне 1961 года. Акт государственной комиссии о приёме в эксплуатацию утверждён 30 октября 1963 года. К материаловедческой лаборатории в 1973 году был пристроен технологический корпус (здание 119), а в 1980 году — корпус неразрушающих первичных исследований (здание 117).



Общий вид материаловедческого комплекса

Комплектация научных лабораторий и производственных коллективов началась с 1959 года. Первым в штатном расписании числился М.Д. Дерезин. Тогда же приступила к работе после окончания Московского инженерно-физического института З.И. Чечёткина. Первым начальником материаловедческого комплекса в октябре 1960 года был назначен В.И. Клименков, прибывший с комбината «Маяк», а в мае 1961 года главным инженером — А.И. Зибарев, работавший на этом же комбинате. В ноябре 1963 года комплекс возглавил М.А. Демьянович, также ранее работавший на комбинате «Маяк» и на Сибирском комбинате. В 1959–1963 годах в штат материаловедческого комплекса было принято более 30 молодых специалистов, окончивших элитные вузы городов Москвы и Ленинграда. Среди молодых специалистов были В.М. Косенков, Л.И. Новак, В.И. Прохоров, В.Н. Сюзёв, В.К. Засуха, В.А. Казаков, В.К. Шамардин, В.М. Раецкий, В.И. Кузьмин, А.П. Сыч, Р.А. Юськаев, Р.Р. Дрозник, Р.Б. Грабова. С комбинатов были направлены на работу В.Г. Базюкин, Б.П. Захаров, Г.А. Стрельников, В.В. Осипов, Л.П. Кочегаров, А.П. Салохин, В.И. Ситников и др.

На месте нынешнего здания отделения материаловедения был только фундамент. И рабочие места находились или на ремонтно-механическом заводе, или в бараке отдела кадров. Поскольку объекта как такового не существовало, приехавшие с комбинатов

специалисты и молодежь занимались в основном проектной документацией, строительством и монтажом технологического и исследовательского оборудования «горячей» и «холодной» частей комплекса. В 1962 году сдали помещения «холодной» части здания 118 и сюда начали переезжать сотрудники объекта. В марте 1964 года началась исследовательская работа, связанная непосредственно с радиационным материаловедением. Были созданы первые лаборатории под руководством А.Р. Белова, Г.А. Стрельникова, В.Г. Базюкина.

К концу 1965 года в материаловедческом отделе были созданы лаборатории под руководством Л.И. Новака, Ю.В. Чушкина, И.Г. Лебедева, С.Н. Вотинова, В.С. Белокопытова. В феврале 1966 года С.Н. Вотинов был назначен начальником материаловедческого отдела. В 1967 году была утверждена новая структура материаловедческого отдела. Появляются лаборатории: исследования топлива, которую возглавил Е.Ф. Давыдов, сварки и дефектоскопии — В.И. Зинковский, металлургии — Н.С. Косулин, механических испытаний — В.И. Прохоров. В апреле 1974 года материаловедческий отдел возглавил Е.Ф. Давыдов, в январе 1980 года начальником отдела материаловедческих исследований назначен Е.П. Клочков. Отделение реакторного материаловедения с 1994 года возглавляли В.Н. Голованов, В.Д. Рисованный, С.В. Павлов, А.Е. Новосёлов, а с 2013 года — Е.А. Звир.

Техническое перевооружение, модернизация материаловедческого комплекса проходили на протяжении всего периода. Первое значимое перевооружение проведено в 1976 году. В 1989 году проведена вторая модернизация. Были введены в эксплуатацию две новые камеры: К-16 и ВК-39, смонтировано несколько новых испытательных машин и металлографических микроскопов. В декабре 1982 года были проведены приёмсдаточные испытания участка по выпуску малогабаритных источников гамма-излучений на основе иттербия-169. Большое внимание уделялось автоматизации исследований. В декабре 1979 года принята в опытно-промышленную эксплуатацию первая очередь автоматизированной системы научных исследований, в 1985 году — вторая очередь. Технологический корпус материаловедческой лаборатории (здание 119) введён в эксплуатацию 22 января 1973 года. В ноябре 1985 года государственная комиссия приняла в эксплуатацию металлургическую цепочку ТГ-1, которая включала в себя небольшие боксы с механическими манипуляторами. Главным событием в истории материаловедческого отдела стало сооружение еще одного здания, предназначенного для материаловедческих исследований, — комплекса первичных исследований (здание 117). Строительство его началось в 1980 году и закончилось в 1987 году. Для оснащения здания исследовательским оборудованием и подразделения соответствующими методиками в феврале 1983 года по инициативе заместителя директора НИИАРа В.А. Куприенко была организована лаборатория разработки установок и методик материаловедческих исследований во главе с В.И. Кузьминым. Лаборатория входила в состав отдела разработки методик и оборудования внутриреакторных и внутрикамерных исследований. Возглавлял отдел Н.П. Матвеев. В состав новой лаборатории входили опытные научные сотрудники: В.С. Сандаков, Л.В. Алёшечкин, Д.К. Рязанов, ведущий конструктор О.В. Позднякова, Г.Л. Павлова и другие.

Основной задачей лаборатории было оснащение строящегося здания 117 комплексом установок и обеспечение подразделений методиками неразрушающих исследований полномасштабных твэлов и ТВС действующих и строящихся энергетических реакторов ВВЭР-440, ВВЭР-1000, РБМК-1000, БН-600 и других. С участием ведущих методистов отдела материаловедения были разработаны технические требования к установкам. Работой по подготовке контракта руководил В.Б. Иванов, на тот момент заместитель директора НИИАРа. Для монтажа, наладки, метрологической аттестации и приёмки оборудования в «холодных» условиях были созданы стенды для размещения в обширном помещении лаборатории, подготовлено специальное высокой эффективности электрозаземление, разработан и изготовлен комплект высокоточных стандартных образцов на все размеры твэлов и ТВС. Выполнялись эти работы с привлечением ведущих специалистов из конструкторского отдела и отделов разработки экспериментальных устройств, контрольно-измерительных приборов и автоматики, вычислительной техники и автоматизации, электролаборатории, ремонтно-механического завода, ЦЦР и даже геолого-разведочной экспедиции. Силами и средствами последней были пробурены глубинные скважины для устройства заземления. Работа с этим оборудованием в лаборатории закончилась после метрологической аттестации установок. Все заданные техническими требованиями параметры по точности позиционирования, измерения геометрических размеров и прочему были выполнены. После приёмки оборудование было транспортировано и установлено в радиационно-защитные камеры здания 117. Лаборатория выполнила свою главную задачу.

Двадцатого мая 1985 года за ввод в эксплуатацию здания 117 были назначены ответственные: за решение инженерно-технических вопросов — И.П. Анохин; за разработку научных программ освоения здания, разработку методик и организацию процесса проведения внутрикамерных исследований — Е.П. Ключков. Курирование, испытания и наладку опытных установок уже на здании 117 вели опытные специалисты Б.А. Канашов, В.Г. Дворецкий, Д.А. Куров, К.А. Александров, Д.Л. Прокуданов. Так формировался будущий коллектив комплекса первичных исследований. Четвёртого декабря состоялись ввод в эксплуатацию и утверждение программы работ первой очереди комплекса первичных исследований на 1986 год. Тридцатого декабря 1985 года эксплуатационный персонал начал работу на здании 117.

Восьмого октября 1986 года для монтажа и пуска импортных установок в камере К-1 здания 117 создана рабочая бригада. Усилиями коллектива отделения реакторного материаловедения импортное оборудование было смонтировано, началась его опытная эксплуатация и освоение на облучённых твэлах реактора БОР-60. Первые результаты, полученные на этих установках, поражали воображение. Оборудование других защитных камер дорабатывали, монтировали и осваивали сотрудники сформировавшегося коллектива отдела первичных исследований, возглавляемого К.А. Александровым, а позже, в течение почти 20 лет, — В.П. Смирновым. Ответственные научные сотрудники отдела первичных исследований были назначены на все основные установки: на полуавтомат профилометрии и вихретоковой дефектоскопии — Б.А. Канашов,

полуавтомат гамма-сканирования и установку рентгеновской радиографии в камере К-3 — В.Г. Дворецкий, установку контроля герметичности оборудования в камере К-7 — Г.Д. Лядов, установку прокола и анализа газа в камере К-5 — Д.А. Куров. Первый облучённый твэл в камере К-3 поставили на установку гамма-сканирования в 1987 году (А.В. Сухих). Камера К-2 здания 117 была предназначена для работ, которыми в СССР не занимались. Здесь разместили участок рефабрикации твэлов и проводили работу по сварке облучённого материала.

Первого апреля 1988 года состоялся полный ввод в эксплуатацию материаловедческого комплекса первичных исследований твэлов и ТВС. В атомной отрасли появился комплекс, оснащённый по последнему слову техники и способный принимать на исследования полномасштабные отработавшие ТВС реакторов любого назначения. Особую гордость вызывал уровень автоматизации научных исследований. В 1979 году были созданы подсистемы «Входной паспорт на твэл», «Контроль состояния камер и внутрикамерного оборудования», подсистема «Профиль» для автоматизированных измерений внешнего диаметра облучённых твэлов и обработки данных на ЭВМ. В сентябре 1988 года была создана рабочая группа по созданию базового комплекса аппаратуры вихретокового контроля оболочек твэлов и её методического обеспечения под руководством А.Г. Лещинского. В апреле 1992 года лаборатории конструкционных материалов и исследований твэлов (В.К. Шамардин) присвоен статус головной отраслевой лаборатории по материаловедческому надзору за работой ядерных реакторов НИИАРа.



Общий вид транспортных контейнеров

### **Комплекс для материаловедческих исследований разрушающими методами**

Комплекс для материаловедческих исследований разрушающими методами включает:

- участок разделки ампульных сборок, твэлов и ТВС исследовательских реакторов и других облучённых изделий, оснащённый дистанционно управляемыми металлорежущими станками;
- цепочку радиационно-защитных камер для металлографического анализа, оснащённых оборудованием подготовки шлифов, оптическими микроскопами, позволяющими просмотреть и сфотографировать макро- и микроструктуры, а также определения микротвёрдости материалов;
- участок механических испытаний, оснащённый внутрикамерными машинами для испытаний

на растяжение, ползучесть и малоцикловую усталость в вакууме при температуре до 1 200 °С; ударный изгиб и трещиностойкость, а также оборудованием для испытаний трубчатых образцов на ползучесть и длительную прочность;

- аппараты для рентгеноструктурного анализа исходных и облучённых материалов;
- внутрикамерное оборудование для сканирующей электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа;
- микроскопы для трансмиссионной электронной микроскопии и микроанализа с оборудованием для пробоподготовки;
- внутрикамерное оборудование для масс-спектрометрических исследований;
- внутрикамерное оборудование для коррозионных испытаний;
- участок исследования элементного состава облучённых материалов;
- внутрикамерное оборудование для измерения теплофизических характеристик облучённых материалов.



Схема размещения защитных камер  
первой очереди материаловедческого комплекса (здание 118)

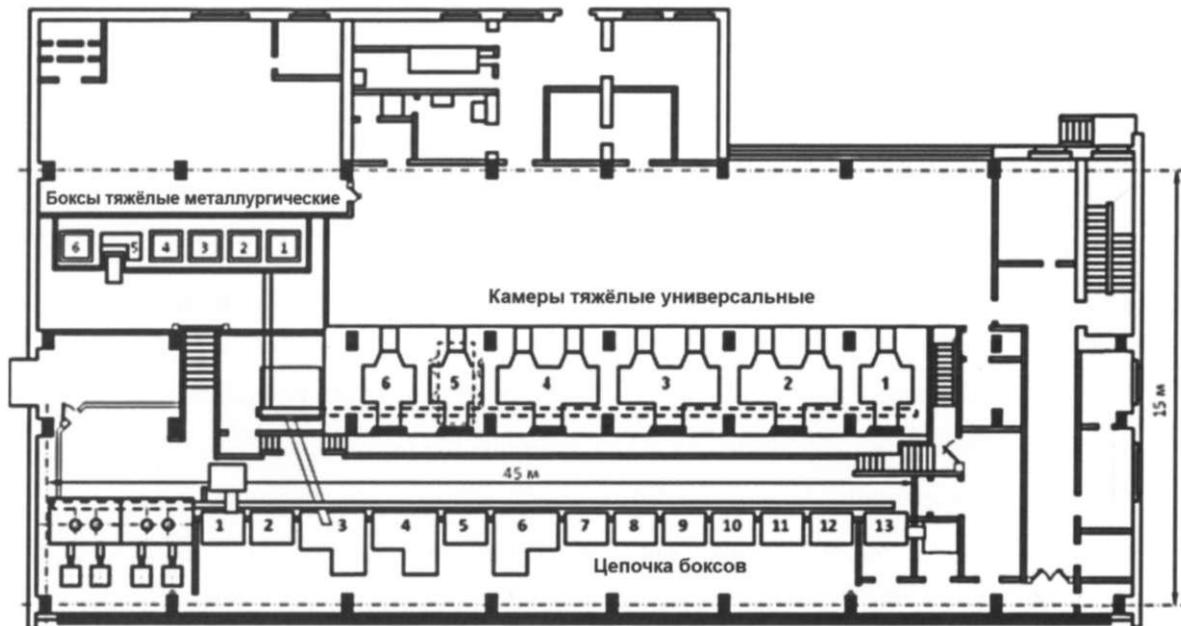


Схема расположения камер и участков на здании 119

### **Комплекс для исследования полномасштабных твэлов и тепловыделяющих сборок неразрушающими методами**

Комплекс расположен в специализированном здании, основу которого составляют система радиационно-защитных камер и боксов, транспортный зал и бассейн выдержки для хранения ТВС и твэлов.



Общий вид здания комплекса

Для работы с полномасштабными ТВС энергетических реакторов предназначены две защитные камеры (К-1, К-7) с внутренними размерами: длиной — 7,5 м; шириной — 4,0 м и высотой — 7,2 м. Камеры оснащены мостовыми грузоподъёмными механизмами, рассчитанными на подъём груза до 1 000 кг. Пять других защитных камер (К-2–К-6), используемых для работы с твэлами и элементами ТВС, имеют размеры 5,0×1,8×2,6 м. Транспортный зал оборудован мостовым краном грузоподъёмностью 50 000 кг и бассейном для хранения ТВС и твэлов. Для их транспортировки между бассейном и камерами разработано несколько типов контейнеров оригинальной конструкции.

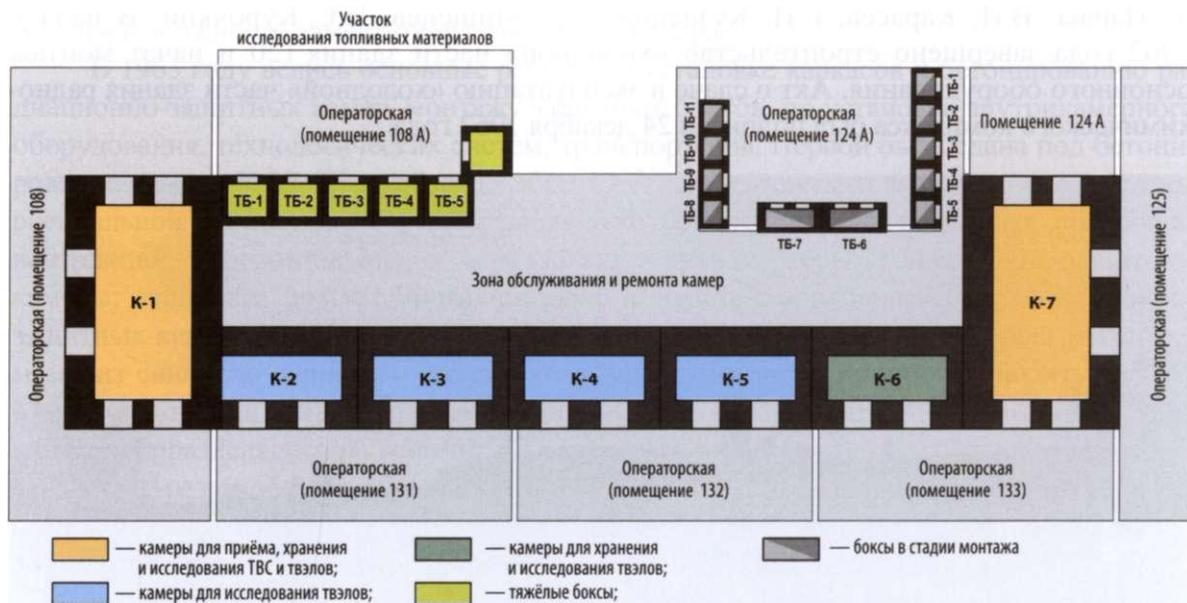


Схема расположения защитных камер и боксов

## Создание радиохимического комплекса

Радиохимический комплекс объединяет подразделения, работающие в области радиохимии на здании 120: радиохимический отдел (до 1971 г.); радиохимический сектор (1971–1982 гг.); подразделения радиохимического сектора, вошедшие в состав химико-технологического отделения (1982–1990 гг.); отделение радионуклидных источников и препаратов (с 1991 г.) и подразделения, функционирующие на других зданиях института.

Сооружение здания радиохимической лаборатории началось в 1960 году. Геодезическая разбивка здания, которую произвели М.И. Жуков и Л.В. Марков, была сдана

14 марта 1960 года. Вырубка леса начата 20 марта, а 25 апреля — подготовка котлована, менее чем за месяц котлован был готов. В начале 1961 года была сформирована группа по курированию строительно-монтажных работ. В неё вошли Л.А. Жуковец, Ю.И. Задворных, Г.И. Масленников, Г.А. Тимофеев, А.П. Феофанов, В.Т. Филимонов. Эта группа стала первоосновой коллектива будущего радиохимического отдела. В скором времени группу пополнили Р.И. Китаева, Н.Д. Кондаков, М.П. Никольская, И.В. Петухова, А.И. Тимофеева, Т.П. Хайдукова. Руководителем здания 120 в 1961 году был назначен заместитель главного инженера А.П. Феофанов, прибывший в город Мелекес из города Нарвы (Эстонской ССР), где работал главным инженером опытного химического завода Минсредмаша. В дальнейшем в НИИАР переехали еще четыре сотрудника из Нарвы: В.И. Карасёв, Г.И. Кузнецов, В.Б. Мишенёв, Н.С. Курочкин. В начале 1962 года завершено строительство «холодной» части здания 120 и начат монтаж основного оборудования. Акт о сдаче в эксплуатацию «холодной» части здания радиохимического комплекса был подписан 24 декабря 1962 года.



Общий вид здания радиохимического комплекса

В марте 1962 года временно исполняющим обязанности начальника объекта был назначен М.А. Баженов, бывший заместитель главного инженера одного из объектов химического комбината ПО «Маяк». В 1962 году появились первые структурные

подразделения объекта: механическая мастерская (М.И. Зазулин); лаборатории: радиометрическая (Н.Д. Кондаков), спектральная (Г.И. Семёнов) и масс-спектральная (В.Я. Габескирия). Седьмого марта 1963 года начальником радиохимического комплекса (здания 120) был назначен прибывший из Москвы Г.Н. Яковлев. Незадолго до переезда в город Мелекесс ему была присвоена учёная степень доктора химических наук. Вместе с Г.Н. Яковлевым в НИИАР из института Атомной энергии прибыли высококвалифицированные специалисты: А.А. Зайцев, И.А. Лебедев, И.И. Назарова, А.Г. Рыков, которые сыграли заметную роль в развитии работ по радиохимии в НИИАРе. После назначения Г.Н. Яковлева на должность начальника радиохимического комплекса М.А. Баженов был назначен главным инженером, А.П. Феофанов остался в должности заместителя главного инженера.

В 1963 году велись основные работы по установке каркасов и бетонированию радиационно-защитных камер, монтажу защитных боксов; по установке внутрикамерного оборудования, технологических систем, транспортёров. Первой была сдана под бетонирование камера К-09. В октябре–декабре 1963 года приняты в эксплуатацию системы специальной канализации, специальной вентиляции В-23, вытяжной и приточной вентиляций; горизонтальные и вертикальные транспортёры; радиационно-защитные камеры; защитные боксы. Таким образом, в здании смонтировано 16 радиационно-защитных камер с биологической защитой из тяжёлого бетона и со смотровыми системами из свинцово-цериевого стекла, позволяющими дистанционно проводить работы с радиоактивными материалами активностью до  $3,7 \cdot 10^{15}$  Бк (до  $10^5$  Ки). По назначению камеры подразделялись на вспомогательные (камеры выгрузки облучённых материалов и изделий, резки облучённых изделий, взвешивания радиоактивных препаратов, сбора радиоактивных отходов) и на технологические — для работы с радиоактивными веществами. Некоторые камеры — двухэтажные, поэтому указанные 16 камер имеют 26 рабочих мест. Камеры оборудованы копирующими манипуляторами М-22. Над защитными камерами (второй и третий этажи здания) расположены помещения, оборудованные защитными боксами. Общее число защитных боксов — 35. Защитные камеры и боксы связаны между собой системами транспортёров (пять горизонтальных и две вертикальных) с автоматическим управлением и блокировкой.

В 1963 году были созданы лаборатории: физико-химических исследований (А.Г. Рыков), экстракционных процессов (Б.А. Морозов), комплексных соединений (И.А. Лебедев), ионообменных процессов (В.М. Николаев), рентгеноструктурная (И.И. Капшуков), изотопная (А.А. Зайцев), органического синтеза (М.И. Друзин), мишенная (В.Ф. Горбунов), аналитическая (Ю.И. Грызгин); службы: механиков (Г.П. Лукьянов), электриков (М.А. Матюнин), КИП и А (Ю.И. Задворных), технологического обслуживания (Г.И. Масленников), дозиметрии (Н.Н. Бакулин); конструкторское бюро (В.Я. Филимонов). В конце 1963 года к имеющимся в отделе лабораториям добавилась электрохимическая лаборатория (О.В. Скиба).

В 1964 году начались пусконаладочные работы. В декабре был выдан санитарный паспорт на право проведения работ с радиоактивными веществами в здании 120. Таким образом, радиохимическая лаборатория в декабре 1964 года сдана в эксплуатацию. В апреле 1966 года создана технологическая установка радиохимическая УР-1 для проведения работ по выделению плутония-238 из облучённого нептуния-237. В создании установки участвовали В.И. Карасёв, Е.А. Карелин, Г.И. Масленников, В.Б. Мишенёв, Б.А. Морозов. Начальником установки был назначен Е.А. Карелин, технологом — В.Б. Мишенёв. В том же 1966 году творческим коллективом под руководством кандидата химических наук А.П. Феофанова было разработано техническое задание на создание опытной установки «Фрегат», предназначенной для отработки технологического процесса регенерации облучённого ядерного топлива по газофторидной технологии. Работу по созданию установки «Фрегат» проводили совместно со специалистами из Чехословакии. Пилотная установка УР-2, предназначенная для отработки технологического процесса выделения америция и кюрия из облучённого плутония (руководитель — технолог установки В.И. Карасёв) введена в действие 23 апреля 1966 года. Первая очередь установки «Фрегат» введена в эксплуатацию 30 декабря 1968 года, почти через полгода (в апреле 1969 года) — электролизный участок, еще через два года (в марте 1971 года) — узел оплавления. В 1970 году принят в эксплуатацию уникальный масс-спектрометр МВ-3301 с тройной фокусировкой для микроколичественного анализа трансурановых элементов, требующих сверхвысокую разрешающую способность.

В 1971 году создано отделение регенерации топлива (А.П. Кириллович). В состав отделения вошли лаборатории: электрохимической регенерации (Ю.С. Соколовский), газофторидной регенерации топлива (П.М. Иванов), химии и электрохимии расплавленных солей (Г.Н. Казанцев). Создана ядерно-физическая лаборатория (Г.Н. Яковлев). В декабре 1971 года радиохимический отдел был разделён на три самостоятельных подразделения: радиохимический сектор; химико-технологический сектор, объединивший подразделения, работающие по тематике топливного цикла; службы главного инженера здания 120. Радиохимический сектор возглавил А.Г. Рыков. Начальником химико-технологического сектора назначен О.В. Скиба, главным инженером — М.А. Баженов. Службы главного инженера здания 120 возглавил М.А. Матюнин, его заместителем был назначен Г.И. Масленников. Начальником аналитической лаборатории назначен 27 марта 1972 года Г.А. Тимофеев. В 1973 году создан отдел радиохимической технологии, объединивший технологическую лабораторию (В.М. Николаев), установки УР-1, УР-2, УР-3. Начальником отдела назначен Е.А. Карелин, начальником установок УР-1 и УР-2 назначен Я.Н. Гордеев, технологом — А.А. Ядовин.

В 1976 году в радиохимическом отделении был создан аналитический отдел из трёх лабораторий: лаборатории инструментальных методов (Г. Симакин, затем Е.А. Ерин), радиохимических методов анализа (В.Б. Мишенёв), масс-спектральной лаборатории (В.А. Габескирия). Две первые лаборатории были сформированы из сотрудников аналитической лаборатории. В дальнейшем в состав отдела вошла рентгено-

структурная лаборатория (И.И. Капшуков). Начальником отдела был назначен Г.А. Тимофеев. В 1979 году на основе установок УР-1, УР-2 и УР-3 сформирована лаборатория нейтронных источников, которую возглавил В.И. Карасёв. Установки УР-1, УР-2 и УР-3 были объединены в одну, которая получила название «опытно-технологическая установка». Начальником установки назначен Я.Н. Гордеев, технологом — А.А. Ядовин. В 1980 году начальником сектора был назначен Е.А. Карелин.

### **Создание отдела защиты окружающей среды**

В апреле 1962 года была создана и существовала до ноября 1967 года группа дозиметрического контроля. В ноябре 1968 года группа преобразована в службу внешней дозиметрии, начальником службы назначен П.И. Котиков. В дальнейшем службу переименовывают в группу внешней дозиметрии (П.И. Котиков). В феврале 1980 года на основе этой группы была создана лаборатория по охране окружающей среды (В.П. Лосев) в следующем составе: лаборатории химического контроля и групп: дозиметрической, радиометрической, радиохимической подготовки проб, ремонта и обслуживания. Лаборатория по охране окружающей среды в соответствии с функциями обеспечивала радиационный и производственный контроль за качеством сбросов. С февраля 1989 года начальником лаборатории назначен И.Г. Кобзарь. В 1990 году лаборатория по охране окружающей среды преобразуется в отдел защиты окружающей среды, включающий лаборатории радиационного контроля (В.П. Лосев), химического контроля (З.Я. Овчарова) и разработки экологических нормативов и прогноза (А.М. Соболев); группу подготовки производства; экономическую группу. В отделе вводят должности главного эколога (И.Г. Кобзарь) и заместителя главного эколога (А.М. Соболев).

Сотрудники отдела успешно выполняли самые сложные по своему техническому воплощению проекты, участвовали в научной деятельности предприятия, формировали понимание у общественности города и области значимости обеспечения радиационной и экологической безопасности. В отделе сохранялись и с течением времени наращивались как производственные мощности, так и интеллектуальные ресурсы. В 1998 году разработана и принята программа обеспечения качества работ и услуг, выполняемых в отделе защиты окружающей среды; в рамках государственного контракта разработан программно-технический комплекс по контролю за радиационной, сейсмической и промышленной безопасностью НИИАРа (А.М. Соболев). Созданы новые группы: спектрометрии излучения человека, сейсмологическая, метеорологическая; группа по разработке нормативов и прогнозов; группа контроля предельно допустимого выброса, предельно допустимого сброса, нормативов образования отходов и лимитов размещения, инвентаризации источников выделения и источников загрязнения атмосферы; группа контроля размещения отходов.



Внешний вид метеоплощадки  
и здания отдела охраны окружающей среды НИИАРа

Сотрудники отдела (И.Г. Кобзарь, В.П. Лосев, А.М. Соболев) активно освещали различные стороны природоохранной деятельности на предприятии, участвовали в разработке программных средств (экологического программного комплекса «Zone», 3D-модели распространения отходов в IV поглощающем горизонте опытно-промышленного полигона НИИАРа, гидрогеологической модели циркуляции подземных вод, электронных таблиц «Методика расчёта распространения радиоактивных веществ при авариях» и «Расчёт нормативов предельно допустимого выброса для точечных источников») для модельного мониторинга контролируемых и значимых для предприятия сред (А.М. Соболев, Л.Н. Солодовникова, И.А. Иващенко). Внедрены новые методики контроля: SBS-спектрометрия, рентгенофлуоресцентная спектрометрия, спектрометрии человека, биотестирование, цифровая сейсмография, акустическая и градиентная метеопаратура. Приобретены мобильные дозиметрические комплексы, организована работа по лицензированию природоохранной деятельности (были получены 13 лицензий), аккредитированы лаборатории химического контроля (А.М. Соболев, З.Я. Овчарова, О.А. Кондакова) и лаборатории радиационного контроля (Г.И. Конев). Сотрудники отдела активно развивают эколого-аудиторскую деятельность (экоаудиторы: И.Г. Кобзарь, А.М. Соболев), участвуют в подготовке специалистов предприятий к аудиту, разрабатывают проект закона «Об экологическом аудите в Ульяновской области»

(А.М. Соболев). Специалисты лаборатории по разработке экологических нормативов и прогноза активно участвуют в обеспечении природоохранной деятельности предприятий города и области.

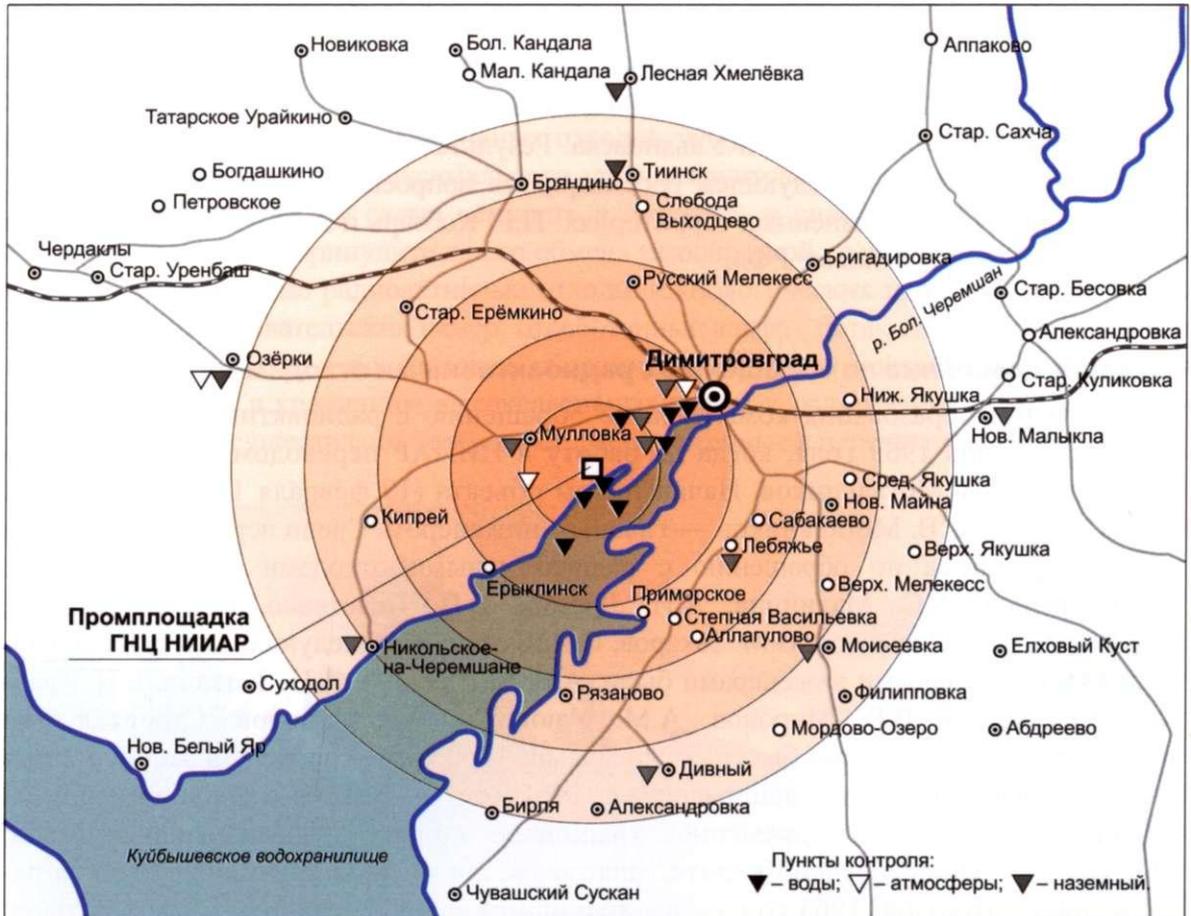


Схема экологического контроля территории Средней Волги

У истоков создания отдела стояли И.Г. Кобзарь и А.М. Соболев. В разное время отдел возглавляли: доктор технических наук И.Г. Кобзарь, кандидат технических наук Е.И. Шкоков; в настоящее время отдел возглавляет С.А. Ефаров. Практическое воплощение идей и норм природоохранного законодательства в НИИАРе с самого основания отдела осуществлял начальник лаборатории по разработке экологических нормативов и прогнозов, а с 1990 года — главный эколог предприятия А.М. Соболев. С 2008 года сотрудники отдела активно участвовали в инновационной деятельности НИИАРа в рамках проектов федеральной целевой программы «Реконструкция и реабилитация ПЛК (промышленно-ливневой канализации) промышленной площадки № 1 НИИАРа»,

«Реконструкция и обеспечение безопасности хранилищ твёрдых радиоактивных отходов НИИАРа», «Создание полифункционального радиохимического исследовательского комплекса для обработки перспективных технологий замкнутого топливного цикла».

Многие сотрудники отдела защиты окружающей среды участвовали в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (В.А. Горбунов, В.П. Лосев, П.И. Котиков, В.Я. Богомолов, А.М. Соболев, Е.И. Шкоков), а также в ликвидации её последствий на территории Ульяновской области (Вешкаймского, Корсунского, Инзенского районов) и городов Димитровграда и Ульяновска. Результаты экспедиций по Ульяновской области позволили в последующем рассматривать вопросы компенсаций населению, проживающему на загрязнённых территориях. И.Г. Кобзарь и А.М. Соболев получили звания «Заслуженный эколог РФ».

### **Создание комплекса по обращению с радиоактивными отходами**

Началом образования комплекса по обращению с радиоактивными отходами считается январь 1959 года, когда на работу в НИИАР переводом из Арзамаса-16 был принят С.В. Метальников. Начальником объекта (19 февраля 1963 г.) назначен С.И. Захаров, а С.В. Метальников — главным инженером. Среди первых сотрудников в штат комплекса по обращению с радиоактивными отходами были зачислены: П.Г. Кудряшов, А.С. Малинина, А.И. Дремов, В.П. Повстанко, И.И. Скорняков, А.Я. Юдин, А.А. Перминов, В.М. Захаров, С.И. Чудин. В последующие годы начальниками КОРО и главными инженерами были: А.В. Митрюшин, А.И. Зацепин, Е.В. Крайнов, А.С. Ладзин, В.В. Миронов, А.М. Улюшкин, А.В. Мамонов. Строительство комплекса шло достаточно быстрыми темпами: 1960 год — введена в эксплуатацию вентиляционная труба и спецпрачечная; 1961 год — первая очередь вентцентра и хранилище дистиллята, временное хранилище жидких радиоактивных отходов; 1962 год — технологический корпус, спецгараж, постоянное хранилище жидких радиоактивных отходов; 1963 год — два хранилища твёрдых радиоактивных отходов; 1964 год — хранилище кислот и щелочей, административный корпус, опытно-промышленный полигон в составе семи зданий; 1971 год — временное хранилище отработавших тепловыделяющих сборок; 1971–1972 годы — четыре ёмкости для солевых растворов промывки скважин опытно-промышленного полигона. В течение 1962–1963 годов на объекты комплекса по обращению с радиоактивными отходами прибыло немало молодых специалистов: В.А. Назаркин, А.С. Ладзин, Г.В. Краюхин, В.П. Казаков, Т.И. Шмачкова, В.Б. Бевз, В.Т. Афанасьев и другие. Приказ о вводе в эксплуатацию объекта 114 был подписан 15 января 1963 года, именно эту дату можно считать датой создания подразделения.

В комплексе по обращению с радиоактивными отходами хранение высокоактивных жидких радиоактивных отходов осуществляется в железобетонных ёмкостях, об-

лицованных нержавеющей сталью. В хранилище имеются три ёмкости, каждая объёмом  $500 \text{ м}^3$ , предназначенные для временного хранения высокоактивных жидких радиоактивных отходов, поступающих из реакторных подразделений и радиохимических лабораторий, а также кубовых остатков выпарных аппаратов. Ещё две ёмкости, объёмом  $600 \text{ м}^3$  каждая, используются для хранения отработанных ионообменных смол, перлитовой пульпы и пульпы из отстойников установок спецводоочистки исследовательских реакторов и бассейнов выдержки отработавшего ядерного топлива. Ёмкости для хранения высокоактивных отходов заглублены в землю. Их дно расположено на три метра выше максимального уровня грунтовых вод. Ёмкости выполнены с двойными стенками по схеме «ёмкость в ёмкости» и снабжены системами отвода избыточного тепла и принудительного обмена газообразной среды над растворами. Высокоактивные твёрдые радиоактивные отходы технологических процессов реакторных установок; исследовательских камер; отработанные альфа-, бета-, гамма- и нейтронные источники загружают в одноразовые сборники и защитные контейнеры и перевозят спецтранспортом в хранилища высокоактивных твёрдых радиоактивных отходов. Разгрузку отходов осуществляют через люки, расположенные в перекрытиях отсеков.



Внешний вид здания 134 комплекса по обращению с радиоактивными отходами

Хранилища представляют собой отдельные сооружения размером  $11 \times 30$  м и  $72 \times 18$  м, состоящие из наземной и подземной частей. Подземной частью является железобетонный бункер глубиной 9 м, разделённый на ряд отсеков. Железобетонные стены и днище толщиной 1 м имеют несколько слоёв гидроизоляции и расположены на 4 м выше максимального уровня грунтовых вод. Перекрытия над отсеками толщиной 1,75–2 м обеспечивают радиационную защиту эксплуатационного персонала. В отсеках поддерживают разрежение. Воздух хранилища проходит очистку на фильтрах и выбрасывается в атмосферу через вентиляционную трубу. Полезный объём хранилища твёрдых высокоактивных отходов составляет  $5\,500\text{ м}^3$ . Образующиеся на объектах производственные твёрдые радиоактивные отходы в виде оборудования, арматуры, бетона, пластика, полиэтиленовой плёнки, бумаги и т.д. с удельной активностью менее  $(7,4\text{--}18,5)10^4$  Бк/кг ( $(2\text{--}5)10^{-6}$  Ки/кг) направляют на хранение в хранилище низкоактивных отходов. Сбор, сортировку и упаковку отходов осуществляют в подразделениях института. Малогабаритные отходы упаковывают в бумажные мешки и помещают в металлический транспортный контейнер. Крупногабаритные отходы помещают в контейнер без упаковки. Типовая конструкция контейнера обеспечивает возможность механической загрузки и выгрузки. Хранилище твёрдых радиоактивных отходов низкого уровня активности расположено на территории института и представляет собой траншею глубиной 5 м; высота слоя грунта над отходами — 1,5–2 м.

Газообразные радиоактивные отходы из производственных зданий института по магистральным воздуховодам поступают в вентиляционный центр и после очистки выбрасываются в атмосферу через трубу высотой 120 м. В зависимости от степени загрязнения газообразными радиоактивными отходами, радионуклидами вытяжная вентиляционная система разделена на пять категорий. По первой и пятой категориям удаляется воздух из операторских помещений и чистой зоны лабораторий и реакторных установок с суммарным расходом  $5,5 \cdot 10^4\text{ м}^3/\text{ч}$ . Концентрация радиоактивных аэрозолей в газообразных радиоактивных отходах этих категорий незначительна. Очистку их на вентцентре не производят. Газообразные радиоактивные отходы второй категории с расходом  $3,8 \cdot 10^4\text{ м}^3/\text{ч}$  поступают на вентиляционный центр из радиационно-защитных камер и боксов основного оборудования реакторных и технологических установок, ремонтных коридоров и помещений лабораторий. Воздух из этих помещений проходит очистку на фильтрах ФП марки Д-23, коэффициент очистки колеблется от 10 до 150. Воздушные выбросы третьей и четвёртой категорий — это воздух из защитных камер, боксов и других технологических помещений первой зоны, который содержит радиоактивные аэрозоли и газообразный йод. Этот воздух проходит на вентиляционном центре двойную очистку на фильтрах ФП марки Д-23 и на угольных фильтрах марки ФПУ-200. Все здания института выведены на одну вентиляционную установку. В работах по вводу в эксплуатацию перечисленных выше объектов принимали активное участие Г.Г. Романов, М.Д. Стрельник, А.А. Ивахнов, А.Н. Болотов.

В 1966 году была запущена экспериментальная установка по удалению ЖРО в глубинные формации, которая проработала до 1975 года. Первая очередь опытно-промышленного полигона для подземного захоронения жидких радиоактивных

отходов была введена в эксплуатацию 1 марта 1973 года. Для этой цели в НИИАРе используют два водоносных комплекса (III и IV). В естественных условиях эти водоносные комплексы содержат хлоридные кальциево-натриевые рассолы с минерализацией 230–285 г/л. Они не пригодны для питьевого и хозяйственного водоснабжения и не содержат полезных ископаемых в количествах, пригодных для промышленного использования. Водоносный комплекс III залегает на глубине 1450 м, имеет мощность до 80 м, сложен песчаниками с прослоями глинистых сланцев. Водоносный комплекс IV залегает на глубине 1150 м, имеет мощность около 300 м, сложен известняками и доломитами.

Региональный водоупор, образованный глинистыми породами верейского горизонта мощностью 45–50 м, изолирует водоносные комплексы III и IV от вышележащих водоносных горизонтов. Эти водоносные горизонты, содержащие пресные воды, используемые для водоснабжения, отделены от нижележащих горизонтов, содержащих солёные воды, водоупором, образованным толщей глин и гипсов татарского яруса верхней перми с суммарной мощностью 150–200 м.

Закачиваемые для подземного захоронения жидкие радиоактивные отходы локализованы в пределах выделенных границ горного отвода и не воздействуют негативно на окружающую среду и население. Для наблюдения за поведением отходов в подземном хранилище на полигоне имеется 35 наблюдательных скважин, которые размещены на трёх поясах санитарно-защитной зоны, удалённых от центра полигона соответственно на 0,6; 3,0 и 12–13 км. В процессе эксплуатации опытно-промышленного полигона ведётся систематический контроль качества удаляемых отходов, в том

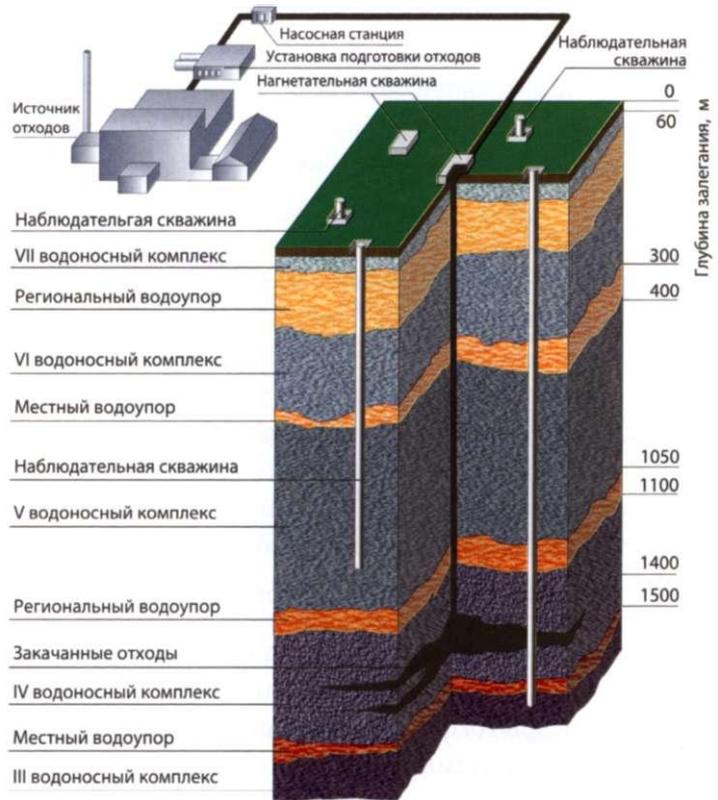


Схема опытно-промышленного полигона

числе химического и радионуклидного состава, значения pH, содержания твёрдых взвешенных веществ и др. Развитие полигона потребовало расширения сети наблюдательных скважин, число которых в настоящее время перевалило за 50. С 1995 года началась ликвидация скважин, утративших своё назначение.

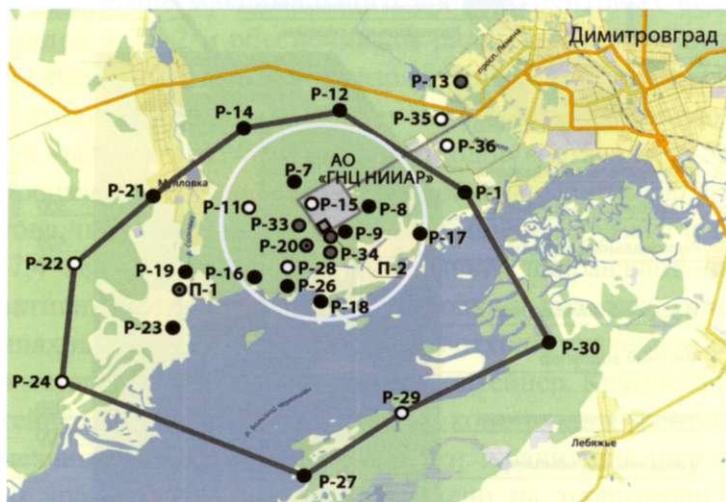


Схема расположения скважин опытно-промышленного полигона

в интервале перфорации труб, но и по всей длине скважин, закреплённых колонной обсадных труб. Поэтому по одной наблюдательной скважине удаётся проводить контроль не только вскрытого поглощающего горизонта, но и всех вышележащих горизонтов.

Проект подземной части полигона и обоснование безопасной изоляции ЖРО низкой и средней активности выполняли сотрудники НИИАРа С.В. Метальников, М.Н. Баранов, В.П. Каштанов, А.С. Ладзин, А.В. Митрюшин, Г.Д. Барышников, А.М. Улюшкин, Б.А. Буквич, В.И. Куприенко.

На основании результатов анализа работы полигона уточнены требования к свойствам отходов, удаляемых в трещинно-карбонатные породы подземного хранилища. С учётом этих требований разработана технология перевода пульпообразных осадков в состояние, пригодное для захоронения на полигоне. Доказана возможность удаления в карбонатные коллекторы пульпообразных отходов после их предварительной обработки: в суспензионном состоянии в смеси с подготовленными жидкими отходами. Для обработки технологического процесса был создан стенд растворения пульп на здании 134. Разработана технологическая схема. Большой вклад в создание технологической установки внесли Г.Г. Романов, Е.И. Крылов, Г.Д. Барышников, Н.И. Добрейкин. В подземное хранилище было удалено радиоактивных пульп объёмом около  $5\,000\text{ м}^3$ .

В Научно-исследовательском институте атомных реакторов в августе 2005 года был проведён международный семинар «Опыт эксплуатации полигонов глубинной

Контроль распространения радиоактивных и химических загрязнений в подземном хранилище осуществляется геофизическими методами исследования в скважинах и радиохимическим анализом пластовых вод наблюдательных скважин. Основным геофизическим методом наблюдения за распространением закачиваемых отходов является гаммакаротаж скважин. Большим преимуществом этого метода является то, что он фиксирует гамма-излучение не только

изоляции (захоронения) промышленных стоков и жидких радиоактивных отходов» (организаторы — доктор технических наук В.И. Поляков, А.С. Ладзин, А.М. Улюшкин, В.И. Куприенко), на котором участники дали положительную оценку более чем сорокалетней эксплуатации опытно-промышленного полигона.

Происходит расширение уже действующих объектов. В два этапа прошло расширение вентиляционного центра. 30 декабря 1966 года завершён первый этап расширения, 27 ноября 1968 года — второй. В октябре 1975 году сдан в эксплуатацию цех сбора протечек опытно-промышленного полигона, а 18 июня 1986 года сдано в эксплуатацию хранилище твёрдых радиоактивных отходов.

Центральное хранилище отработавшего ядерного топлива было введено в эксплуатацию 28 декабря 1971 года и предназначалось для временного хранения перед отправкой на переработку отработавших тепловыделяющих сборок реакторов ВК-50, СМ, МИР, БОР-60, АРБУС-АСТ и пеналов с обрезками отработавшего ядерного топлива после материаловедческих исследований. Отработавшие тепловыделяющие сборки исследовательских реакторов в специальных контейнерах транспортируются в центральное хранилище для выдержки и последующей отправки на завод по регенерации отработавшего ядерного топлива. При помощи грузоподъёмных механизмов осуществляется выгрузка отработавших ТВС в перегрузочный бассейн и последующая установка их в специальные гнезда, которые находятся под слоем воды на дне двух бассейнов выдержки. Глубина этих бассейнов 7 м, перегрузочного бассейна — 10 м. До последнего времени центральным хранилищем отработавшего ядерного топлива руководил Ш.З. Алеев.

Как большое достижение следует отметить разработку и создание установки для сжигания органических отходов низкого и среднего уровней активности, которая позволяет перевести биологически- и пожароопасные отходы в инертную форму, а их объём уменьшить при этом в десятки раз. Целесообразность сжигания отходов определяется экономическими и санитарными соображениями с учётом всех затрат на сжигание, газоочистку, транспортирование и хранение. Установка для сжигания радиоактивных отходов оснащена тремя ступенями газоочистки, которые обеспечивают минимальный выброс сажи и вредных химических веществ в атмосферу. Зольный остаток вводят в бетонную матрицу и помещают в стандартную бочку. Основной вклад в создание и освоение установки для сжигания радиоактивных отходов внесли сотрудники А.В. Митрюшин, В.В. Миронов, В.Н. Покровский.

Для решения научных задач в области обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом была создана лаборатория радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива, основной задачей которой стало усовершенствование существующих и внедрение новых технологий для обеспечения безопасной эксплуатации хранилищ РАО и ОЯТ (В.В. Маклаков). В 2004 году завершились работы по созданию стенда инспекции отработавшего ядерного топлива исследо-

вательских реакторов, позволяющего измерять атрибутивные характеристики ОТВС, визуально осматривать конструктивную целостность и идентифицировать заводской номер сборки. Через год был запущен стенд сухого хранения отработавших тепловыделяющих сборок на основе металлобетонного контейнера транспортно-упаковочного комплекта ТУК 108/1 для экспериментального изучения возможности и условий сухого хранения ОТВС с алюминиевыми оболочками (научный руководитель — доктор технических наук Ю.В. Чечёткин, исполнители — В.Г. Бордачёв, В.В. Маклаков, К.И. Юдин). С этой целью в металлобетонный контейнер были загружены 28 отработавших ТВС реактора МИР, некоторые из которых извлекались для осмотра, а одна ОТВС была исследована в материаловедческой лаборатории (кандидаты технических наук З.И. Чечёткина и П.А. Ильин). Проведённые эксперименты подтвердили возможность длительного сухого хранения ОТВС с оболочками на основе алюминия при соблюдении регламентируемых условий. Поскольку хранилища отработавших тепловыделяющих сборок заполнялись быстрыми темпами, надо было решить вопрос о вывозе отработавших ТВС реакторов НИИАРа и фрагментов отработавших сборок реакторов ВВЭР-440, ВВЭР-1000, БН-600 и «флотских» реакторов после окончания их материаловедческих исследований. Была разработана соответствующая техническая документация, усилены железнодорожные пути, облицован нержавеющей сталью транспортный въезд центрального хранилища, изготовлены перегрузочные приспособления, включая контейнеры для внутренней транспортировки ОЯТ. Основной задачей стал вывоз отработавшего топлива на переработку. Решение этой проблемы стало кардинально осуществляться с принятием федеральной целевой программы обеспечения ядерной и радиационной безопасности на 2008–2015 годы.

Внедрение уплотнённой транспортировки отработавших тепловыделяющих сборок в транспортно-упаковочные комплекты (В.Г. Бордачёв, В.А. Гремячкин, В.В. Маклаков, М.Н. Святкин, К.И. Юдин), разработка и изготовление транспортно-упаковочных комплектов ТУК-32 (1-2), ТУК-11ДМ позволили в разы ускорить вывоз отработавшего ядерного топлива на переработку и сократить транспортные расходы.

В 2008–2013 годы вывезено на переработку более 2 500 отработавших тепловыделяющих сборок. В этот же период в рамках федеральной целевой программы были проведены значительные работы по обеспечению безопасного обращения с ТРО (Е.И. Соколов, С.Г. Разживин) и ЖРО (А.М. Улюшкин, В.И. Куприенко). Результаты исследований, проведённых сотрудниками лаборатории, неоднократно докладывались на международных конференциях: RRFM (2003–2005 гг.), INMM'45th (2005 г.), ICSEM'05, AtomEco (2011–2015 гг.) и отражены во многих публикациях (В.В. Маклаков).

В 2011 году коллективом сотрудников комплекса по обращению с радиоактивными отходами (В.В. Маклаков, Ш.З. Алеев), отделения реакторного материаловедения

(доктор технических наук В.С. Неустроев), отдела главного сварщика (кандидат технических наук Е.М. Табакин) и цеха централизованного ремонта были проведены исследования состояния металла облицовки бассейна выдержки центрального хранилища ОЯТ с отбором темплетов и обоснование герметичности бассейнов выдержки центрального хранилища отработавшего ядерного топлива. Результаты проведённого комплекса исследований технического состояния защитных барьеров центрального хранилища отработавшего ядерного топлива, анализа численного моделирования влияния гипотетических утечек бассейновых вод на экологическую обстановку, а также используемая технология обращения с ОЯТ доказывают безопасную эксплуатацию центрального хранилища отработавшего ядерного топлива НИИАРа. Определённая скорость коррозии образца-эталона облицовки бассейнов выдержки позволяет утверждать, что облицовка будет выполнять гидроизоляционные свойства не менее 60 лет.

Под непосредственным руководством начальника комплекса по обращению с радиоактивными отходами Е.В. Крайнова сотрудниками лаборатории радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива была разработана стратегия обращения с РАО в НИИАРе и программа вывоза отработавшего ядерного топлива исследовательских реакторов на переработку.

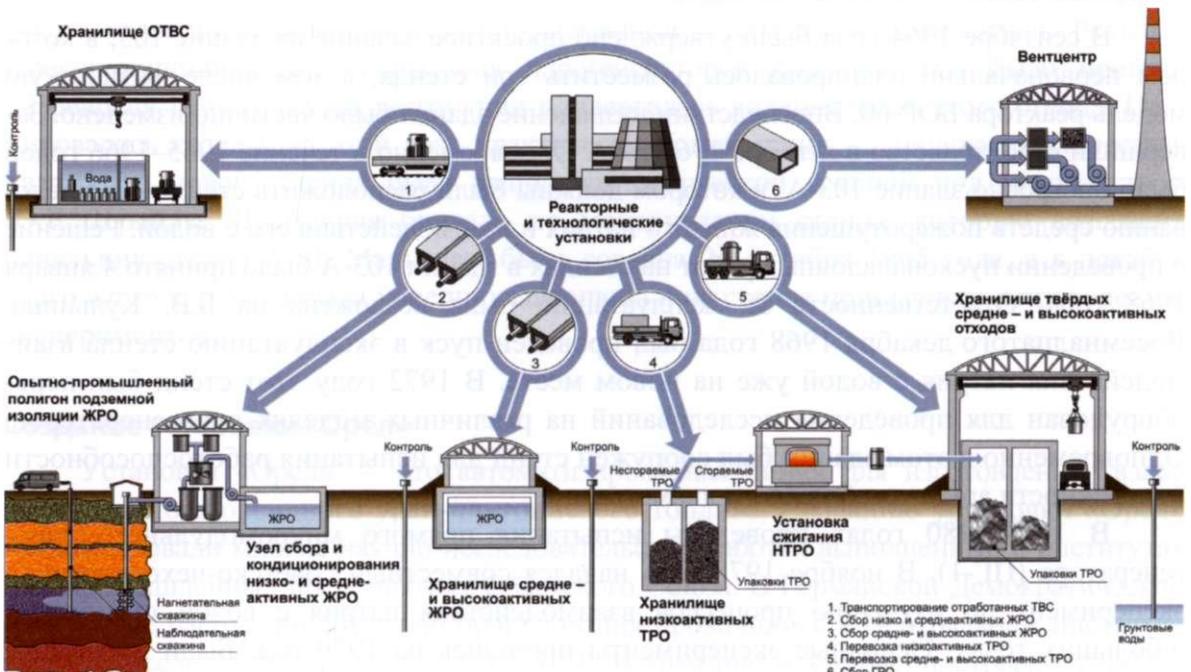


Схема обращения с радиоактивными отходами АО «ГНЦ НИИАР»

Введение в 2015 году построенного пункта контейнерного хранения твёрдых радиоактивных отходов позволяет не только усовершенствовать процесс обращения с радиоактивными отходами в институте и сделать более безопасным хранение этих отходов, но и решить задачу по приведению процедуры обращения с радиоактивными отходами в соответствие с требованиями действующих федеральных норм и правил в области использования атомной энергии. Результаты проведённого анализа возможного техногенного и природного воздействия на хранилище жидких радиоактивных отходов показали, что вероятность реализации сценариев с негативным воздействием на работоспособность хранилища и на безопасность населения и окружающей среды пренебрежимо мала.

Для обеспечения возможности вывоза ОТВС реактора БОР-60 на переработку сотрудниками НИИАРа и ВНИИЭФ был разработан и изготовлен транспортный упаковочный комплект ТУК32БОР. Большой вклад в эту работу внесли сотрудники комплекса по обращению с радиоактивными отходами В.Г. Бордачёв, В.В. Маклаков и сотрудники реакторного исследовательского комплекса Ю.В. Набойщиков и доктор технических наук И.Ю. Жемков (РИК).

### **Создание технологических стендов**

В сентябре 1964 года было утверждено проектное задание на здание 103, в котором первоначально планировалось разместить три стенда, в том числе физическую модель реактора БОР-60. Впоследствии назначение здания было частично изменено. Завершили строительство в декабре 1967 года. Одновременно в течение 1965–1966 годов было построено здание 103-А, в котором должны были расположить стенд по исследованию средств пожаротушения жидкого натрия и взаимодействия его с водой. Решение о проведении пусконаладочных работ на стендах в здании 103-А было принято 4 января 1968 года. Ответственность за эксплуатацию была возложена на Б.В. Кульпина. Восемнадцатого декабря 1968 года был проведён пуск в эксплуатацию стенда взаимодействия натрия с водой уже на новом месте. В 1972 году этот стенд был переоборудован для проведения исследований на различных моделях парогенераторов. Одновременно в этом здании был сооружен стенд для испытания работоспособности и надёжности арматуры большого диаметра.

В 1973–1980 годах проведены испытания прямого микромодульного парогенератора (ПГ-1). В ноябре 1978 года начался совместный советско-чехословацкий эксперимент по изучению процессов взаимодействия натрия с водой при малых и больших течах. Основные эксперименты пришлось на 1979 год. Были проверены различные способы индикации течей, работоспособность и надёжность защитных систем, получен опыт по устранению последствий аварий. Специалисты НИИАРа совместно со специалистами Чехословакии использовали результаты этих работ при разра-

ботке микромодульного парогенератора реактора БН-350. Испытания секционного парогенератора ПГ-2 (для реактора БН-600) проводили в 1978–1982 годах. Парогенератор был выведен из эксплуатации в связи с появлением межконтурной неплотности. Результаты полученного опыта показали, что при общепринятом исполнении, то есть вода–пар в трубках, натрий в межконтурном пространстве, в случае возникновения сквозного дефекта в трубке происходит саморазвитие течи. Такое развитие событий можно было бы исключить, если конструктивно парогенераторы будут выполнены так, чтобы по трубам протекал натрий, а в межтрубном пространстве находились вода–пар. Эта идея была развита в институте и реализована специалистами НИИАРа совместно со специалистами Чехословакии. Впервые в мировой практике в 1981 году был введён в эксплуатацию обратный парогенератор ОПГ-1.

В 1978–1982 годах меняют свое предназначение стенды, расположенные в здании 103-А. В 1982 году стенд испытания арматуры был реконструирован в натриевый метрологический стенд ВИЗУС-КОРН, на котором сотрудники лаборатории динамических и статистических исследований (В.А. Афанасьев) провели большой комплекс исследований по проверке электромагнитных корреляционных методов измерения расхода натрия, элементов системы звуковидения под слоем натрия; по испытанию и тарировке расходомеров различного назначения для реакторов БОР-60, БН-350, БН-600. В 1986 году стенд испытания парогенераторов был также перепрофилирован для работы по усовершенствованию техники, связанной с натриевой технологией. Решение о реконструкции стенда испытания парогенераторов в здании 103а было принято 22 февраля 1994 года. Реконструкции подвергалась водяная часть этого стенда. Планировалось создать на этой базе практически новый стенд — теплогидравлический. Разработка нового стенда была выполнена творческой группой под руководством Ю.Е. Штынды. Временная бригада по модернизации стенда, которую возглавил начальник стенда А.М. Малышев, была создана 24 октября 1995 года, а в декабре этого же года работа была успешно завершена и на стенде приступили к проведению экспериментов.

### **Создание установки «Орёл»**

Установка «Орёл» — это автоматизированная линия для изготовления твэлов из смешанного оксидного уран-плутониевого топлива. Созданию установки «Орёл» предшествовали многие научно-исследовательские работы, выполненные в институтах и на промышленных предприятиях Советского Союза. В Германской Демократической Республике работы по созданию оборудования проводились в Центральном институте ядерных исследований Академии наук ГДР. В этом институте был построен специальный стендовый корпус, где осуществлялась отработка технологии изготовления твэлов из виброуплотнённого уранового топлива. Руководителем работ по проблеме установки «Орёл» в ЦИЯИ был профессор Альбрехт. Немецкая сторона работала только с имита-

торами плутония. Было показано, что по длине твэла может быть сильная неоднородность в распределении ядерного горючего в виброуплотнённом топливе. Создание совместной установки началось в 1969 году. Установка включала в себя четыре автоматизированных комплекса, функциональное назначение которых распределялось следующим образом:

- 1) подготовка навески гранулята, засыпка гранулята в оболочку твэла, виброуплотнение, загрузка торцевых экранов и вставка в твэл верхней пробки;
- 2) сварка верхней пробки с оболочкой твэла, сухая дезактивация;
- 3) контрольные операции: геометрия твэла, распределение плотности топлива по высоте твэла, герметичность твэла;
- 4) сборка кассеты, контрольные операции на кассете, загрузка готовой кассеты в транспортную ёмкость.



Начало строительства здания установки «Орёл»

Автоматическая линия была смонтирована в двух радиационно-защитных камерах. Её проектная производительность в соответствии с заданием составляла 10 кассет в месяц при односменной работе первого, второго, четвёртого комплексов и двухсменной работе третьего комплекса. В ноябре 1973 года в НИИАРе началось строительство установки «Орёл». Масштабность начатых работ требовала привлечения лучших сил

института. Решение о привлечении опытно-технологического отделения материаловедческого сектора к работам по установке «Орёл» было принято 13 января 1975 года. Начальникам секторов О.В. Скибе и Е.Ф. Давыдову было поручено разработать комплексную программу по созданию полного топливного цикла реактора БОР-60. Акт о приёмке члены госкомиссии подписали 28 декабря 1976 года.

Третьего января 1977 года прошёл ввод в эксплуатацию установки «Орёл». Работники опытно-экспериментального цеха и цеха централизованного ремонта 2 августа 1979 года приступили к изготовлению узлов и оборудования участка виброуплотнения. Комплексное испытание установки на естественном диоксиде урана по утверждённой программе началось 10 августа 1977 года. Заключительная стадия испытаний с выпуском опытной партии кассет началась 17 сентября 1977 года. В эксплуатацию участок принимали со 2 по 8 сентября 1982 года. Одновременно шла подготовка к строительству пристройки к зданию установки «Орёл». В мае 1980 года началось строительство пристройки.

Рабочая комиссия по приёмке пускового комплекса пристройки была назначена 29 ноября 1984 года, и в декабре пристройка была сдана в эксплуатацию. Сетевой график по созданию химической части пристройки утверждён 4 января 1985 года. Речь шла о монтаже установки «Фрегат-2» и создании установки грануляции топлива. Специалисты из ЧССР приступили к монтажу установки 10 марта 1987 года. Техническое испытание урановой ветви установки «Фрегат-2» было успешно завершено 25 апреля 1987 года. Ввод в эксплуатацию установки грануляции топлива был проведён 12 мая 1987 года. Комиссия провела приёмку опытного образца «Манипулятор М-51» для установки «Орёл» 25 ноября 1982 года. Третьего февраля 1983 года сдана в эксплуатацию электрохимическая установка, расположенная в камерах К-16 (здание 120) и КР-01 (здание 180), а 30 марта 1983 года принят в эксплуатацию экспериментальный стенд «Радуга», на котором производилось фторирование. Осмотр установки проводил министр Е.П. Славский. Он настолько был доволен результатами, что постоянно повторял во время осмотра: «Ну, уважили старика, утешили». Была проведена коллегия Министерства. В результате перед институтом поставили задачу: работать не только для реакторной установки БОР-60, но и для энергетического реактора БН-600. Рабочая комиссия Главка для обеспечения своевременного пуска опытно-промышленного комплекса по изготовлению твэлов и ТВС со смешанным виброуплотнённым оксидным топливом для энергетических быстрых реакторов была создана 23 апреля 1985 года. Опытно-исследовательский комплекс «Орёл» был введён в эксплуатацию 15 октября 1986 года. Усовершенствование исследовательской базы для установки «Орёл» продолжилось. Пятого ноября 1986 года введён в эксплуатацию участок исследований процессов получения смешанного топлива. Система технологического контроля потенциала катода, тока электролиза и содержания урана и плутония в электролизёрах камеры КР-03 введена в эксплуатацию 13 марта 1987 года. Участок подготовки топлива

для проведения работ по вскрытию и окислению топлива в камере К-08 здания 120 введён в эксплуатацию 24 июня 1988 года. Вскоре задание правительства о начале изготовления ТВС для реактора БН-600 было выполнено. Комиссия для проведения приёмочных комплексных испытаний технологического оборудования по изготовлению твэлов и ТВС с виброуплотнённым топливом в защитных камерах опытно-исследовательского комплекса и проверки качества изготавливаемых изделий была назначена 22 ноября 1988 года. Все испытания прошли успешно.

### **Создание энергетического комплекса**

Энергетические подразделения начали формироваться в 1958 году для приёмки объектов строительства в эксплуатацию, создания и эксплуатации энергетических систем жизнеобеспечения института. В январе 1958 года Ю.Я. Захаров приказом был назначен заместителем главного энергетика. Эта дата является датой рождения энергетического комплекса НИИАРа. В марте 1958 года состоялось первое назначение в отдел главного энергетика. Инженером-электриком в формирующийся отдел был назначен В.Н. Урюпин. Сложность задач, поставленных перед энергетиками института, обуславливалась тем, что до 1960 года отсутствовали стационарные источники электро- и теплоснабжения. Электроснабжение осуществлялось от двух энергопоездов с электрической мощностью 2,5 МВт каждый, откуда воздушными линиями электроэнергия подавалась на строящиеся объекты. Теплоснабжение велось от небольших котельных, расположенных в посёлках Зелёном, Южном и Черемшанке. Для водоснабжения были пробурены первые артезианские скважины.

В сентябре 1958 года организован цех сетей и подстанций, первым начальником цеха был назначен Ф.А. Будников. Начальниками электроцеха НИИАРа работали: В.Д. Пирогов, А.И. Злобин, Б.Д. Розанов, С.Н. Крончев. В 1959 году для оперативно-диспетчерского управления энергокомплексом при отделе главного энергетика была сформирована диспетчерская группа. Первым старшим диспетчером был назначен И.Н. Бельцов. В настоящее время диспетчерской группой руководит И.А. Шамигулова. В январе 1959 года был сформирован паросиловой цех и начался ввод стационарных энергетических объектов и сетей водоснабжения. Руководителями цеха в разное время работали М.Г. Солдатов, В.Н. Гатилов, В.П. Стифатов. Тогда же в цехе сетей и подстанций была организована электротехническая лаборатория. Её первым руководителем был назначен С.А. Боярков. В электротехнической лаборатории в разное время работали специалисты — электрики высочайшей квалификации: И.Я. Злобин, В.Н. Урюпин, Е.И. Соколов, Т.И. Асеева. В марте 1959 года введена в действие главная понизительная подстанция № 2 (ПС-2М), предназначенная для электроснабжения западной части города Мелекесса (ныне Димитровграда), предприятий промышленной зоны и соединения ТЭЦ с энергосистемой. В 1961 году введена в действие главная

понижительная подстанция № 1 с линией электропередач «Мелекесс–Ульяновск». Подстанция 1М стала основным источником электроснабжения НИИАРа, распределительным устройством мощностью 110 кВ при отпуске электроэнергии от энергоблоков ядерных установок ВК-50 и БОР-60 и осуществляла транзит электроэнергии между Ульяновской и Самарской энергосистемами. Для транспортировки и распределения электрической энергии было проложено 180 километров электрических сетей, построено 67 трансформаторных подстанций и восемь распределительных пунктов.

В 1960 году на берегу Черемшанского залива Куйбышевского водохранилища была запущена насосная станция, снабжающая объекты использования атомной энергии и ТЭЦ технической водой. Днём рождения ТЭЦ считается 23 марта 1961 года. В этот день был пущен в работу энергетический котёл № 1 и мазутное хозяйство. Основным составом персонала стали рабочие энергопоездов. В 1962 году введён в работу на ТЭЦ турбогенератор № 2. Пуск первой очереди ТЭЦ проводился под руководством В.М. Вертейма, исполняющего обязанности главного энергетика (1961–1962 гг.) и В.А. Щепетильникова, главного энергетика (1963–1964 гг.). В 1964–1966 годах была введена вторая очередь ТЭЦ (3-й и 4-й энергетические котлы, 3-й и 4-й турбогенераторы) и начато строительство водогрейной котельной с последующим запуском первого и второго водогрейных котлов ПТВМ-50. В настоящее время ТЭЦ НИИАРа имеет установленную генерирующую мощность по электроэнергии 20,5 МВт, по теплоэнергии — 406 Гкал/ч. Для производства электрической и тепловой энергии на ТЭЦ имеются комплексы оборудования: топливный (газовое и мазутное хозяйство); котельный; турбинный; химводоподготовки и вспомогательное оборудование.

В период строительства и эксплуатации ТЭЦ работали: В.Т. Недяк, Л.А. Герасимов, Г.А. Яковлев, В.М. Ещеркин (заслуженный энергетик РФ), Е.С. Стесюк, Н.В. Чичулин, Н.В. Кадышев, А.А. Федотов, В.А. Спасов, Л.П. Ануфриева, Г.М. Клевогин. Начальниками ТЭЦ в разные периоды были: В.А. Щепетильников, В.М. Бегунов, Н.И. Решонков, И.В. Борисов, А.Н. Львов, В.В. Трофимов.

В середине восьмидесятых годов окончательно определился контур энергетического комплекса института в составе ТЭЦ, электротехнической лаборатории, цеха электросетей и подсистем, цеха наружных коммуникаций. Предприятие было укреплено молодыми специалистами-энергетиками, пришедшими в институт после окончания энергетических ВУЗов, и уже сложившимися специалистами (Д.В. Уранов — главный энергетик), В.Н. Гатилов (начальник цеха наружных коммуникаций), О.И. Говоров, А.В. Трошин (начальник ГПП-1), М.В. Егоров, А.М. Нехожин (начальник ЦЭП) и другие. В эти годы была проведена частичная модернизация главной понижительной подстанции 1М, на ТЭЦ смонтированы и запущены водогрейный котел КВГМ-100, новая дымовая труба высотой 120 м, модернизирован комплекс водоподготовки, запу-

щен куст артезианских скважин № 3. Общее руководство модернизацией энергетического комплекса в 1980-х годах осуществлял главный энергетик института А.Н. Миронов (заслуженный энергетик РФ).

С 90-х годов и по настоящее время в изменяющихся экономических условиях структура энергетического комплекса и состав энергетического оборудования института меняются в зависимости от ставящихся перед предприятием задач. Производственная энергетическая программа НИИАРа включает в себя практически весь спектр современной энергетики по генерации и передаче тепловой и электрической энергии, водоснабжению и водоотведению, обеспечению объектов института сжатым воздухом и криогенной продукцией. Энергетики следуют традициям своих предшественников, обеспечивают стабильную работу энергетического комплекса. Пришло новое поколение руководителей с высоким инженерным потенциалом, которое и сейчас определяет развитие энергетики института: В.В. Трофимов, заместитель главного инженера НИИАРа по энергетике; С.Н. Быстров, начальник управления по энергетике НИИАРа; А.Ф. Мажоров, начальник ТЭЦ; М.В. Малков, главный инженер ТЭЦ; В.В. Баранов, начальник энергоцеха; А.Н. Зорькин, начальник электротехнической лаборатории; В.М. Мочалин, главный энергетик института; В.Г. Кондаков, начальник электротехнической лаборатории (в 90-е годы главный инженер ТЭЦ); В.Н. Генсницкий, начальник электротехнической лаборатории; С.В. Аминяков, начальник участка эксплуатации сетей и подстанций энергоцеха.

С 2013 года институт начал модернизацию энергетического комплекса. В 2014–2018 годах предстоит модернизировать главную понизительную подстанцию 1М и сети энергоснабжения, осуществить технологическое присоединение к единой энергетической системе страны исследовательской ядерной установки МБИР, выполнить технологическое присоединение федерального высокотехнологического центра ядерной медицины к электрическим сетям НИИАРа.

### **Создание службы главного механика**

Отдел главного механика (с 2013 года — служба главного механика) был создан 25 октября 1958 года для организации и контроля выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту, модернизации и замене механического, тепломеханического и технологического оборудования. Возглавил его подразделения Д.Д. Артамонов, под руководством которого осуществлялось становление. Главной задачей отдела с момента его создания была организация монтажа, надёжной эксплуатации и ремонта сложнейшего уникального оборудования института.

Первыми сотрудниками отдела главного механика были: старший инженер М.Д. Алёшин, впоследствии начальник ремонтно-механического завода; техник В.Т. Бухтеев; чертежник-копировщик Э.Г. Мурашова; старший инженер С.А. Бояр-

ков; инженеры-конструкторы А.С. Тихонова и В.Н. Мартынчев. Инженером в отдел в 1959 году (с предприятия «Маяк» г. Челябинска) был принят В.П. Белоусов. Заместителем главного механика он работал с 1974 по 1986 годы. Активное участие В.П. Белоусов принял в разработке нормативной базы для организации ремонта механического и технологического оборудования, разработал ряд положений и инструкций.

С 1973 по 1975 годы главным механиком был В.Д. Богданов, впоследствии до 1981 года работавший заместителем главного инженера института по ремонту. Его настойчивость в организации технологической подготовки ремонтов, реализации задач автоматизации планирования и управления ремонтами позволили успешно реализовать первый этап этой работы.

С 1975 по 1982 годы отдел возглавлял Р.Л. Гафаров, впоследствии ставший заместителем главного инженера НИИАРа. На эти годы приходится становление и развитие цеха централизованного ремонта, строительство здания 151, монтаж оборудования, организация технологической подготовки централизованного ремонта оборудования. Новым направлением работы отдела стала организация взаимодействия подразделений института по эксплуатации специальных вентиляционных систем, расширение функций по надзору (подведомственному Госгортехнадзору) за оборудованием. В это время в состав ОГМ влилась из цеха централизованного ремонта конструкторско-технологическая группа во главе с технологом А.П. Храмичевым. В этот период численность отдела главного механика достигла 23 человек. В отдел, наряду с такими опытными работниками, как инженер по вентиляции Ю.Ф. Сапунков, инженеры по надзору В.С. Утробина и Г.Н. Ершова, начальник бюро планово-предупредительного ремонта Ф.М. Капралова, инженеры по ремонту В.А. Пытель, Н.А. Ананьева, Г.Г. Ненашева (все трое — участники Великой Отечественной войны), пришла и молодёжь — технолог Г.В. Наумова, инженеры планово-предупредительного ремонта Н.П. Кузнецова, М.М. Валкин и другие. В 1980 году в отдел принят А.С. Барсуков.

В 1981 году был завершён первый этап автоматизации планирования ремонтов оборудования с использованием электронно-вычислительных машин. В создание базы данных по оборудованию большой вклад внесли механики всех подразделений института, особенно Н.В. Красильников. Первый график планово-предупредительного ремонта был рассчитан для оборудования реакторной установки МИР. С 1983 по 1986 годы главным механиком института был В.Я. Кравченко, до этого работавший начальником цеха централизованного ремонта. В 1986 году отделы главного механика и главного энергетика были объединены в энергомеханический отдел, который просуществовал до 1988 года (начальник — М.М. Валкин). Это был сложный период начала перестройки, пересмотра принципов уравниловки в оплате труда, формирования новых отношений в производственных коллективах. В 1989 году

отдел разъединили на отдел главного энергетика и отдел главного механика, который возглавил А.В. Барышев. Одной из важных задач, решённой при его непосредственном участии, стало освоение выпуска манипуляторов в опытно-экспериментальном цехе. С 1995 по 2014 годы отдел возглавлял Г.Г. Кузин. Под его руководством новым направлением отдела стали работы по диагностике, определению и продлению ресурса оборудования.

В настоящее время отдел состоит из бюро эксплуатации и ремонта, группы вентиляции и службы производственного контроля. Основная задача службы главного механика — это организация и контроль работ по техническому обслуживанию, ремонту, модернизации и замене с целью обеспечения безаварийной эксплуатации объектов НИИАРа. Для её выполнения специалисты отдела организуют содержание действующего парка механического и технологического оборудования в исправном состоянии, осуществляют производственный контроль соблюдения требований промышленной безопасности опасных производственных объектов, состояния и безопасной эксплуатации оборудования в подразделениях института, руководят и контролируют проведение ППР и работ по модернизации оборудования. Также контролируют соблюдение принципов политики качества в подразделениях института при эксплуатации и ремонтном обслуживании механического оборудования, готовят предложения и осуществляют инженерное сопровождение работ по реконструкции и перспективному развитию парка механического оборудования, современной замене морально-устаревшего и физически изношенного оборудования, развитию ремонтной базы объектов института. Анализ эффективности работы и наладка систем специальной вентиляции института также выполняются специалистами отдела. Много внимания уделяется организации повышения квалификации эксплуатационного и ремонтного персонала, обслуживающего механическое оборудование. Специалисты отдела активно участвуют в проведении учебных курсов в учебно-тренировочном центре НИИАРа. Бюро эксплуатации и ремонта возглавляет В.П. Зубков. В бюро работают А.К. Жуков, Т.Ю. Дунаева, О.Г. Григорьев. Учёт оборудования, диагностика, планирование и контроль выполнения ремонтных работ, расчёт потребности в запасных частях — вот краткий перечень выполняемых ими работ.

С момента своего создания институт находился под надзором двух инспекций — атомнадзора и котлонадзора Минсредмаша. На территории НИИАРа постоянно работал инспектор котлонадзора В.А. Бровко. В его функции входила регистрация и техническое освидетельствование оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, котлов, сосудов, трубопроводов пара и горячей воды, грузоподъёмных кранов, использующихся на двух промышленных площадках, а кроме них еще и в подразделениях жилищно-коммунального управления, отделе рабочего снабжения, медсанчасти и совхозе в селе Озёрки. Кроме того, в институте было еще два инженера по надзору: В.С. Утробин и Г.Н. Ершов, осуществлявших функции надзора предприя-

тия по нерегистрируемому оборудованию. В 1989 году была организована группа надзора, начальником которой стал Л.К. Петриченко.

Впоследствии в НИИАРе была создана группа в составе пяти человек по надзору за технической безопасностью оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, сосудов, работающих под давлением радиоактивных сред, объектов Госгортехнадзора. Возглавил группу опытный механик П.И. Букин. В 2002 году группа технического надзора реорганизована в службу производственного контроля института. Возглавил службу С.С. Сергеев, опытный специалист. Новые задачи службы определены законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Вышли новые правила, реорганизовался Госгортехнадзор: создана федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. В этих условиях возросла ответственность руководителей подразделений, а численность службы сократилась до трёх специалистов. В службе работают ведущий инженер по надзору Н.А. Фунтов и инженер по надзору Е.С. Кузнецов.

В настоящее время существующая система планово-предупредительного ремонта находится на этапе модернизации — создаётся автоматизированная информационная система на новой технологической веб-платформе. Реальной становится возможность распределения функций просмотра и редактирования информации по ремонту оборудования между подразделениями и службами института, эксплуатирующими оборудование (СГМ, УГЭ). Предоставляется возможность хранения истории ремонтов по каждой единице оборудования, а также контроля хода ремонтных работ в оперативном режиме всем специалистам и руководителям задействованных служб. В перспективе дальнейшего развития — создание аналитического блока системы для анализа статистики отклонений от графика планово-предупредительного ремонта.

## **Создание ремонтно-механического завода**

История создания ремонтно-механического завода неразрывно связана с именем главного механика предприятия Д.Д. Артамонова. Строительство ремонтно-механического завода началось в декабре 1956 года. Первым его начальником был М.Д. Алёшин. В эксплуатацию механический и литейный участки введены в декабре 1959 года. Изначально кадры комплектовались специалистами разных предприятий атомной промышленности (ПО «Маяк», СХК, ВНИИЭФ, ГХК). Приём рабочих и специалистов после окончания учебных заведений городов Мелекесса, Ульяновска и Ульяновской области; из технического училища города Казани начался с 1960 года. На первом этапе изготавливали защитные плиты и детали трубопроводов для реактора СМ, для вентиляционного центра. В это же время под руководством Н.А. Шишанова были сформированы первые ремонтно-монтажные бригады, организован ремонтный уча-

сток под руководством В.Я. Ильина. Начальник ремонтно-механического завода с декабря 1962 года — В.Г. Садун, в апреле 1963 года главным инженером назначен С.Г. Лабыкин. С апреля 1962 года по март 1964 года происходило расширение первой очереди завода. Расширение второй очереди было в 1964–1968 годах. Это связано с тем, что перед ремонтно-механическим заводом, помимо текущих работ по изготовлению оборудования и изделий для реактора ВК-50 и других объектов, была поставлена первоочередная задача: изготовление оборудования для реактора МИР (корпуса, трубопроводов, петлевых каналов и т.д.). В этот период были изготовлены критический стенд реактора ВК-50, физическая модель реакторной установки МИР, критический стенд реактора РБМК для Института атомной энергии, обечайки для реактора БН-350. Запущено в производство изготовление реактора РБТ-6.

В период с 1970 по 2000 годы по проектам конструкторского отдела НИИАРа было изготовлено оборудование для центральной зоны реакторов СМ, МИР, для реконструкции установки АРБУС, проведено изготовление изделий для реакторной установки «Орёл», изготовлено оборудование для биологической защиты камер и боксов (здание 120), в которых изготавливали нейтронные источники. Освоено изготовление манипуляторов М-22МА, изготовлены детали и сборочные единицы для петлевых установок реактора МИР, началось изготовление пеналов, чехлов, вкладышей для транспортных контейнеров, используемых для транспортировки и хранения тепловыделяющих сборок, отработавших ТВС и нейтронных источников.

С 1989 года по настоящее время подразделением руководит В.А. Макеев.

Кроме изготовления оборудования и широкой номенклатуры изделий для различных предприятий атомной отрасли на ремонтно-механическом заводе изготовлены:

- звезда с венками обелиска «Вечной Славы» на площади 30-летия Победы (г. Ульяновск);
- стелла, установленная на въезде в г. Димитровград со стороны г. Ульяновска;
- стелла, установленная на площади у НКЦ имени Е.П. Славского в честь 50-летия НИИАРа;
- скульптурная композиция «Расщеплённый атом», изготовленная ремонтно-монтажной бригадой Н.А. Шиянова;
- панно на въезде в город Ульяновск со стороны аэропорта;
- оборудование для Дворца пионеров и библиотеки имени В.И. Ленина;
- сельскохозяйственные изделия для совхозов Озёрки, Мулловский, «Маяк Революции», Боровский и колхоза Старая Сахча.



Обелиск «Вечной Славы» на площади 30-летия Победы в городе Ульяновске



Стелла в честь 50-летия института  
у НКЦ имени Е.П. Славского



Скульптурная композиция «Расщеплённый атом»  
у здания 100 на площадке НИИАРа

## Создание цеха по ремонту технологического оборудования

Создание специального цеха было вызвано возрастающим объёмом технологического оборудования и необходимостью его обслуживания и ремонта: 1964 год — на базе ремонтно-механического завода создана бригада по ремонту основного технологического оборудования (20 человек), возглавил её Н.А. Шиянов; 1967 год — построено здание 151, где разместился теперь уже участок по ремонту технологического оборудования (численность к 1977 году достигла 97 человек), возглавил его В.Я. Ильин. Третьего января 1977 года образован цех централизованного ремонта технологического оборудования, возглавил его В.Я. Кравченко. Реконструкция здания 151, проведённая в 1981 году, позволила увеличить его площадь с 2 151 до 4 203 м<sup>2</sup>; с декабря 1983 по апрель 1992 гг. цех возглавлял В.П. Зубков. С 1992 по 2002 гг. цехом руководил В.А. Алаторский, с 2002 года по настоящее время руководителем цеха является Е.А. Лоскутов. Максимальной численности (160 человек) цех достигал в 1996 году. В августе 2013 года цех централизованного ремонта переименован в централизованную службу ремонта, численность которой составила около 100 человек. За последнее десятилетие к работам по ремонту оборудования и трубопроводов реакторных установок добавились работы по монтажу, пуску и наладке оборудования вновь созданных технологических участков института, а также работы по продлению сроков эксплуатации реакторных установок.

Значимыми вехами в трудовых свершениях централизованной службы ремонта были работы по созданию участков по производству изотопа йода-125 на здании 180 и молибдена-99 на здании 120, теплофикационной установки и системы локализации выбросов на реакторной установке ВК-50, участка по производству МОКС-топлива на здании 180, реконструкции реактора СМ и успешная реализация работ в рамках нескольких федеральных целевых программ на здании 170 и комплексе по обращению с радиоактивными отходами. Трудовыми успехами коллективы централизованной службы ремонта обязаны опыту, переданному нынешнему поколению работниками прошлых лет: В.И. Риги, Н.М. Зимина; В.И. Щеднова, Р.М. Зайнуллина, В.Б. Медведева, Л.С. Инкина, Н.А. Сафина, А.А. Некрасова, А.П. Храмичева, В.Н. Петрушкина, С.В. Фомичева, Л.С. Бехчанова, и самоотверженной работе нынешних работников службы: А.В. Величко, А.П. Алексеева, А.А. Дружко, В.Я. Михеева, С.А. Мишарина, И.В. Алферова, А.В. Яшникова, В.В. Степанова, Ю.А. Колганова, В.А. Сучкова. За последнее время в службе освоены и опробованы на практике технологии наплавки баббитом рабочих поверхностей подшипников скольжения, ремонта теплообменников развальцовкой заменяемых трубок в трубных досках, динамической балансировкой различных валов и роторов. Для расширения возможностей ремонта загрязнённого оборудования силами службы были реализованы мероприятия, позволившие проводить на площадях здания 151 работы I класса по радиационной безопасности. Централизованная служба ремонта — единственная в регионе организация, выполняющая ремонты корпусов маслонаполненных трансформаторов большой мощности в местах их расположения без полного слива масла.

## Создание базы по изготовлению экспериментальных устройств

Решение о строительстве здания 105 для размещения в нём централизованной базы по разработке и изготовлению экспериментальных устройств как для реакторов, так и для технологических установок принято 21 января 1977 года. Ответственным назначен начальник службы подготовки эксперимента исследовательских реакторов К.А. Третьяков. В июле 1978 года началось строительство здания 105. 22 сентября 1980 года была назначена государственная комиссия по приёмке здания в эксплуатацию. Четырнадцатого октября 1981 года была создана оперативная группа по обеспечению ввода в эксплуатацию зданий 105 и 105А. В марте 1982 года строительство здания было завершено. Первого октября 1982 года в это здание перевели участок по производству термопар, который ранее находился в отделе контрольно-измерительных приборов и автоматики. Решение о создании в здании 105 участка аттестации образцовых нейтронных и гамма-источников и о проведении прецизионных измерений потока нейтронов, гамма-квантов, активности радионуклидных источников было принято 21 апреля 1987 года, а 12 сентября 1988 года принято решение о создании в этом здании участка испытательных стендов (стендов проливки, «Гидрообъём», «Геркулес»; стендов заполнения ампул жидким металлом, пневмоили гидропрессовки). Первым начальником здания был назначен Б.В. Самсонов, главным инженером К.А. Третьяков. На объекте функционировали:

- лаборатория измерительных устройств и датчиков (начальник К.А. Александров); в состав лаборатории входил термопарный участок (начальник Б.В. Самигулин), бассейн инспекции, стенд проливки ТВС, защитная камера;
- лаборатория разработок внутрикамерного оборудования (начальник В.И. Кузьмин), изготавливающая установки для здания 117 и для оснащения цепочки ТГ-1;
- лаборатория облучательных устройств (начальник В.М. Шулимов). Изготавливали облучательные устройства для реакторов СМ, МИР, РБТ-10/2;
- лаборатория сварки (начальник В.И. Зинковский), оснащённая установками сварки: диффузионной, лазерной, аргонодуговой и плазменной; функционировала рентгеновская камера.

Производственный участок возглавлял М.Б. Воронов.

С началом разработки и изготовления термопреобразователей промышленного назначения возникла необходимость в их испытаниях с целью утверждения типа средств измерений. Участок по сертификационным испытаниям радионуклидных источников был образован 24 марта 1998 года. Задача подготовки группы испытаний к аккредитации в качестве испытательной лаборатории была возложена на начальника группы, в дальнейшем — на технического руководителя лаборатории В.А. Назаркина. Группа испытаний была аккредитована в статусе испытательной лаборатории в системе сертификации оборудования, изделий и технологий для ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения (система ОИТ) 22 мая 2000 года. Первым руководителем данной системы, получившей название отдела средств контроля ОСК-ИС, был назначен В.Ш. Сулаберидзе. Лаборатория успешно прошла повторную

аккредитацию в 2007 году. Область аккредитации испытательной лаборатории предусматривала в разные периоды более 20 видов испытаний до 10 и более групп продукции, в каждой из которых значилось до 7–8 наименований испытуемого оборудования и изделий. В составе лаборатории были образованы девять участков испытаний на различные виды испытательных воздействий (механических, электрических, климатических, на герметичность и т.д.). Функционирование оборудования и проведение испытаний с оформлением результатов обеспечивалось персоналом до семи человек, из которых высоким профессионализмом выделялись ведущий инженер В.В. Сидоров, инженеры М.И. Насыров, Н.Н. Скулкин. Было проведено множество испытаний большого количества изделий, в том числе источников типов АНИ, АГИ, КГИ, ГК60М, И-7-2,5, НК252М, СОМП, СОМУ, источников на основе церия-144, палладия-103 и др.

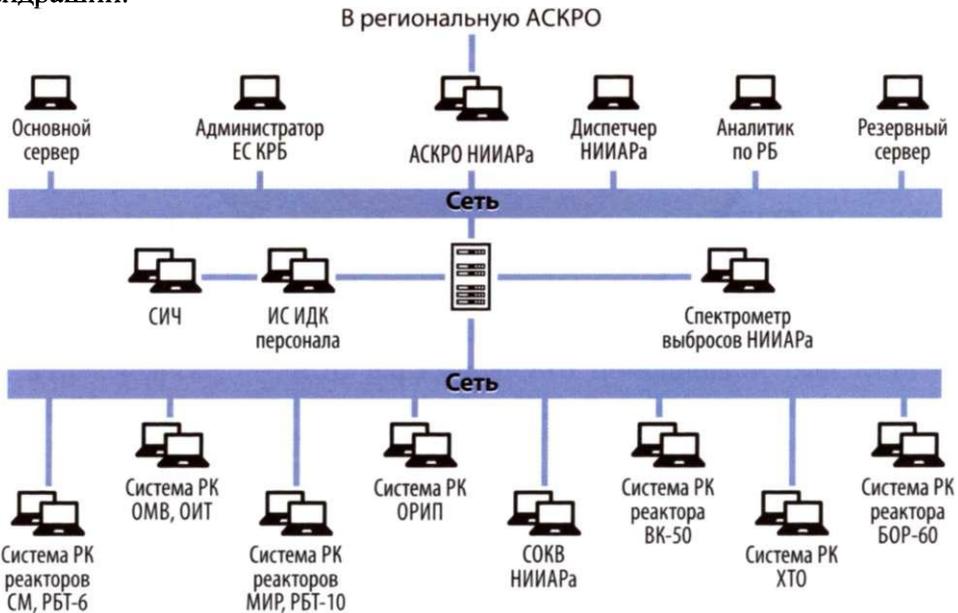
В 2004 году были проведены испытания на воздействие механических факторов и исследование гидравлических характеристик рабочих органов аварийной защиты, регулирования и компенсации реактивности исследовательских реакторов CARR и CMRR для Китайской Народной Республики. Объёмной и многоплановой была работа по испытаниям датчиков контроля герметичности проходок для АЭС (сигнализаторов давления), по ресурсным испытаниям диффузионных швов переходников «сталь–цирконий», по испытаниям высокотемпературных монтажных и обмоточных проводов. Большое место занимают исследования гидравлических характеристик (проливки) материаловедческих и топливных сборок реакторов БОР-60, СМ, разнообразных облучательных устройств. Стенд проливки оснащён компьютерной системой сбора и обработки первичных параметров, мерными ёмкостями для измерения малых объёмов и рядом других устройств.

### **Создание отдела радиационной безопасности**

Отдел радиационной безопасности НИИАРа был образован на базе службы техники безопасности и дозиметрического контроля ОРМ. Первоначально служба занималась осуществлением производственного радиационного контроля на реакторных установках СМ, РБТ-6, РБТ-10/1, 2 и МИР, в зданиях отделения реакторного материаловедения. Её начальником был А.Ф. Свиридов. Для разработки новых методов, методик, программно-аппаратных комплексов и их внедрения потребовалось привлечение дополнительных специалистов, и в 1987 году служба была преобразована в отдел радиационной безопасности и техники безопасности ОРМ, основной задачей которого стала разработка системы контроля состояния радиационной безопасности института. В 1995 году был образован отдел радиационной безопасности НИИАРа, на который приказом директора института В.Б. Ивановым дополнительно были возложены обязанности общеинститутского контроля соблюдения норм радиационной безопасности и санитарных правил работы с радиоактивными веществами. В период с 1996–2006 годы начальником отдела и главным специалистом по радиационной безопасности НИИАРа являлся В.Ю. Усольцев, а с 2006 по 2013 годы начальником отдела был В.В. Серебряков. В настоящее время отдел возглавляет В.В. Авдонин.

Расширение области деятельности отдела потребовало организации новых структурных подразделений. В составе отдела были созданы лаборатория методик и средств радиационного контроля (начальник — Е.В. Крайнов), аналитическая группа (В.Ю. Усольцев), лаборатория радиационных измерений (А.Ф. Свиридов). В 1998 году создана лаборатория контроля газоаerosольных выбросов (В.Ф. Ельцин). В 2000 году в ОРБ была образована служба радиационного контроля территории института и переведена одна из старейших лабораторий института — радиационно-технологическая лаборатория. Основателем этой лаборатории, возникшей в недрах лаборатории внешней дозиметрии (Ф-7) в 1964 году, являлся Ю.В. Чечёткин. 12 сотрудников лаборатории участвовали в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

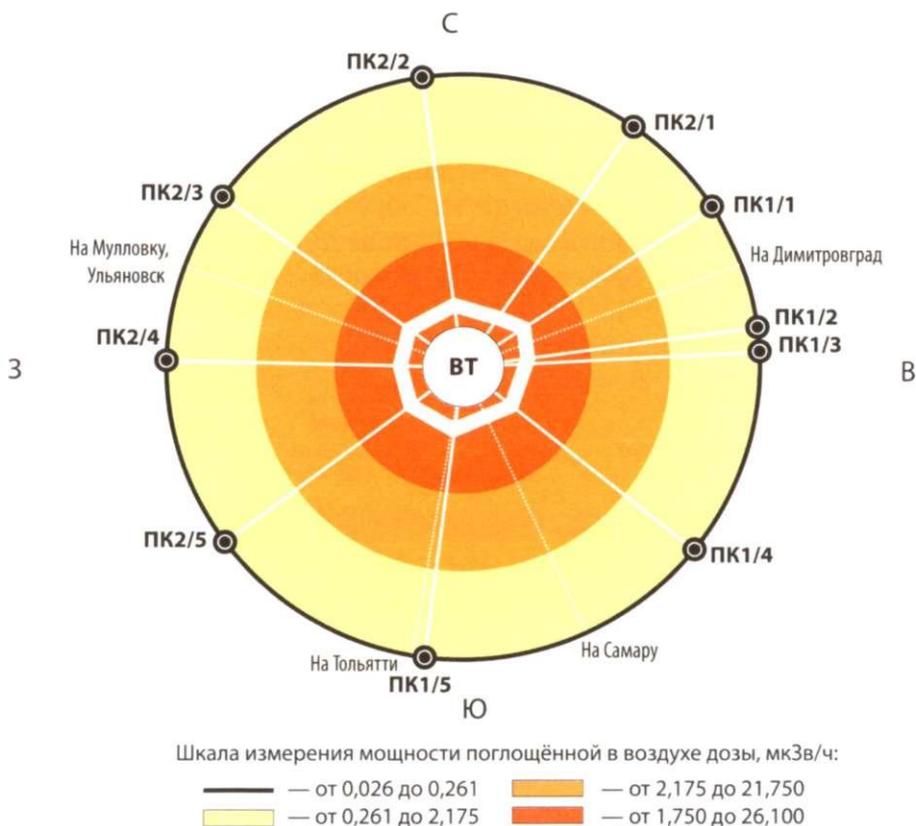
Приоритетным направлением деятельности ОРБ была разработка и внедрение стационарных автоматизированных систем радиационного контроля на основе новейших поколений радиометрической, дозиметрической аппаратуры и вычислительной техники. В настоящее время разработанная система является наиболее эффективным средством контроля и обеспечения радиационной безопасности института. Под руководством И.Н. Макарова была разработана концепция и создана единая система контроля радиационной безопасности института, объединяющая системы радиационного контроля всех исследовательских ядерных установок и основных объектов ядерного топливного цикла. Большую роль в разработке этой системы сыграли В.Ф. Ельцин, А.Ю. Кандрашин.



Единая система контроля радиационной безопасности: АСКРО — автоматизированная система контроля радиационной обстановки; ЕС КРБ — единая система контроля радиационной безопасности; РБ — радиационная безопасность; СИЧ — спектрометр излучения человека; ИС ИДК — информационная система индивидуального дозиметрического контроля; СОКВ — система оперативного контроля выбросов

Составными частями единой системы контроля радиационной безопасности являются:

- система оперативного контроля выбросов и спектрометрический комплекс измерения выбросов вентиляционной трубы института и вентиляционных систем объектов института;
- информационная система индивидуального дозиметрического контроля персонала института;
- информационная система контроля газоаerosольных выбросов института;
- измерительный комплекс для спектрометрических измерений активности бета-излучающих нуклидов.



Стационарная автоматизированная система радиационного контроля, мкЗв/ч:  
ПК — пункты контроля; ВТ — вентиляционная труба

Для успешного функционирования автоматизированных систем контроля разработаны необходимые технические средства, прикладное программное и методическое обеспечение и т.п. Большую роль в этих разработках сыграл А.В. Орищенко. Не менее важным направлением деятельности отдела является проведение радиационного кон-

троля и обеспечение выполнения требований радиационной безопасности объектами института. Итогом деятельности лаборатории радиационного контроля является наличие в институте современной технической и методической базы индивидуального и группового дозиметрического контроля, позволяющей достоверно осуществлять контроль доз и исполнение требований нормативов. Большое распространение в институте получили развитые в ОРБ спектрометрические методы измерения активности радионуклидов, осаждённых на фильтрах и присутствующих в жидких и твёрдых пробах радиоактивных веществ, для которых было разработано необходимое программное и методическое обеспечение. Основными направлениями деятельности отдела радиационной безопасности являются:

- организация и осуществление радиационного контроля в институте;
- научные исследования в области обеспечения и обоснования радиационной безопасности объектов института и радиационных технологий;
- разработка технических и методических средств радиационного контроля и совершенствование организации этого процесса;
- внедрение новых информационных технологий в практику радиационного контроля.

### **Создание цеха связи**

Основой цеха связи стала группа, созданная для решения ограниченных задач по обеспечению связи управления института в начальный период строительства. В её распоряжении был один ручной коммутатор «Клён» и не более десятка связистов. Группу возглавлял С.М. Головинов, впоследствии — куратор ОКСа. Самостоятельным подразделением института цех связи стал с февраля 1962 года после ввода в эксплуатацию городской АТС на 2 500 номеров и радиоузла в жилом посёлке, а также УАТС на 1 200 номеров в новом здании управления института. Цех возглавил специалист с высшим специальным образованием, обладающий хорошими организаторскими способностями, имеющий опыт организации связи на строящихся объектах в Красноярске, — К.Л. Барабанов. Его помощником был М.Г. Мокеичев. Более чем за 20 лет руководства цехом связи К.Л. Барабановым коллектив вырос в самостоятельное подразделение. Ему было по плечу решение самых сложных задач. К 1970 году начальник цеха К.Л. Барабанов добился в Минсредмаше разрешения на проектирование связи в жилом посёлке по нормам телефонной плотности, установленным для столиц союзных республик (исходя из 100 %-й телефонизации, тогда как существующие нормы предусматривали коэффициент 1/3 (один телефон на три квартиры)). Сотрудники и ветераны цеха связи НИИАРа помнят своего первого начальника К.Л. Барабанова как прекрасного организатора, спортсмена, отзывчивого к нуждам и проблемам своих сотрудников, по праву снискавшего их любовь и уважение. Руководимый им цех связи всегда был на передовых позициях как в производстве, так и в спорте, культурно-массовых мероприятиях.

В 1985 году цех вышел с предложением замены устаревшей АТС на новую, в то время только начинающую внедряться на объектах министерства, квазиэлектронную АТС «Квант». Восемнадцатого мая 1987 года новая АТС «Квант» на 2 000 номеров была пущена в эксплуатацию. Это был первый этап внедрения в сетях цеха связи АТС с программным управлением. В дальнейшем ёмкость АТС «Квант» увеличилась до 7 000 номеров. К 1983 году ёмкость городской телефонной сети возросла до 11 600 номеров. Важнейшим направлением в работе цеха было обеспечение руководства института правительственной высокочастотной связью. Для выхода руководства института в сеть «закрытой» связи была построена воздушная линия связи до Куйбышева (в настоящее время город Самара) с многоканальной системой уплотнения. От узла высокочастотной связи до управления НИИАРа и городской междугородной станции были проложены высокочастотные кабели связи. Это позволило организовать по двум направлениям надёжную, качественную связь с правительственными учреждениями и предприятиями Министерства среднего машиностроения.

Цех связи обслуживал воздушные и кабельные линии связи общей протяжённостью более 70 км на пионерский лагерь и совхоз «Озёрки». Для диспетчерской службы энергетиков была смонтирована аппаратура высокочастотной связи по линии электропередач и станция оперативной диспетчерской связи ЭДТС-55, с помощью которых осуществлялось оперативное руководство энергосистемой института и связь с оперативными диспетчерскими установками городов Куйбышева и Ульяновска.

Цехом связи велась серьёзная работа по обеспечению звукофикации массовых мероприятий, проводимых городом и институтом. Особое внимание приходилось уделять конференциям и симпозиумам, проводимым институтом. К приезду Г. Сиборга для организации «круглого стола» (из-за отсутствия специальной аппаратуры) сотрудниками лаборатории В.Г. Шевченко и Ю.Д. Гавриловым за одну неделю были изготовлены микрофонные усилители с микшерным устройством, что позволило провести первый в институте «круглый стол» на высоком уровне. На базе цеха связи была создана служба связи гражданской обороны, в которую входили службы связи Димитровградского управления строительства, МСУ-30, МСУ-14. Возглавляли службу начальник цеха связи, его заместитель — начальник штаба службы. Количество средств связи, находящихся в распоряжении службы, было достаточным. Это позволило организовать устойчивую связь формирований гражданской обороны со своими командными пунктами и центральным пунктом управления в районах рассредоточения и в очагах проведения аварийно спасательных работ, в короткие сроки развернуть локальные узлы связи.

Руководством института в 1996 году было принято решение о создании на базе цеха связи ООО «Связьатоминформ», учредителями которой стали НИИАР и компания «Вариант-информ». С первого января 1997 года цех связи прекратил свое существование. Все городские сети связи перешли в обслуживание компанией САИ,

которая приняла на себя проектирование и реконструкцию сетей связи на основе цифровых технологий. Для обслуживания связи в НИИАРе остался участок промышленной связи — группа, возглавляемая Х.Х. Галиакберовым.

### **Создание отдела главного сварщика**

В 1963 году прошёл пуск в эксплуатацию материаловедческого корпуса, в котором в составе лаборатории твэлов была создана группа сварки, в которую входили В.И. Зинковский, руководитель группы; Е.А. Крылов, инженер; Г.Д. Трусов, техник-сварщик; А.А. Волосников и Ю.Н. Збунь, операторы-сварщики. Этой группой и была создана основная материально-техническая база — задел будущих достижений. Подразделение занималось разработкой, обоснованием и реализацией технологий сварки изделий, изготавливаемых институтом. Постепенно состав группы увеличился. В 1983 году приказом директора института В.А. Цыканова в рамках отделения материаловедения была создана лаборатория сварки, в состав которой добавились В.А. Скачков, В.И. Агафонов, Ю.К. Осипов, И.К. Шпак, Г.В. Мирошниченко, Н.А. Костюченко, В.И. Гобечия, Е.М. Табакин, В.В. Бровко, А.А. Митрюшин, Т.Г. Артемьева, В.В. Цыканов, Н.И. Цыканова.

В течение этого времени (1983–1990 годы) сотрудники лаборатории добились серьёзных достижений:

- создано и запущено в эксплуатацию уникальное сварочное оборудование, которое обеспечило возможность сварки в дистанционных условиях защитных камер и боксов и на котором была произведена сварка первых мишеней для накопления трансураниевых элементов и других изделий;
- впервые в Советском Союзе была разработана и осуществлена уникальная технология сварки миниатюрных корпусов изотопных источников на основе калифорния, кюрия, иридия, плутония, селена, гадолиния, церия, хрома;
- создано новое направление в области материаловедения сварки облучённых материалов и запущена в эксплуатацию технологическая линия для рефабрикации твэлов различных реакторов;
- внедрена новая технология сварки дугой, управляемой магнитным полем, с успехом применяющаяся при изготовлении виброуплотнённых твэлов для реакторов БОР-60, БН-350, БН-600.

Большой вклад в работу лаборатории также внесли сварщики В.И. Воронов, В.А. Жижиков, О.П. Исаев, Г.П. Шахрай; инженеры Л.А. Строгонова, В.Р. Золотухин, А.С. Акулышев и другие.

В 1993 году по инициативе главного инженера института А.Ф. Грачёва лаборатория сварки была реформирована в отдел главного сварщика (в настоящее время — служба главного сварщика). В состав этого отдела вошли лаборатория сварки и группа

надзора и контроля во главе с Е.М. Табакиным и И.К. Шпаком соответственно. На подразделение дополнительно к технологическим работам были возложены функции надзора и контроля всех сварочных работ, выполняемых в НИИАРе. В рамках этих функций:

- организованы обучение и контрольные экзамены ответственных за проведение сварочных работ в подразделениях института (около 40 человек);
- разработаны программы, по которым подготовлены и аттестованы более 100 сварщиков института;
- исследуются сварные соединения эксплуатирующихся в институте конструкций, подведомственных Госатомнадзору и Госгортехнадзору;
- создан российский сварочный аттестационный пункт.

В созданном отделе получили своё развитие новые, современные технологии сварки: лазерная, диффузионная сварка, сварка в условиях повышенного давления. Эти технологии позволили существенно расширить возможности решения новых технических задач института: герметизации миниатюрных и тонкостенных изделий, сварки разнородных материалов, изготовления сложных экспериментальных устройств, сварки твэлов с оболочками из трудносвариваемых порошковых сталей, рефабрикации ударных образцов. Многие из перечисленных работ выполнялись по зарубежным договорам и контрактам. Со временем в состав подразделения влились новые сотрудники, внёсшие существенный вклад в развитие СГС: Ю.В. Иванович, С.А. Фролов, Л.В. Жимуляева, В.И. Байкалов, С.И. Давыдов, Е.Г. Носков, А.В. Гончаров, А.Н. Петьков, К.В. Воронов, А.В. Каплин, А.Н. Назаров, С.А. Андреев, Д.М. Спиридонов. Результаты многочисленных разработок легли в основу кандидатских диссертаций Е.А. Крылова, В.В. Бровко, Е.М. Табакина, Ю.В. Иванович, большого количества научных статей, препринтов, научно-технических отчётов, технологических процессов.

В настоящее время в службе главного сварщика трудится 15 человек. В течение года сотрудники изготавливают более 2 тысяч ответственных изделий атомной техники, разрабатывают и аттестуют около 10 новых технологических процессов, участвуют в международных и российских конференциях, обучаются в аспирантуре, выполняют много других важных для института работ. За многолетний и добросовестный труд сотрудники подразделения (В.И. Зинковский, Ю.Н. Збунь, В.И. Воронов, В.А. Скачков, Н.А. Костюченко, Г.В. Мирошниченко, И.К. Шпак, Е.Г. Носков и другие) неоднократно поощрялись государственными и отраслевыми наградами.

### **Создание отдела вычислительной техники**

Внедрение вычислительной техники и средств автоматизации в НИИАРе началось с образования лаборатории ядерной электроники во главе с А.М. Шиманским в 1962 году. Первыми её сотрудниками были уже тогда опытные инженеры Г.А. Пеле-

вин, Т.А. Шиманская, Б.Г. Басова, В.А. Сорокин, В.П. Бодров, В.В. Худяков. В течение последующих трёх лет в лабораторию пришли молодые специалисты: В.И. Грибанов, В.В. Голушко, В.Б. Иванов, В.И. Шипилов, В.А. Качалин, А.Д. Рабинович, В.А. Лебедев, А.И. Башмачников. С момента создания лаборатории ядерной электроники в институте начались работы по созданию базы электронно-вычислительных машин. Десятого октября 1965 года была принята в эксплуатацию уникальная, по тем временам, ЭВМ, изготовленная на заводе имени Володарского в городе Ульяновске. В октябре 1966 года началось строительство здания для математического блока (здание 102). В сентябре 1969 года здание было введено в эксплуатацию.

В институте было создано самостоятельное подразделение — отдел вычислительной техники и автоматизации. Руководителем ОБТиА был назначен В.А. Качалин, его заместителями — В.М. Утин и В.Н. Ульянов. В апреле 1983 года А.И. Башмачников переведён с должности начальника отдела в заместители начальника отдела вычислительной техники и автоматизации по АСУ, а 18 апреля этого же года В.В. Голушко стал заместителем начальника отдела по научной работе. В январе 1986 года заместителем начальника отдела вычислительной техники и автоматизации по инженерно-техническим вопросам становится А.Н. Буланов; в январе 1988 года вместо А.Н. Буланова на этот пост назначен Б.Б. Садилов. Заместителем начальника отдела кадров в июне 1984 года становится В.В. Кузьмин. В сентябре 1985 года после перевода В.В. Кузьмина на пост начальника отдела кадров института заместителем становится Е.В. Крайнов. С августа заместитель начальника по организационно-техническим вопросам — А.И. Башмачников.

Отдел вычислительной техники и автоматизации был размещён в отдельных, специально построенных зданиях 102 и 102А, где были смонтированы большая (или быстродействующая) электронно-счётная машина БЭСМ-4М, БЭСМ-6, серия советских супер-ЭВМ «Эльбрус», ЕС-1045 и другие. В состав отдела вычислительной техники и автоматизации входили лаборатории: 1) Э-1 — внедрение средств вычислительной техники (Ю.Д. Фёдоров); 2) Э-2 — разработка гамма - спектрометров (В.И. Шипилов); 3) Э-3 — разработка автоматизированных систем управления для научных исследований и технологических процессов (В.В. Голушко); 4) Э-4 — автоматизация реакторных расчётов (М.Н. Зизин); 5) Э-5 — разработка автоматизированных систем управления (В.Н. Лычагин). Вся деятельность отдела (1960–1970 годы) была связана с задачами разработки и создания многоканальных анализаторов и спектрометров для ядерной физики и радиационной химии, с разработкой различных приборов для экспериментов на реакторах и для исследований в радиационно-защитных материаловедческих лабораториях.

В дальнейшем с появлением электронно-вычислительных машин начались работы по автоматизированной системе управления и по расчётам реакторов (В.Н. Лычагин, И.Г. Кинская, А.И. Башмачников, М.Н. Зизин, Т.А. Темноева, О.П. Чухлова, З.Я. Осипова). В 80–90-х годах отдел вычислительной техники и автоматизации стал кузницей

кадров по электронике и вычислительной технике для подразделений НИИАРа. В повседневную практику исследований вошли спектрометрия; автоматические измерения в материаловедении; автоматизированные системы производства топлива и твэлов, контроля технологических параметров на реакторных установках.

Благодаря развитию вычислительной техники во всем мире отдел не потерял своего значения из-за резкого увеличения электронно-вычислительных машин в институте и их массового внедрения во все сферы деятельности. Вместе с тем перестроечные тенденции в отрасли привели к разрушению ОВТиА как единого целого и разделению коллектива по стратегическим задачам.

### **Создание отдела внешнеэкономической деятельности**

Конец 60-х и начало 70-х годов прошлого века — время становления бюро международного сотрудничества НИИАРа, в развитие которого в этот период большой вклад внесли Р.А. Баркова, А.Т. Леонова, Р.Е. Федякин, В.С. Шаталова. С 1990 года бюро международного сотрудничества возглавляла К.Н. Виноградова. Численность сотрудников и объёмы работ по международному научно-техническому сотрудничеству в 90-е годы значительно выросли. Экономические реформы, проводимые в течение последних 20 лет, разрушили монополию государства на заключение международных сделок и создали качественно новую систему государственного регулирования внешнеэкономической деятельности. Стремительное вовлечение в сферу внешнеэкономической деятельности большого количества участников потребовало создания новых структурных подразделений, становление которых следовало за развитием нового законодательства России в области внешнеэкономической деятельности. Первым шагом НИИАРа в этом направлении было создание в 1994 году на базе отделения радиоактивных источников и препаратов отдела экспортных поставок, задачей которого стала организация исполнения установленных для внешнеторговых поставок разрешительных процедур, таможенного оформления и доставки радионуклидной продукции заказчикам. В структуре центрального управления института был создан отдел управления собственностью и маркетинга, возглавляемый Н.Т. Исламовым, в задачи которого входил контроль осуществляемых валютных операций.

После принятия Россией международных обязательств по нераспространению оружия массового поражения и вступления в силу федерального закона «Об экспортном контроле» в 1999 году в НИИАРе организован экспортный совет под председательством заместителя генерального директора В.А. Куприенко. Для оформления экспортных поставок товаров и технологий, как правило, попадающих под экспортный контроль, была создана группа внешнеторговых контрактов под руководством С.Н. Боброва. В связи с существенно возросшим внешнеторговым оборотом института возникла необходимость совершенствования управления его внешнеэкономической деятельностью. В октябре 2002 года был создан отдел обеспечения внешнеэкономической

деятельности и экспортного контроля под руководством Н.Т. Исламова, в структуре которого были бюро экспортного контроля, группа внешнеторговых контрактов и группа валютно-финансового контроля. В апреле 2004 года отдел был реорганизован, в его состав вошли бюро международных связей, переводов и группа таможенного оформления. Новый отдел возглавил В.А. Лебедев.

Возраст современного отдела обеспечения внешнеэкономической деятельности и экспортного контроля небольшой, но он вобрал в себя опыт подразделений — предшественников, которые встречали первые иностранные делегации. Международная деятельность НИИАРа неразрывно связана с именами «международников»: Р.А. Барковой, В.С. Шаталовой, А.Т. Леоновой, К.Н. Виноградовой, И.Б. Гайдуровой, Г.И. Матюшкиной, Н.В. Сергеевой, Е.Л. Кондаковой, которые в высшей степени компетентно способствовали развитию международных связей. В составе отдела обеспечения внешнеэкономической деятельности и экспортного контроля трудятся ключевые специалисты по внешнеэкономической деятельности: начальник группы таможенного оформления А.В. Дегтерёва и Н.В. Кузнецова, стоящие у истоков экспортной деятельности и создания программы экспортного контроля. Сотрудники отдела владеют современными профессиональными навыками и вносят определённый вклад в расширение внешнеэкономической деятельности института.

### **Создание служб обеспечения безопасности института**

**Первый отдел.** Для обеспечения режима секретности работ, проводимых на опытной станции (впоследствии переименованной в Научно-исследовательский институт атомных реакторов), в августе 1956 года создаётся секретная часть (первый отдел). Располагалась специальная часть сначала вне режимной территории в одном из зданий по улице Гвардейской. В 1958 году первый отдел возглавил помощник директора по режиму И.П. Базылёв. В то время отдел насчитывал пять человек. С введением в строй новых объектов института, развитием научно-технической базы и включением в международную деятельность возникает необходимость создания специальных частей для обслуживания реакторных установок СМ (1959 г.), ВК-50 (1961 г.), БОР-60 (1969 г.); радиохимического отдела (1962 г.), химико-технологического отдела (1976 г.), материаловедческого отдела (1962 г.); опытного цеха по переработке радиоактивных отходов (1963 г.); объекта 103 (1968 г.); отдела научно-технической информации и отдела вычислительной техники и автоматики (1975 г.); здания 202 (1981 г.).

Самая большая специальная часть, возглавляемая И.Г. Кудряевым, была организована на здании 170. В её составе было четыре человека, в то время как численность других специальных частей составляла, в основном, 1–2 сотрудника. Административно специальные части входили в структуру обслуживаемых подразделений, но методически, а главное фактически, руководство ими осуществлял помощник директора по режиму. В разные годы помощниками по режиму, а затем заместителями дирек-

тора по режиму и охране работали: А.В. Чернов (1959–1963 гг.); Л.П. Корсаков (1963–1968 гг.); Н.Л. Шкуро (1968–1982 гг.); Ю.И. Харланов (1982–1999 гг.); В.Н. Томбасов (1999–2005 гг.); А.А. Рогов (2005–2007, 2010–2011 гг.); С.В. Арешин (2007–2010 гг.); Г.Г. Гришин (2011–2016 гг.); М.В. Бакунькин (2016 г. — по настоящее время).

Квалификация специалистов режимно-секретных частей была очень высокой: у истоков их формирования стояли бывшие военные, имевшие за своими плечами богатый и неоценимый опыт практической работы. Бесценный вклад в становление того высокого уровня режима секретности, который характерен для института, внесли Н.В. Лотов и Н.И. Маштаков. Специальные части, являвшиеся режимно-секретными органами, занимались не только ведением секретного делопроизводства, но и обеспечивали внутриобъектовый режим, а также занимались воспитательно-профилактической работой с исполнителями.

В 80-е годы численность работников в специальных частях доходила до 50 человек. Главным направлением в деятельности режимно-секретных органов являлось обеспечение режима секретности при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в научных подразделениях института, организация пропускного и внутриобъектового режима, режимное обеспечение международного сотрудничества. В связи с сокращением в 90-х годах объёмов закрытых работ, выполняемых в институте, с одной стороны, и расширением его прав на ведение хозяйственной деятельности, увеличением объёмов международного сотрудничества — с другой, задачи и функции первого отдела существенно изменились. В 1992 году он был переименован в отдел защиты информации.

В настоящее время подразделение называется управлением по защите государственной тайны, имеющем в своем составе пять специальных частей, территориально закреплённых за основными структурными подразделениями. Штатная численность управления составляет 10 человек. Помимо работ, связанных с обеспечением защиты государственной тайны, и допускной работы в институте, управление успешно решает вопросы режимного обеспечения международного сотрудничества, закупочной деятельности, правомерности информационного обмена, в том числе с использованием документальных средств связи.

Отдел возглавляли: И.П. Базылев — первый помощник директора по режиму (1958–1966 гг.); Ф.Г. Мартюшев (1966–1968 гг.); Л.П. Корсаков (1969–1973 гг.); Л.Г. Лямин (1974–1992 гг.); Н.В. Логинова (1992–2014 гг.); О.В. Шаренкова (2015 г. — по настоящее время).

**Второй отдел.** История деятельности службы безопасности начинается с момента образования института в 1956 году. С 1956 по 1967 годы в институте был единый режимно-секретный отдел (первый отдел), в функции которого, наряду с обеспечением режима секретности, входили вопросы организации обеспечения пропускного режима, охраны объектов и другие специальные функции. Охрану объектов института на промышленной площадке № 1 до 1967 года осуществляли специальная коменда-

тура внутренних войск Министерства внутренних дел СССР и отряд ведомственной охраны института. Обеспечение подразделений охраны постовой связью и обслуживание охранной сигнализации возлагали в то время на цех связи института.

В 1967 году по решению Правительства СССР охрана промышленной площадки № 1 полностью передаётся внутренним войскам. Ведомственная охрана принимает объекты на промышленной площадке № 2 (ТЭЦ, РМЗ, административные здания в соцгороде). Для выполнения возросших задач по организации пропускного и внутриобъектового режима, внедрения в охрану объектов инженерно-технических средств охраны и обеспечения взаимодействия между различными видами охраны в 1967 году создаётся второй отдел. Комплектование отдела было произведено частично за счёт сотрудников первого отдела. На должность начальника второго отдела был назначен Б.Н. Котельников, который возглавлял отдел до 1968 года. В последующие годы второй отдел (с 2004 года — службу) возглавляли: А.Г. Каверин (1968–1972 гг.), А.Ф. Шкуров (1973–1975 гг.), М.М. Негодяев (1975–1979 гг.), А.А. Горбач (1980–2010 гг.).

Для выполнения монтажных и пусконаладочных работ по оборудованию инженерно-техническими средствами охраны объектов, а также для проведения ремонта приборов охранной сигнализации в 1969 году при центральной службе контрольно-измерительных приборов и автоматики было создано бюро технических средств охраны.

В 1990 годы в стране кардинально изменилась социально-политическая и экономическая обстановка, ухудшилась криминогенная ситуация, возникла угроза террористических актов на объектах атомной отрасли. Были приняты новые федеральные законы: «Об использовании атомной энергии» (1995 г.), «О борьбе с терроризмом» (1998 г.), «О ведомственной охране» (1999 г.) и другие. Для исполнения этих законов Правительством Российской Федерации и Министерством по атомной энергии разработаны нормативные документы, требующие повышенного уровня безопасности ядерно- и радиационно опасных объектов. Актуальными стали вопросы организации противодействия террористическим проявлениям. В соответствии с этим изменились задачи второго отдела, который был в 1992 году реорганизован в отдел безопасности.

В 2004 году в целях рационального использования всех сил и средств института, задействованных в обеспечении физической безопасности, на базе отдела безопасности, бюро технических средств отдела метрологии и измерительной техники, подразделения ведомственной охраны института с 1 августа 2004 года было создано самостоятельное подразделение института — служба безопасности. Начальником службы назначен А.А. Горбач, его заместителем — Н.Л. Бобров, руководителями подразделений — В.Б. Мякишев, В.И. Клименко. Для обеспечения безопасного функционирования объектов института велась постоянная работа по внедрению новой охранной техники. В 1974 году был принят в эксплуатацию новый комплекс инженерно-технических средств охраны объектов по периметру промышленной площадки № 1.

С 1996 по 2016 годы выполнен большой объём работ по совершенствованию технических средств физической защиты института в рамках межправительственных российско-американского и российско-германского соглашений. Организационная и практическая деятельность службы безопасности была направлена на обеспечение стабильной работы института. Существенный вклад в дело обеспечения физической защиты института, пропускного и внутриобъектового режима внёс весь персонал службы безопасности, в частности: А.А. Горбач, с 1973 года — инженер по электронным средствам охраны в бюро ТСО, с 1980 по 2010 годы — начальник второго отдела, отдела режима, а затем службы безопасности; С.А. Гонтарук, начальник службы безопасности с 2010 года по настоящее время; Н.Л. Бобров, с 1992 года — заместитель начальника службы; В.И. Клименко, с 1986 года — старший инженер второго отдела, затем — заместитель начальника второго отдела по ИТСО, с августа 2004 года — начальник отдела ИТСО; В.Б. Мякишев, А.В. Алькаев, Н.М. Зубков — начальники групп; А.В. Андрейчиков, Р.М. Зиатдинов — ведущие инженеры; Н.В. Красовский — инженер-электроник.

### **О тех, кто создавал**

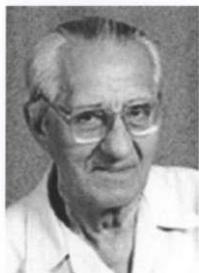
Менее чем за 25 лет в лесном массиве левого берега Средней Волги создана крупнейшая экспериментальная база Министерства среднего машиностроения, в состав которой вошли: высокопоточный реактор СМ; материаловедческая лаборатория; радиохимическая лаборатория; комплекс по обращению с радиоактивными отходами; многопетлевой реактор МИР; реактор на быстрых нейтронах БОР-60; реактор с органическим теплоносителем «АРБУС»; атомная станция с кипящим реактором ВК-50; критические стенды реакторов СМ и МИР; теплофизические стенды; установка «Орёл» для изготовления ТВС быстрых реакторов; реакторы бассейнового типа РБТ-6, РБТ-10/1, РБТ-10/2; база по изготовлению экспериментальных устройств; ремонтно-механический завод; стационарные и переносные установки радиационного контроля; стационарные и переносные установки контроля окружающей среды; вычислительный центр.

Строительные и монтажные работы выполняли специализированные предприятия Министерства среднего машиностроения. Высокий темп сооружения объектов НИИАРа был обусловлен внедрением прогрессивных методов строительства и монтажа. В частности, были освоены вместо строительных лесов каркасы перекрытий и арматурные блоки с навешенными на них закладными частями, также использовались многократно повторяемая опалубка и выносные металлические стойки. Была разработана технология монтажа герметичных защитных дверей, специальных шиберов и герметичных клапанов. Многие строительные новшества потом были внедрены на ЛАЭС, ИАЭС, БАЭС и на других атомных станциях.

Создание экспериментальной базы НИИАРа было отмечено премией Совета Министров СССР в области строительства за 1984 год. Премию получили сотрудники

НИИАРа: М.А. Демьянович, В.С. Фофанов, А.А. Грушанин, Ю.Л. Кизин, А.В. Митрюшин, С.В. Метальников, В.А. Щепетильников, В.Г. Щербаков, В.Г. Михайлин, В.Г. Садун, Н.М. Зимин, К.П. Меркулов. А также сотрудники строительно-монтажных организаций: И.А. Дудоров, В.Н. Панин, А.И. Середин, Г.Е. Ерёмин, Г.П. Пушкин.

Огромный вклад в создание объектов НИИАРа внесли также П.Н. Кузьмин, В.П. Козин, Г.А. Курочкин, Ф.А. Артемьев, С.Э. Тумилович, Л.А. Столяров, В.С. Писарчук, Е.М. Добролюбов, С.А. Бавыкин.



**АРТЕМЬЕВ**  
Фёдор Алексеевич



**БАВЫКИН**  
Семён Андреевич



**ДОБРОЛЮБОВ**  
Евгений Михайлович



**ЕРЁМИН**  
Григорий Ефремович

Со стороны главного проектного института (ВНИПИЭТ) функции главного проектанта выполняли: Н.Н. Ковалевский, М.Л. Барский, В.Д. Сафутин под руководством А.И. Гутова, В.М. Седова, А.Н. Кондратьева, Н.В. Сухорученкова.



Вид на материаловедческий комплекс

## 2.2. Перспективы развития экспериментальной базы

*Прошлое и настоящее — наши средства,  
только будущее — наша цель.*

Паскаль Блез

### Реактор МБИР

В настоящее время для того, чтобы обеспечить России лидирующее положение в научной, технической и технологической областях атомной отрасли, необходимо поддерживать и развивать её экспериментальную базу. Подавляющее большинство исследовательских реакторов введено в строй много лет назад. К 2020–2025 годам российская реакторная база во многом себя исчерпает вследствие выработки ресурса реакторов и снижения исследовательских возможностей. Необходимо осуществлять модернизацию и обновление экспериментальной базы для решения задач будущей атомной энергетики.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 04 февраля 2010 года № 50-п утверждена федеральная целевая программа «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 годов и на перспективу до 2020 года». Суть программы заключается в создании новой технологической платформы ядерной энергетики, основой которой является переход на замкнутый ядерный топливный цикл с реакторами, работающими на быстрых нейтронах.

Одним из основных проектов федеральной целевой программы является сооружение в НИИАРе многоцелевого быстрого исследовательского реактора. Созданием реактора МБИР, в том числе и для замещения действующего исследовательского реактора на быстрых нейтронах БОР-60 при исчерпании его эксплуатационного ресурса, будет обеспечено сохранение и развитие экспериментальной базы отечественной атомной энергетики.

В настоящее время на одной из площадок НИИАРа продолжается строительство нового реактора.

Целью сооружения комплекса МБИР является создание высокопоточного исследовательского реактора на быстрых нейтронах с уникальными потребительскими свойствами для реализации следующих задач: проведение реакторных и послереакторных исследований, отработка новых технологий производства радиоизотопов и модифицированных материалов, производство электроэнергии и тепла.

Исследовательская ядерная установка МБИР включает в свой состав реакторную установку с двумя натриевым контурами охлаждения и третьим пароводяным контуром, паротурбинную установку, транспортно-технологические системы, петлевые установки, вертикальные и горизонтальные экспериментальные каналы, комплекс исследовательских защитных камер, лабораторный комплекс.



Площадка сооружения реактора МБИР (август, 2016 год)

В 2016 году при строительстве реакторной установки МБИР было уложено 43 294 м<sup>3</sup> бетона, смонтировано 7 563 т арматуры. В январе 2016 года работы по устройству стен главного здания реактора велись на отметке –10,800 м, а в декабре были завершены работы по бетонированию на отметке до +0,900 м.

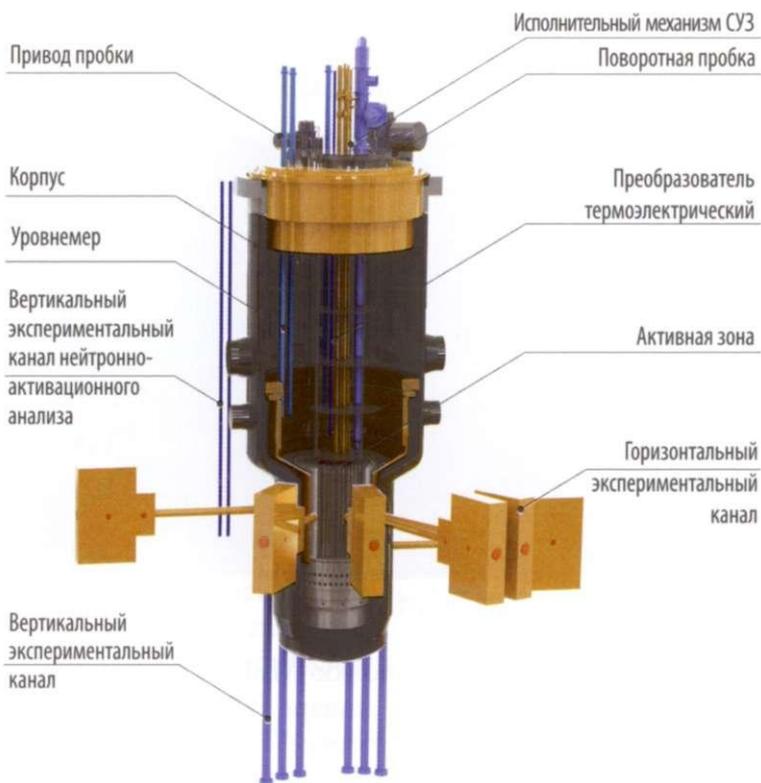
При подготовке проекта к реализации выполнен большой объём научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в том числе заключён и выполнен государственный контракт по обоснованию технического проекта реактора МБИР. В конце 2016 года на площадку АО «ГНЦ НИИАР» были поставлены дренажные баки для натриевого теплоносителя.

### Проектные основы создания реакторной установки МБИР

Проект создания реакторной установки МБИР базируется на положительно зарекомендовавших себя технологиях реакторной установки БОР-60. В проектные основы заложено применение трёхконтурной схемы передачи тепла от реактора к окружающей среде. В качестве теплоносителя I и II контура применяется натрий, а в III контуре — вода–пар. В основу компоновки зданий и сооружений заложен модульный принцип застройки, обеспечивающий максимальную автономность исследовательской ядерной установки МБИР и чёткое разделение блоков и зданий с точки зрения их ответственности за безопасность.

При компоновке генерального плана исследовательской ядерной установки МБИР учитывались следующие требования:

- зонирование территории по зданиям основного производственного назначения и вспомогательным зданиям;



Принципиальная трёхмерная модель реакторной установки МБИР

- оптимальное планирование зданий и сооружений основного производства, а также подсобно-производственных зданий и сооружений;
- обеспечение прямолинейных магистральных трасс (коридоров) прокладки инженерных коммуникаций;
- сокращение технологических, транспортных и пешеходных связей.

Зона основного производства размещена в центре площадки и состоит из скомпонованных в единый строительный объём функционально-технологических блоков главного здания исследовательской ядерной установки МБИР.

### Основные направления исследований

Реакторная установка МБИР позволит проводить исследовательские и экспериментальные работы с использованием нейтронов и ионизирующего излучения по следующим направлениям:

- радиационные испытания перспективных конструкционных материалов в условиях интенсивного нейтронного излучения с плотностью потока до  $(2-5)10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;
- исследование перспективных видов ядерного топлива и поглощающих материалов;
- ресурсные испытания и отработка режимов эксплуатации твэлов, пэлов, ТВС и других элементов активной зоны для инновационных реакторов следующего поколения с натриевым, тяжёлометаллическим, газовым и другими типами теплоносителей;
- исследование поведения твэлов и ТВС в переходных, циклических и аварийных режимах работы;

- исследование новых и модифицированных жидкометаллических теплоносителей, средств их контроля;
- проведение физических, материаловедческих, теплогидравлических и других исследований с целью верификации расчётных кодов;
- испытания и апробация новых типов оборудования различных технологических систем, инновационных приборов и систем управления, контроля и диагностики реактора и т.д., проверка их надёжности;
- реакторные испытания и исследования проблем замкнутого топливного цикла, утилизации актинидов и выжигания долгоживущих продуктов деления;
- производство радиоизотопной продукции различного назначения, наработка модифицированных материалов;
- прикладные исследования с использованием пучков нейтронов (нейтронная радиография и нейтронно-активационный анализ различных материалов и изделий);
- получение ядерно-легированного кремния для нужд радиоэлектроники.



Дорожная карта проекта МБИР

## Создание единого центра проверки технологий — полифункционального радиохимического исследовательского комплекса

В России к данному моменту сложилась ситуация, когда лабораторные комплексы для проверки радиохимических технологий переработки отработавшего ядерного топлива в Димитровграде, Гатчине, центральной заводской лаборатории производственного объединения «Маяк» не в полной мере соответствуют современным требованиям. Лабораторные установки и комплексы во ВНИИНМ, Радиевом институте им. В.Г. Хлопина и ВНИХТ находятся в центре Москвы и Санкт-Петербурга и не могут использоваться для работы с материалами высокой

радиоактивности. В этой ситуации принято решение о создании единого центра проверки технологий — полифункционального исследовательского радиохимического комплекса — и размещении его на территории НИИАРа.

Строительство нового объекта существенно повлияет на развитие экспериментальной базы института. Этот комплекс (горячая лаборатория нового поколения) предназначен для экспериментальной проверки на реальном отработавшем ядерном топливе любых технологий и их комбинаций независимо от выгорания, состава и времени выдержки. Для сокращения отрицательного воздействия на персонал комплекс спроектирован с использованием унифицированных технологических модулей, размещённых в обслуживаемых дистанционными робототехническими установками радиационно-защитных камерах. Контроль за протекающими процессами и вмешательство в них операторы производят с защищённых пультов, наблюдая оборудование при помощи радиационно стойких видеокамер.

В настоящее время завершён комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по обоснованию проектных и конструкторских решений ПРК, проектная документация прошла государственную экспертизу и получена лицензия на сооружение объекта. Строительно-монтажные работы ведёт АО «Научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии — Атомстрой». Завершены работы по планировке земельного участка, закончено сооружение цокольного этажа ПРК, ведётся сооружение на отметках от +3,9 до +5,1 метра над уровнем грунта.



Строительство полифункционального исследовательского радиохимического комплекса

Финальная отметка здания — 22 метра, которую планируют достичь в 2018 году. Следующие два года отводятся для проведения монтажных и пусконаладочных работ. В 2020 году ожидается сдача полифункционального радиохимического комплекса в опытно-промышленную эксплуатацию.

## Глава 3



# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 3.1. Исследовательские ядерные реакторы и техника испытаний

*Поле исследований всех наук беспредельно.*

Б. Паскаль

В НИИАРе работы в области исследовательских реакторов проводили по двум направлениям: совершенствование высокопоточных исследовательских ядерных реакторов и повышение эффективности их использования. По первому направлению работ было выполнено следующее:

- удвоена мощность и увеличена плотность нейтронного потока в реакторе СМ, обеспечена его эффективная эксплуатация в течение более пятидесяти лет;
- исследованы возможности создания реакторов типа СМ с несколькими нейтронными ловушками в активной зоне, проведены концептуальные разработки;
- разработаны, спроектированы и построены три реактора типа РБТ, в которых реализовано несколько нейтронных ловушек, благодаря чему плотность потока нейтронов в них значительно выше, чем в других реакторах подобного класса. Реакторы РБТ работают на выгоревших ТВС реактора СМ, в которых накоплен самарий. В этих реакторах самарий «работает» как выгорающий поглотитель, обеспечивая продолжительную кампанию при стабильном уровне мощности;
- изучены проблемы получения максимальной плотности нейтронного потока с использованием классической концепции исследовательских ядерных реакторов с твэлами, выдерживающими высокую плотность теплового потока с их поверхности. По-видимому, плотность нейтронного потока, равная  $(1-2)10^{16} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , является предельной.

Работы по повышению эффективности использования исследовательских ядерных реакторов в основном сводились к разработкам устройств для облучения образцов различных материалов в контролируемых и регулируемых условиях, созданию устройств для исследований свойств материалов и изделий в процессе их облучения.

Устройства для облучения материалов в исследовательских ядерных реакторах по способу съема тепла разделяют на петлевые и ампульные, а по способу получения информации — на пассивные и активные. Характеристики петлевых установок закладываются в процессе проектирования и при эксплуатации меняются незначительно. Ампульные устройства получили широкое применение на всех реакторных установках

НИИАРа. Были созданы устройства с регулированием температуры, спектра нейтронов, давления газа в ампуле, механической нагрузки на оболочки макетов твэлов и т.д.

В исследовательских реакторах НИИАРа параллельно с созданием петлевых и ампульных устройств проводили работы по спектрометрии и дозиметрии нейтронов, разработке средств контроля условий испытаний: температуры, давления, радиационного энерговыделения, газовыделения, а также технических средств для изучения в процессе облучения механических свойств конструкционных материалов.

По мере развития внутриреакторных исследований и испытаний ужесточались требования к моделированию условий облучения: плотности потока нейтронов, температуре, характеристикам среды и прочему — и их контролю. Были созданы научные коллективы для разработки сложных устройств, оснащённых большим количеством внутриреакторных систем для измерения нейтронного потока, температуры, давления и газовыделения. Особые усилия были направлены на разработку технических средств для исследования механических свойств материалов в процессе реакторного облучения. Собственными силами создавали надёжные датчики внутриреакторного контроля и средства регулирования воздействующих факторов. Особенно сложными являются внутриреакторные устройства и системы внешнего обеспечения их работы (петлевые установки, стенды и т.п.), используемые при проведении исследований в нестационарных и аварийных режимах.

По мере накопления знаний о свойствах реакторных материалов специалисты-материаловеды предположили, что интенсивное нейтронное и гамма-излучение и особенно наличие механических напряжений оказывают значимое влияние на поведение материалов и изделий, и это влияние невозможно выявить при традиционных методах исследований. Чуть позже, после обнаружения явления йодного растрескивания оболочек твэлов из циркониевых сплавов под напряжением, это предположение переросло в уверенность. Первые эксперименты на образцах, до облучения подверженных механическому напряжению, были поставлены на реакторе СМ в конце шестидесятых годов. У истоков этой работы стояли Н.П. Лосев, специалист по разработке методик реакторного эксперимента, и материаловед А.Г. Финько. Благодаря профессионализму, умению творчески применять знания в практической работе и колоссальной работоспособности этих сотрудников в кратчайшие сроки была создана экспериментальная установка, изучены её характеристики и реализованы сложные внутриканальные эксперименты. В качестве экспериментальных образцов использовали трубы оболочек твэлов под давлением инертного газа. Именно такие образцы позволяли наиболее полно воссоздать реалистические условия работы твэлов в составе активной зоны реактора. Большая заслуга Н.П. Лосева и А.Г. Финько состояла ещё и в том, что они разработали методические основы для создания наукоёмкого экспериментального оборудования, которое обеспечивало проведение реакторных испытаний такого рода и посттестовых дистанционных измерений в условиях радиационно-защитных камер. Были проведены

сотни экспериментов в каналах реакторов СМ и РБТ-6 в широком температурном диапазоне, получены необходимые знания по механическим свойствам оболочек ТВЭЛОВ.

В дальнейшем появилась необходимость в расширении номенклатуры реакторных экспериментов с воссозданием на образцах различных видов механических нагрузок и их комбинаций. В НИИАРе были изучены и приняты предложения специалистов Института проблем прочности Академии наук УССР, где к этому времени были разработаны и изготовлены машины «Нейтрон» для механических испытаний конструкционных материалов в каналах ядерных исследовательских реакторов с реализацией на плоских образцах различных видов механического нагружения (растяжение, изгиб, кручение и их комбинации). В НИИАРе разработали программу реакторных экспериментов с использованием установок «Нейтрон». Эксперименты проводили в каналах реакторов СМ и РБТ-6. Впервые все значимые параметры, включая деформацию образцов, измеряли в онлайн-режиме. Выполнению научной части программы предшествовала большая методическая работа по адаптации машин к работе в условиях реакторного эксперимента, разработке и исследованию характеристик внутриканальной ампулы. Эту часть работы успешно выполнили специалисты НИИАРа. У истоков проекта стояли В.Н. Киселевский (Институт проблем прочности) и Б.В. Самсонов (НИИАР). Научным руководителем и вдохновителем проекта был А.Я. Рогозянов (НИИАР), чей творческий труд во многом определил успех всей работы. Стоит отметить, что практически все результаты в той или иной степени были использованы при разработке новых или обосновании существующих проектов активных зон водоохлаждаемых реакторов. Результаты внутриреакторных экспериментов явились основой для создания физических моделей ползучести конструкционных материалов в условиях эксплуатации активных зон ядерных реакторов.

Большого успеха в этих областях исследований, кроме команды А.Я. Рогозянова, достигли и коллективы под руководством Б.В. Самсонова, В.Ш. Сулаберидзе, Д.К. Рязанова, В.Н. Шулимова. Сотрудники института: Е.Е. Лебедева, Н.В. Маркина, Г.А. Шиманский, М.Ю. Тихончев, В.В. Личадеев, А.Р. Белозёрова, Л.И. Демидов, В.В. Павлов, А.А. Бойцов, А.И. Теллин, Т.И. Чернышова выполнили большой объём исследований по дозиметрии и спектрометрии нейтронов исследовательских ядерных реакторов, ими были исследованы нейтронно-физические характеристики каналов для облучения в реакторе СМ, нейтронные поля в реакторе БОР-60, нейтронно-физические характеристики на устройстве «Корпус» реактора РБТ-6, разработаны методы измерения интеграла взаимодействия (отклика) для нейтронно-активационных детекторов с целью методического обеспечения внутриреакторных нейтронно-активационных экспериментов. Сотрудниками Б.А. Самигуллиным, Ф.Х. Валиуллиным, В.В. Сарксяном, Е.Е. Лебедевой, Н.В. Маркиной, Ю.И. Лещенко, Ю.М. Карацубой, В.А. Качалиным, Н.А. Асеевым, А.В. Першиным был также выполнен большой объём исследований и разработаны методы измерения температуры и давления в процессе облучения, деформации и перемещения, радиационного энерговыделения, а также методы

исследования теплофизических характеристик компонентов твэлов и диэлектрических материалов и изучения кинетики выхода газообразных продуктов деления в процессе облучения керамического ядерного топлива, ампульные облучательные устройства. Сотрудниками Б.В. Самсоновым, Н.П. Лосевым, А.Я. Рогозяновым, А.Г. Финько совместно со специалистами Института проблем прочности Академии наук УССР, а позднее — со специалистами Московского инженерно-физического института разработаны технические средства и методики исследования механических свойств: длительной прочности и ползучести конструкционных материалов в процессе реакторного облучения, в том числе при одноосном растяжении, двухосном нагружении труб давлением газа, кручении и сложных видах нагружения, а также технические средства для исследований релаксационных характеристик. В настоящее время методики и технические средства проведения внутриреакторных исследований и испытаний несколько не уступают зарубежным аналогам, а даже, благодаря уникальным характеристикам используемых реакторов, часто их превосходят, о чём свидетельствуют многочисленные зарубежные заказы последних лет.

С конца шестидесятых годов прошлого века были начаты работы по организации исследований свойств материалов в процессе их облучения, которые особенно интенсивно шли в семидесятые годы. Это исследования влияния величины плотности потоков излучений на показания термомпар и влияния интегральной дозовой нагрузки на их характеристики. Результаты этих исследований имели теоретическое (для развития теории радиационной физики твёрдого тела) и практическое значение (достижение необходимой точности измерения температуры в высокопоточных реакторах). Второе направление — исследования свойств диэлектриков, кабелей и других электротехнических материалов под воздействием излучений. Результаты этих исследований использовались и будут использоваться при разработке внутриреакторных измерительных систем и создании устройств для испытаний материалов в исследовательских реакторах. Третье направление исследований — изучение длительной прочности и ползучести конструкционных материалов в процессе облучения в реакторе. Эти работы проводили совместно с Институтом проблем прочности Академии наук УССР. Созданные в этом институте испытательные машины типа «Нейтрон» для проведения внутриреакторных исследований применяют в НИИАРе до сих пор. Много аналогичных устройств было создано и в самом НИИАРе. Четвёртое направление — исследования режимов формирования структуры сердечников твэлов с керамическим топливом. Были изучены процессы формирования структуры изготовленных методом виброуплотнения топливных сердечников твэлов в зависимости от плотности засыпки топлива и тепловых нагрузок. В дальнейшем эти результаты использованы при отработке технологий получения исходного гранулята и изготовления топлива методом виброуплотнения. Следующее направление — изучение теплофизических свойств твэлов так называемого контейнерного типа. Наиболее чувствительной к изменению теплопроводности у таких твэлов оказалась зона зазора между сердечником и оболочкой. Такая

конструкция твэла — с зазором между топливным сердечником и оболочкой твэла — позволяет проследить кинетику изменения теплофизических свойств со временем по мере увеличения выгорания топлива в твэле. Шестое направление — исследования кинетики выхода газообразных и летучих продуктов деления из диоксидного топлива разного технологического происхождения под оболочку при различных значениях температуры и линейной плотности теплового потока, в том числе при переменных нагрузках; седьмое — изучение выхода продуктов деления из негерметичных твэлов и распространения продуктов деления по контуру охлаждения в зависимости от вида ядерного топлива, мощности и её изменения во времени, температуры, конструкции твэла и величины негерметичности.

Как отмечалось ранее, результаты внутриреакторных исследований представляют большой интерес для радиационной физики твёрдого тела. Внутриреакторные эксперименты — это ценный материал для разработки математических моделей поведения материалов, основанных на феноменологических подходах с использованием аналитических зависимостей, построенных по результатам экспериментов. Такие модели смогут существенно сократить затраты на инновационные проекты.

Наибольший вклад в развитие работ по исследовательским реакторам и их эффективному использованию на первых этапах внесли В.А. Цыканов, В.М. Грязев, В.А. Куприенко, Б.В. Самсонов, Г.И. Гаджиев, А.В. Клинов, В.П. Бурукин, А.А. Грушанин, Е.П. Ключков, Ю.П. Кормушкин, а затем работы продолжили А.Ф. Грачёв, В.В. Калыгин\*, В.А. Гремячкин, В.Ш. Сулаберидзе, Р.Р. Мельдер, В.А. Старков, М.Н. Святкин, В.А. Овчинников, А.Л. Ижutow, А.Л. Петелин и многие другие.

## Современные исследовательские возможности реакторов НИИАРа

### Реактор СМ

В настоящее время реактор СМ оснащён:

- низкотемпературной петлевой установкой мощностью 1,2 МВт с водяным теплоносителем и тремя экспериментальными каналами;
- высокотемпературной петлевой установкой мощностью 100 кВт с водяным теплоносителем и тремя экспериментальными каналами;
- установками для внутриреакторных исследований механических свойств материалов;
- стендом для исследования выхода продуктов деления из топливных материалов;
- ампульными устройствами для массовых испытаний образцов конструкционных материалов в регулируемых и контролируемых условиях и для наработки радионуклидов;
- образцовым центром нейтронных измерений.

\* В книге упоминаются Владимир Валентинович (В.В.) и Владимир Викторович (В.Вик.) Калыгины. — Прим. ред.

Комплекс стендов для исследования радиационной и коррозионной стойкости материалов инновационных реакторов четвёртого поколения: газовых высокотемпературных, быстрых с кипящей водой, водой за критических параметров, а также перспективных новых реакторов специального назначения — дополнительно обеспечивает возможность проведения:

- ускоренных радиационных испытаний в контролируемых условиях при скорости набора повреждающей дозы до 15 сна в год в широком диапазоне температуры;
- исследований радиационного набухания и формоизменения различных сплавов;
- исследований радиационно-стимулированной ползучести;
- изучения изменения вязкости разрушения циркониевых сплавов при низкотемпературном облучении;
- исследования трещиностойкости материалов;
- изучения замедленного гидридного растрескивания циркониевых сплавов после низкотемпературного облучения;
- изучения коррозионного взаимодействия конструкционных материалов при высокодозном облучении.

## Реактор МИР

Материаловедческий многопетлевой исследовательский реактор МИР эксплуатируется с 1966 года. После реконструкций действующие экспериментальные установки реактора включают в себя петлевые установки, являющиеся основой экспериментального оборудования реактора, комплекс облучательных (и ампульных) устройств для проведения испытаний с отводом тепла от образцов водой первого контура реактора или контура бассейна, радиационно-защитные камеры с комплексом экспериментальных установок для промежуточного обследования облучаемых изделий, физическую модель реактора — критический стенд. Уникальные особенности реакторной установки позволяют:

- создавать в петлевых установках условия, максимально приближенные к условиям эксплуатации топлива, ТВЭЛов, ТВС и конструктивных элементов в энергетических реакторах;
- моделировать сложные переходные и аварийные процессы из числа проектных состояний топлива в энергетических реакторах, информация о которых не может быть получена другим способом по сообщениям экономической целесообразности или радиационной безопасности;

*Товарищи!*

*Вы проспали в уюте своих квартир*

*Момент, когда пускали новый реактор МИР.*

*Теперь торопитесь, спешите*

*С пуском поздравить ОИР.*

*Да здравствуют все работники,*

*Давшие миру МИР!*

В.А. Барков

*Из объявления на проходной института  
1 января 1967 года в честь пуска реактора МИР*

- одновременно проводить разноплановые испытания и эксперименты в разных петлевых установках и рабочих каналах реактора путём формирования соответствующего распределения мощности по активной зоне;
- проводить испытания в ампулах, размещаемых в каналах бериллиевого замедлителя и топливных каналах вместо ТВС или в центральной полости ТВС;
- периодически проводить промежуточные обследования облучаемых образцов в радиационно-защитной камере;
- анализировать состав радиоактивных продуктов в теплоносителе и оснащать экспериментальные устройства мониторами, отражающими данные о нейтронном спектре и флюенсе, датчиками измерения температуры, давления, выхода продуктов деления из топливных композиций, диаметра и длины образца;
- создавать облучательные ячейки с размерами, существенно превышающими размеры при штатной компоновке активной зоны (например, путём извлечения семи штатных блоков замедлителя).

На петлевых установках реактора МИР проводят испытания:

- макетных твэлов реактора ВВЭР с компактным и виброуплотнённым МОКС-топливом для обоснования ресурсных характеристик, в том числе для сравнительной оценки работоспособности;
- опытных твэлов с топливом на основе диоксида урана в металлической матрице по программе создания активной зоны реакторов ВВЭР с малым теплосодержанием;
- твэлов реактора ВВЭР в проектных режимах эксплуатации, в том числе в стационарных длительных режимах, переходных режимах (набросы мощности, циклирование мощности) и при параметрах проектных аварий RIA и LOCA, на герметичных и негерметичных твэлах (с искусственными дефектами оболочки) во всём проектном и перспективном диапазонах выгорания топлива;
- макетных твэлов реактора ВВЭР с оболочками на основе новых материалов, а также новых типов дистанционирующих решёток, конструкций таблеток и топливных композиций.

Также изучают поведение рефабрикованных и полномасштабных «выгоревших» твэлов реакторов ВВЭР и РБМК для обоснования надёжности при выгорании топлива до 75 МВт·сут/кг в длительных топливных циклах и характеристики топливных композиций с высокой плотностью урана, а также твэлов и ТВС на их основе для обеспечения перевода исследовательских ядерных реакторов на топливо с обогащением по урану-235 до 19,75 %.

Потенциальные возможности реактора МИР позволяют не только проводить петлевые испытания топлива с инновационными типами топливных элементов с новыми оболочечными материалами (керамика, металлокерамика и т.д.), новых типов топливных композиций и прочего, но и создавать петлевые установки с критическими параметрами воды и экспериментальные устройства для моделирования тяжёлых аварий с повреждением топлива и проводить испытания с моделированием запроектных

аварийных условий, а также, модернизировав петлю ПГ-1 с газовым теплоносителем (или заменив её) для увеличения температуры на выходе из канала до 1 500 °С, проводить внутриреакторные испытания топлива перспективных высокотемпературных газовых реакторов.

### Реактор БОР-60

Реактор БОР-60 является исследовательским и предназначен для отработки топливного цикла, технологии натриевого теплоносителя, а также широкого спектра проектных и конструкторских решений для реакторов на быстрых нейтронах. Как мощный источник быстрых нейтронов, реактор используется для исследований воздействия нейтронного облучения на конструкционные, топливные и поглощающие материалы различных типов. Отличительными чертами этого реактора являются возможность ускоренного (до 20 сна в год) высокодозного (до 100 сна и более) облучения конструкционных материалов, проведения массовых испытаний топлива для реакторов на быстрых нейтронах с целью обоснования перспективных топливных циклов, получения высокоактивных радионуклидных препаратов, процесс наработки которых наиболее эффективно осуществляется в жёстком нейтронном спектре, и наличие экспериментальных устройств, обеспечивающих формирование необходимого нейтронного спектра для исследований по отработке технологии трансмутации высокоактивных радионуклидов, и стендов для испытаний крупномасштабных моделей оборудования АЭС с реакторами на быстрых нейтронах, а также радиационно-защитной камеры и необходимого оборудования в ней для промежуточных обследований облучаемых образцов и изделий.

Основными видами проводимых работ являются:

- массовые испытания твэлов различной конструкции с перспективными топливными композициями для реакторов на быстрых нейтронах в стационарных и переходных режимах;
- ускоренные радиационные испытания конструкционных, поглощающих, электроизоляционных, магнитных и других материалов;
- исследования по безопасности реакторов на быстрых нейтронах;
- отработка технологии натриевого теплоносителя;
- изучение поведения твэлов в аварийных режимах с использованием специальных петель-ампул;
- испытания опытных образцов оборудования для реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, систем диагностики и защиты;
- исследования по технологии трансмутации долгоживущих радионуклидов;
- отработка технологии накопления радионуклидов для медицины и радиоизотопной техники.

При постановке экспериментов используют до двадцати ячеек в активной зоне и боковом экране для облучения опытных ТВС и ампул с образцами, размещаемых вместо штатных ТВС и компонентов бокового экрана, и экспериментальную ячейку активной зоны с возможностью загрузки в неё инструментированных устройств, включая автономные петлевые каналы, а также сухие вертикальные и горизонтальные каналы за пределами корпуса и экспериментальные стенды для испытаний оборудования.

### Реакторы РБТ-6 и РБТ-10

В данный момент на реакторах имеются экспериментальные установки и устройства для внутриреакторных механических испытаний конструкционных материалов, ядерного топлива и твэлов, наработки короткоживущих радионуклидов, ядерного легирования кремния; ампулы с перегретым водяным паром, водой под давлением, кипящей водой для облучения конструкционных материалов. Отличительными чертами этих реакторных установок являются:

- достигаемая за счёт специальной конструкции, компоновки и размещения рабочих органов системы управления и защиты высокая доступность активной зоны и экспериментальных устройств, в том числе при работе реактора;
- возможность обеспечения стабильных параметров испытаний в течение длительного периода;
- оснащённость облучательными устройствами различных типов и их готовность для материаловедческих исследований;
- уникальные характеристики, обеспечивающие выполнение жёстких требований к условиям испытаний корпусных материалов, в том числе с промежуточным отжигом облучаемых образцов (возможности установки «Корпус»);
- наличие радиационно-защитной камеры, оснащённой устройствами для промежуточного обследования облучаемых изделий;
- доступность вертикальных экспериментальных каналов большого диаметра для легирования кремния;
- возможность трансформации активных зон — её размеров и конфигурации — к требуемой компоновке, что обеспечивается максимальной простотой и гибкостью конструкции, а также высокой эффективностью компенсирующих органов.

*После Обнинска Мелекесс, особенно его старая часть, мягко говоря, не впечатлял, но я всё же согласился на предложение приехать в этот город и никогда об этом не жалел. Десять лет, проведённых в НИИАРе, не прошли для меня даром. В НИИАРе всё создавалось на моих глазах и при моём непосредственном участии и руководстве. В целом мои чувства по отношению к институту можно назвать отцовскими.*

Из воспоминаний О.Д. Казачковского

## Исследования на критических стендах реакторов СМ и МИР

На критических стендах реакторов СМ и МИР выполняют исследования по следующим направлениям:

- обоснование ядерной безопасной эксплуатации реакторов СМ и МИР при вводе новых экспериментальных устройств и планировании новых режимов испытаний;
- определение нейтронно-физических характеристик экспериментальных каналов и устройств;
- выбор средств формирования режимов облучения и согласования заданных режимов испытаний экспериментальных устройств, одновременно облучаемых в реакторе;
- исследования для обоснования концепций модернизации активной зоны и принимаемых проектных решений;
- выполнение экспериментов с целью отработки методик расчёта нейтронно-физических характеристик реактора.

### Наиболее важные исследования, выполненные за последние двадцать лет эксплуатации критических стендов

В 1991–1992 годах проведена очередная реконструкция реактора СМ, направленная на повышение его безопасности и расширение экспериментальных возможностей. В процессе реконструкции, в частности, была изменена компоновка нейтронной ловушки реактора, количество и расположение экспериментальных каналов в отражателе. На критическом стенде, приведённом в соответствие с новой компоновкой реактора, было выполнено около 90 % объёма экспериментов, требуемых по программе физического пуска. Исследованы эффекты реактивности, связанные с вводимыми изменениями; пределы и закономерности изменения эффективности органов системы управления и защиты реактора; распределение энерговыделения в активной зоне с определением предельных значений коэффициентов неравномерности как в целом по реактору, так и по твэлам ТВС различного типа для характерных ячеек активной зоны; нейтронно-физические характеристики экспериментальных каналов в зависимости от их взаимного заполнения и перемещения органов системы управления и защиты.

Полученные в результате экспериментов на критическом стенде реактора СМ значения коэффициентов неравномерности энерговыделения использованы для расчёта гидравлического профилирования расхода теплоносителя с целью обеспечения одинакового запаса до кризиса теплообмена в типовых группах ячеек с существенно разным энерговыделением. Другие данные, полученные также в результате экспериментов на критическом стенде и позволившие уточнить проектные характеристики активной зоны, были внесены в техническую и эксплуатационную документацию, легли в основу отчёта по обоснованию безопасности, необходимого для получения лицензии на эксплуатацию реактора. Исследования, выполненные на критическом стенде реакто-

ра СМ, позволили значительно уменьшить объём экспериментов на самом реакторе, что ускорило проведение его физического пуска и возвращение в число действующих одного из наиболее мощных и востребованных реакторов мира. В результате экспериментальных исследований была выбрана и обоснована конструкция облучательного устройства для испытания новых твэлов в петлевой установке; определены эффекты реактивности и распределение энерговыделения при испытании ТВС новых типов в активной зоне реактора; смоделирован перевод реактора на новое топливо в ходе поэтапных замен ТВС старого типа на новые ТВС; определены эффекты реактивности, связанные с вводимыми изменениями; установлены пределы и закономерности изменения эффективности органов системы управления и защиты реактора. Результаты этих экспериментов позволили уточнить проектные характеристики активной зоны и вошли в техническую и эксплуатационную документацию и отчёт по обоснованию безопасности.

Результаты испытаний на критическом стенде реактора МИР позволили существенно повысить уровень ядерной безопасности реактора и выбрать условия безопасного проведения новых экспериментов. Были выполнены исследования по определению возможности образования локальной критической области в процессе перегрузки активной зоны. На основании этих исследований увеличено количество органов компенсации реактивности. В 1990 году в дополнение к уже имеющимся реактор был оснащён шестью компенсаторами с догрузкой и четырьмя компенсирующими органами. В настоящее время общее количество таких компенсаторов в реакторе равно двенадцати, а число компенсирующих органов — двадцать семь. В результате экспериментальных исследований были сформулированы ограничения по загрузке активной зоны, установлены предельные значения и диапазоны изменения эффективности органов системы управления и защиты реактора. Эти данные вошли в паспорт реактора, на их основании выполнен анализ безопасности реактора.

Избыточное количество замедлителя в активной зоне реактора МИР обусловило наличие положительного эффекта реактивности при уменьшении плотности воды в петлевых каналах и зазорах бериллиевой кладки активной зоны. На критическом стенде были исследованы закономерности изменения эффекта реактивности, вызванного обезвоживанием петлевого канала, от конструкции экспериментальной ТВС и петлевого канала, местоположения петлевого канала в активной зоне, количества топлива в окружающих петлевой канал рабочих ТВС, глубины погружения ближайших к петлевому каналу органов системы управления и защиты реактора. Полученные результаты учитывали и учитывают на стадии разработки конструкции экспериментальных устройств и при формировании условий облучения, при которых вводимая реактивность будет допустимой с точки зрения обеспечения безопасной эксплуатации реактора.

За последнее десятилетие тематика экспериментальных работ, выполняемых на реакторе МИР, также значительно расширилась. Проведённые на критическом стенде исследования позволили определить физические условия, обеспечивающие

достижение заданных параметров облучения и соблюдение требований ядерной безопасности при проведении таких, ранее нехарактерных для реактора МИР работ, как:

- эксперименты по моделированию для испытываемых твэлов условий, характерных для аварийных ситуаций со скачкообразным увеличением мощности и быстрым вводом положительной реактивности;
- эксперименты по моделированию условий, характерных для аварийных ситуаций с потерей теплоносителя;
- испытания твэлов в циклических режимах изменения мощности;
- массовое производство радионуклидов, прежде всего иридия-192.

Моделирование условий, характерных для аварийных ситуаций со скачкообразным увеличением мощности, предполагает увеличение энерговыделения экспериментальной ТВС от стартового до заданного значения за фиксированное время. На критическом стенде исследовали возможность создания на реакторе МИР необходимых режимов таких экспериментов путём перераспределения потока нейтронов в активной зоне с помощью штатных органов регулирования или изменения общей мощности. Сложность проведения подобных экспериментов в реакторе МИР обусловлена необходимостью поддержания уровня мощности во всех петлевых и рабочих каналах в пределах допустимых значений в процессе перемещения органов регулирования или увеличения мощности реактора. В итоге была предложена методика, с использованием которой к настоящему времени в реакторе МИР выполнено более десяти экспериментов со скачкообразным изменением мощности в стандартных петлевых каналах без применения сложных облучательных устройств. Эксперименты с моделированием изменения мощности твэлов, типичного для аварий с вводом положительной реактивности вследствие несанкционированного извлечения органа регулирования, характеризуются большими значениями скорости изменения мощности и требуют применения специальных внутриканальных облучательных устройств. Параметры активной зоны и экспериментального канала при применении подобных устройств также были исследованы в экспериментах на критическом стенде.

К другому классу испытаний относятся эксперименты, в которых моделируются условия, характерные для инцидентов с потерей теплоносителя. Запаривание петлевого канала, происходящее в этих случаях, приводит к вводу положительной реактивности. Учитывая, что время протекания процесса мало, а величина вводимой положительной реактивности может достигать существенных значений, безопасное проведение таких экспериментов в реакторе возможно лишь при условии принятия специальных мер. Проведённые на критическом стенде исследования позволили сформулировать рекомендации, с помощью которых за счёт комбинации различных средств воздействия на значение эффекта реактивности достигается его уменьшение и обеспечивается требуемое значение скорости ввода положительной реактивности в процессе эксперимента. Предложенные рекомендации использовали при проведении на реакторе МИР серии экспериментов, моделирующих аварии с потерей теплоносителя.

В начале девяностых годов прошлого столетия в связи с остановкой реактора СМ на реконструкцию возникла необходимость организовать массовое производство иридия-192 в реакторе МИР. В экспериментах на критическом стенде исследовали различные варианты конструкций мишеней и способов их размещения в реакторе; определяли принципы формирования загрузки активной зоны, обеспечивающие достижение необходимой удельной активности в заданном количестве стартового материала. Была предложена и реализована конструкция экспериментального устройства, позволяющая обеспечить требуемую удельную и интегральную активность при заданном графике работы реактора.

В экспериментах на критических стендах реакторов СМ и МИР были исследованы характеристики всех новых экспериментальных устройств перед их загрузкой в эти реакторы. С развитием средств вычислительной техники и программного обеспечения повысилась возможность более точного моделирования и детализации расчёта нейтронно-физических характеристик таких сложных систем, как реакторы СМ и МИР. Результаты экспериментальных исследований на критических стендах до сих пор широко используются для верификации нейтронно-физических кодов. Дальнейшее использование критических стендов реакторов СМ и МИР планируется осуществлять в представленных направлениях с акцентом на работы по тестированию расчётных программ и подготовку персонала.

### **Проработки реактора ПРИМА**

Ещё до чернобыльских событий, в семидесятых — начале восьмидесятых годов прошлого века, стали уделять повышенное внимание безопасности АЭС: включать в проектные разработки перечни возможных аварийных ситуаций (так называемые проектные аварии) и предусматривать мероприятия и технические средства, способные предотвратить возникновение таких ситуаций или хотя бы локализовать их влияние на окружающую среду посредством предусмотренных проектом защитных барьеров. В связи с необходимостью получения экспериментальных данных, которые могли бы обосновать принимаемые технические решения, а также служить базой для аттестации соответствующих расчётных кодов, стали создаваться специализированные экспериментальные стенды. Однако моделирование аварийных ситуаций во вне реакторных условиях не могло адекватно описать все возможные аварийные случаи, например связанные с комплексным воздействием всех факторов одновременно или с изменениями свойств материалов и воздействующей на них среды в условиях интенсивной радиации. НИИАР стал одним из инициаторов привлечения реакторных экспериментов для изучения таких ситуаций. Совместно с представителями ведущих конструкторских и технологических организаций был рассмотрен перечень предполагаемых исследований, и стало понятно, что без наличия специализированного реактора все необходимые эксперименты не могут быть проведены. Поэтому в институте в начале восьмидесятых годов начались разработки реактора ПРИМА, которые были успешно доведены до ста-

дии технического проекта. Реактор мог работать на стационарном уровне мощности до 100 МВт, а также в манёвренном режиме с изменением мощности от 10 до 100 % от номинального значения или в импульсном режиме с увеличением мощности (скачком) от двух до десяти раз в зависимости от величины предшествующего стационарного уровня. В реакторе была предусмотрена специализированная петлевая установка, в которой можно было имитировать проектные аварии.

Спад интереса к атомной энергетике после чернобыльских событий затормозил принятие решения о сооружении реактора ПРИМА. Однако эти проработки оказались полезными для сооружения одной из петлевых установок реактора МИР, когда необходимо было провести эксперименты для обеспечения возросших требований по безопасности действующих АЭС. В этой же установке была проведена серия экспериментов по проектным авариям, связанным с потерей теплоносителя, — так называемые малая и большая течи. Проектные аварии, связанные с быстрым изменением реактивности, трудно реализовать на обычных исследовательских ядерных установках. Для этого пригодились наработки по реактору ПРИМА: сотрудники НИИАРа использовали их в совместных работах со специалистами Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики. При проведении этих экспериментов также изучалось влияние аварийных режимов на поведение и последующее состояние твэлов. Эта информация использовалась конструкторами для корректировки противоаварийных мер, а технологами — для определения требований к твэлам.

### **Отраслевой центр сбора и анализа информации**

Отраслевой Центр сбора и анализа информации по безопасности исследовательских ядерных установок был создан в 1998 году приказом министра по атомной энергии с целью повышения уровня безопасности исследовательских ядерных реакторов и эффективности контроля обеспечения их ядерной и радиационной безопасности. Методическое руководство работой центра в настоящее время возложено на департамент ядерной и радиационной безопасности Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом». Размещение центра в НИИАРе было обусловлено наличием в институте восьми исследовательских реакторов различной конструкции, двух критических стендов и высококвалифицированных специалистов, обладающих большим опытом работы. В 2000 году начальником Центра сбора и анализа информации и координатором работ в программе МАГАТЭ по безопасности исследовательских ядерных установок был назначен В.Н. Федюлин.

Сотрудниками Центра сбора и анализа информации по безопасности исследовательских ядерных установок разработана уникальная информационная система сбора и обработки данных по отказам оборудования и нарушениям в работе исследовательских ядерных реакторов. В систему первоначально входили только предприятия Госкорпорации «Росатом». Специалистами центра была проделана большая работа

по вовлечению в информационную систему предприятий, эксплуатирующих исследовательские ядерные установки, но находящихся в ведении Российской академии наук, Министерства образования и науки и Министерства промышленности и торговли Российской Федерации. Работа увенчалась успехом, и с 2000 года все эти предприятия предоставляют в Центр сбора и анализа информации по безопасности исследовательских ядерных установок сведения о состоянии безопасности и нарушениях в работе своих установок. Информационная система предусматривает накопление, систематизацию и анализ данных по нарушениям в работе исследовательских ядерных установок России и накопление поступающей из МАГАТЭ информации по инцидентам на зарубежных реакторах; подготовку и анализ статистических данных с точки зрения безопасности, в том числе с использованием международной шкалы ядерных событий (ИНЕС), а также выявление причин нарушений, обобщение и разработку корректирующих мер по устранению последствий нарушений и предотвращению их повторения в будущем.

Поступающие в Центр сбора и анализа информации сведения после необходимой обработки направляются в виде оперативных сводок в блок управления инновациями, Ситуационно-кризисный центр и департамент ядерной и радиационной безопасности Государственной корпорации «Росатом». В базе данных информационной системы содержатся характеристики, показатели эксплуатации и отчёты о нарушениях в работе 115 установок России. Оформляются ежегодные информационные бюллетени, в которых содержатся статистические данные по нарушениям в работе исследовательских реакторов России, даётся подробный анализ отказов систем (элементов) и ошибок персонала, приводятся корректирующие меры по устранению последствий нарушений и их предотвращению. На основе анализа материалов, поступающих с конкретных предприятий, разрабатываются мероприятия по повышению безопасности установок. Информационная система, созданная совместно с Ситуационно-кризисным центром, является частью общей информационной системы Росатома и предназначена для поддержки работы экспертов федерального и объектового уровней управления отраслевой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Центр сбора и анализа информации по безопасности исследовательских ядерных установок также тесно сотрудничает с Центром по анализу опыта эксплуатации АЭС, Международным центром по ядерной безопасности Росатома, МАГАТЭ, предприятиями, эксплуатирующими исследовательские ядерные установки, Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору, проектными и конструкторскими организациями.

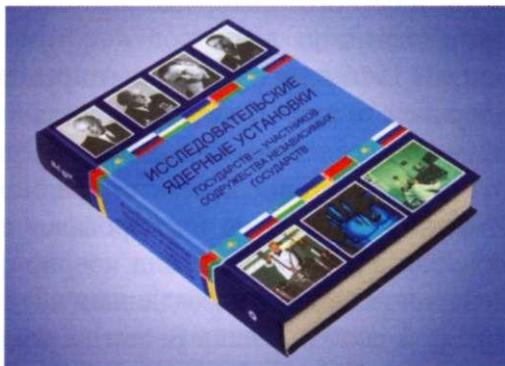
Решением Совета глав правительств государств — участников Содружества Независимых Государств в марте 2013 года институту, имеющему уникальный опыт эксплуатации исследовательских реакторов, присвоен статус базовой организации государств — участников СНГ в области обеспечения безопасности исследовательских ядерных установок. В состав её совещательного органа входят официальные представители, уполномоченные правительствами государств — участников СНГ. Это более двадцати специалистов, представляющих интересы России, Казахстана,

Беларуси, Кыргызстана, Армении и других государств, в том числе четыре сотрудника АО «ГНЦ НИИАР» во главе с директором института — руководителем базовой организации.

Центр сбора и анализа информации ежегодно организует проведение российских конференций и совещаний по безопасности исследовательских ядерных установок. Эти совещания стали общепризнанной, постоянно действующей площадкой по обмену опытом эксплуатации и организации обеспечения безопасности между ведущими специалистами России и других стран. Результаты работы Центра сбора и анализа информации востребованы руководством отрасли, всеми заинтересованными организациями и служат объективной основой для принятия важных решений по повышению безопасности исследовательских ядерных установок.

Сотрудниками Центра сбора и анализа информации, помимо текущей деятельности по сбору и обработке данных по опыту эксплуатации ядерных установок и обеспечению обмена информацией между заинтересованными сторонами о нарушениях в их работе, в июне 2016 года был подготовлен к печати и при финансовой поддержке МАГАТЭ издан сборник «Исследовательские ядерные установки государств — участников Содружества Независимых Государств». В сборнике\* объёмом в 480 страниц представлена актуальная и исчерпывающая информация о восьмидесяти исследовательских реакторах, критических и подкритических стендах, существующих на экспериментальных площадках двадцати трёх организаций пяти государств.

Подтверждением широких экспериментальных возможностей АО «ГНЦ НИИАР», профессиональных компетенций и высокой мотивации его специалистов стало присвоение институту статуса международного центра для реализации совместных научно-исследовательских проектов на базе исследовательских реакторов (ICERR) под эгидой МАГАТЭ. В ходе официальной церемонии, которая состоялась в рамках 60-й Генеральной конференции Международного агентства по атомной энергии в городе Вене 26 сентября 2016 года, генеральному директору Госкорпорации «Росатом» С.В. Кириенко вручили специальный сертификат, подтверждающий соответствие АО «ГНЦ НИИАР» критериям и требованиям, предъявляемым МАГАТЭ к подобным международным центрам.



Внешний вид сборника

\* Исследовательские ядерные установки государств — участников Содружества Независимых Государств: сборник / ред.-сост.: М. К. Виноградов, В. Н. Федулин. — М.: Издательство «Гелиос АРВ», 2016. — 480 с. — Прим. ред.

## 3.2. Ядерно-физические исследования

*Всякая плодотворная гипотеза кладёт начало удивительному извержению потока непредвиденных открытий.*

Л. Бриллюэн

Одной из фундаментальных проблем, возникших в начале шестидесятых годов, стало как можно более точное определение (вычисление) значений большого числа используемых ядерных констант: сечений ядерных реакций, спектров нейтронов, периодов полураспада, квантовых выходов дискретных линий фотонного излучения, вероятности испускания альфа- и бета-частиц, их энергии и т.д. Определить ядерные константы для новых элементов и их изотопов было необходимо не только ради научного интереса, но и чтобы выяснить возможность их практического применения.

В 1956 году было принято решение создать в Мелекесе «станцию по испытанию ядерных котлов». В июле 1959 года вышло постановление о переименовании «станции» в научно-исследовательский институт атомных реакторов, где предполагалось построить высокопоточный реактор, радиохимическую и материаловедческую лаборатории. Именно этот реактор планировался как для производства новых сверхтяжёлых изотопов, так и для организации ядерно-физических исследований на выведенных пучках нейтронов. В составе созданных научных лабораторий была и лаборатория, сотрудники которой должны были решать актуальные конкретные задачи фундаментальных исследований, — лаборатория Ф-9, возглавляемая В.Н. Нефёдовым. Работникам этой лаборатории предстояло организовать исследования на пучках нейтронов, выходящих из реактора СМ.

В 1966 году работы, связанные с накоплением трансплутониевых элементов в НИИАРе, возглавил известный физик, замечательный организатор, доктор физико-математических наук Ю.С. Замятнин. Под его руководством проводились и фундаментальные ядерно-физические исследования. Он же руководил работой созданного в 1972 году отдела ядерно-физических исследований, в который вошла и упомянутая выше лаборатория Ф-9. Перед сотрудниками была поставлена задача развивать работы по нейтронной спектроскопии на пучках горизонтальных каналов. Задача другой лаборатории состояла в масс-спектрометрическом анализе облучённых мишеней с целью контроля и оптимизации процесса накопления новых трансураниевых элементов. Эту лабораторию возглавил кандидат физико-математических наук В.Я. Габескирия. Определение интегральных эффективных сечений ( $n, \gamma$ )-реакций, необходимых

при планировании многоступенчатых процессов трансмутации, проводилось группой физиков под руководством кандидата физико-математических наук В.В. Иваненко. Они также участвовали в расчётах режимов облучения для стартовых мишеней при накоплении трансурановых элементов. Задачей отдела вычислительной техники и электроники, возглавляемого кандидатом технических наук А.М. Шиманским, являлась разработка современных средств измерения, накопления и обработки данных в экспериментальных исследованиях.

Основной инструмент физиков — высокопоточный реактор СМ — к этому моменту был готов и выведен на полную мощность. При мощности 100 МВт была достигнута самая высокая в мире реакторов плотность потока нейтронов, равная  $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . В конструкции реактора были предусмотрены пять горизонтальных каналов на уровне центра активной зоны для вывода коллимированных пучков нейтронов. В результате реактор стал уникальным не только по плотности потока, но и по возможностям для экспериментальных исследований. Доньшки каналов находились в бериллиевом отражателе в точках с плотностью потока тепловых нейтронов около  $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Сменяемые двухступенчатые коллиматоры позволяли иметь пучки круглого или прямоугольного сечения размером от 1 до 70 мм. Плотность потока нейтронов на выходе коллиматоров достигала приблизительно  $10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Эти устройства оказались весьма полезными для организации ядерно-физических экспериментов с нейтронами. Измерения плотности потока проводили инженер-физик Н.И. Крошкин и старший инженер В.А. Сафонов.

## Исследования в области физики деления

Деление ядер — очень сложный процесс. Физика деления тяжёлых ядер — научная основа использования ядерной энергии, и во многих институтах атомной отрасли велись интенсивные работы по изучению физики деления. Не был исключением и НИИАР, где работы в этом направлении проводились в лаборатории под руководством В.Н. Нефёдова.

В пятом канале реактора СМ были организованы эксперименты по изучению механизма деления и свойств элементов, делящихся спонтанно или под действием тепловых нейтронов. С целью обеспечения качества измерений дополнительно внутри канала был установлен фильтр из кристаллического кварца, для того чтобы удалять из пучка нейтроны с энергией выше тепловой, и фильтр из висмута для ослабления гамма-излучения. В этом варианте кадмиевое отношение в пучке, определённое по активационному монитору из золота, составило 400, а плотность потока тепловых нейтронов — около  $10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Как известно, в это же время был открыт новый тип деления — тройное деление. Его особенность заключалась в испускании дополнительной альфа-частицы с энергией свыше 10 МэВ. Сотрудники О.И. Иванов и Н.И. Крошкин под руководством В.Н. Нефё-

дова измерили выход гамма-лучей из осколков двойного и тройного деления урана-235 под действием тепловых нейтронов. Измерения проводили под углом  $0$  и  $90^\circ$  к направлению вылета осколков. Трудность измерений заключалась в том, что вероятность тройного деления в  $10^4$  раз меньше, чем двойного. Известно было, что в двойном делении выход гамма-излучения больше под углом  $90^\circ$  из-за возникновения больших угловых моментов у осколков при разрыве исходного ядра. Результаты показали, что в тройном делении этого эффекта нет. Другая работа, выполненная теми же сотрудниками, заключалась в ещё более трудном измерении спектров мгновенных нейтронов в тройном делении. Для измерения энергии нейтронов использовали метод нейтронной спектроскопии по времени пролёта, ставший основным для последующих исследований. Результаты показали, что средняя энергия спектров меньше, чем в двойном делении, но форма спектра сохранялась максвелловской. Также уменьшилось среднее число испускаемых нейтронов. Для своего времени работа была новаторской и послужила основой кандидатской диссертации, вскоре защищённой её автором В.Н. Нефёдовым.

Согласно современным представлениям, мгновенные гамма-кванты деления испускаются после того, как эмиссия нейтронов становится невозможной. Изучение различных свойств гама-излучения, угловой анизотропии выхода, мягкой части энергетического распределения, полной энергии и прочего показывает, что на механизмы испускания гамма-квантов большое влияние оказывает угловой момент осколков деления, приобретаемый ими в процессе разделения. Многопараметровые исследования анизотропии выхода гамма-квантов при делении урана-235 тепловыми нейтронами проводил О.И. Иванов. Под его руководством была создана сложная электронная аппаратура с одновременной регистрацией обоих осколков деления двумя кремниевыми поверхностно-барьерными детекторами, изготовленными Ю.А. Кушником. Вычисляли кинетическую энергию и отношение масс двух осколков. Важность этой работы состояла в дальнейшем подтверждении характера зависимости, предсказываемого механизмом возникновения углового момента и вращения осколка.

Впервые в НИИАРе инженером-физиком О.И. Ивановым выполнены многомерные измерения процесса деления урана-235 под действием тепловых нейтронов. Ставилась цель измерить зависимость интенсивности гамма-излучения от выхода осколков (способов деления) в координатах  $[E_1, E_2]$ , где  $E_1, E_2$  — кинетическая энергия двух осколков. Регистрацию осколков и их кинетической энергии осуществляли полупроводниковыми поверхностно-барьерными кремниевыми детекторами. Гамма-кванты регистрировали сцинтилляционным детектором на основе кристалла  $\text{NaJ(Tl)}$ . Поскольку скорость осколков близка к  $10^9$  см/с и передний фронт импульса от полупроводниковых поверхностно-барьерных кремниевых детекторов равен  $10^{-8}$  с, то сигнал с детекторов использовался для быстрой схемы совпадений с гамма-квантами, чтобы регистрировать только те кванты, которые связаны с данным типом деления. Чем меньше разрешающее время совпадений, тем меньше фон случайных совпадений. Регистрировались тройные совпадения между двумя осколками и гамма-

квантом. Двумерная (64 на 64 канала) экспериментальная информация для осколков записывалась в одну часть памяти многоканального анализатора. В другую часть записывались тройные совпадения в тех же координатах. Геометрию измерений можно было менять. Сначала измерения провели по направлению движения осколков, затем под углом  $90^\circ$  к линии разлёта осколков. Полученные данные вызвали большой интерес у физиков, особенно у тех, кто занимался построением моделей процесса деления. По этой тематике О.И. Иванов успешно защитил кандидатскую диссертацию.

Инженер-физик Б.И. Старостов выполнил масштабную работу по измерению и анализу спектров мгновенных нейтронов деления урана-233, урана-235 и плутония-239 под действием тепловых нейтронов и спонтанного деления калифорния-252 в широком интервале значений энергии от 0,01 до 10 МэВ, в котором находится около 100 % всех нейтронов. Особую научную ценность имеют результаты измерений спектра мгновенных нейтронов в интервале от 10 до 200 кэВ. Для этого автору пришлось разработать оригинальный детектор нейтронов, чувствительный к нейтронам в этой области энергии и достаточно быстрый, поскольку использовался метод измерения энергии по времени пролёта и требовалось измерять интервалы в несколько наносекунд. В качестве всеволнового детектора нейтронов была выбрана реакция деления урана-235. Поскольку сечение этой реакции хорошо известно, при обработке это обеспечивает восстановление истинной формы спектра и в абсолютных единицах. Регистрацию осколков, отмечающих момент деления, спонтанного или инициированного тепловыми нейтронами в изучаемых мишенях, проводили двумя способами: токовой миниатюрной ионизационной камерой, наполняемой аргоном с примесью 5 % углекислого газа, и сцинтилляционным детектором, состоящим из фотоумножителя и камеры с чистым ксеноном. С помощью быстрых электронных схем, разработанных в отделе вычислительной техники и электроники, удалось достичь высокого временного разрешения, равного 1,5 нс для каждого детектора. Понадобились изобретательность и много усилий, чтобы снизить фон в этой области энергии. Число испускаемых нейтронов в интервале 10–50 кэВ составляет небольшую часть (менее 3 %) от быстрых нейтронов, имеющих энергию более 50 кэВ, рассеяние которых на окружающих предметах создаёт сильный фон именно в нужной области энергии. Поскольку Б.И. Старостов принципиально провёл измерения с разными детекторами осколков и нейтронов, то ему пришлось расчётным и экспериментальным путём определять абсолютную эффективность детекторов нейтронов. Эта сложная, но успешно выполненная процедура позволила корректно сравнить данные, полученные при помощи двух разных детекторов нейтронов. Автор провёл детальный обзор предыдущих (за 15 лет) измерений спектров нейтронов и в итоге выдал рекомендованные к использованию данные по спектрам для мгновенных нейтронов деления урана-233, урана-235 и плутония-239 под воздействием тепловых нейтронов и спонтанного деления калифорния-252 в широком интервале значений энергии от 0,01 до 10 МэВ. Особенно ценны эти сведения при расчётах для реакторов на быстрых нейтронах, так как в активной зоне таких

реакторов отсутствуют тепловые нейтроны, но много нейтронов с энергией от 10 до 300 кэВ. Данная работа легла в основу диссертации Б.И. Старостова на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

Н.И. Крошкин под руководством Ю.С. Замятина выполнил интересную работу по измерению ядерных констант для впервые полученных в количестве нескольких миллиграммов изотопов кюрия с чётным (244, 246, 248) и нечётным (243, 245, 247) значением массового числа. Методом измерения энергии по времени пролёта с использованием сцинтилляционного газового детектора осколков и пластического детектора нейтронов были определены спектры (и их форма) мгновенных нейтронов спонтанного деления и деления под действием тепловых нейтронов перечисленных изотопов кюрия. Вычислены средняя энергия и параметр жёсткости спектров. Погрешность вычислений составила 2 %. С погрешностью 3 % рассчитано среднее число нейтронов деления. Выполнена систематизация данных с учётом измерений по другим делящимся изотопам. Результаты работы были отправлены в Центр по ядерным данным и легли в основу кандидатской диссертации Н.И. Крошкина.

С целью уточнения данных по среднему числу нейтронов Н.И. Крошкиным и инженером-физиком К.Д. Журавлёвым был сконструирован большой цилиндрический детектор нейтронов на основе 47 гелиевых счётчиков СН-18, размещённых в парафине. Через центр детектора проходил канал для вывода пучка тепловых нейтронов на мишень с делящимся изотопом. Интегральная эффективность детектора была равна 30 %. С помощью этого детектора было измерено среднее число мгновенных нейтронов для изотопов кюрия и америция при спонтанном и вынужденном делении. Погрешность измерений составила 1 %. Результаты были также представлены в Центр по ядерным данным.

По аналогии с первым многомерным экспериментом под руководством Ю.С. Замятина инженером-физиком Д.К. Рязановым совместно с сотрудниками отдела вычислительной техники и электроники был организован и проведён второй многомерный эксперимент, в котором третьим параметром был спектр нейтронов. Интерес физиков к такой постановке измерений был вызван ещё и тем, что, как показали первые двумерные измерения, разные осколки испускают различное число нейтронов, а причина такого эффекта была неизвестна. Эксперимент планировалось провести в пятом горизонтальном канале на пучке тепловых нейтронов. На первом этапе эксперимента были проведены прецизионные относительные измерения быстрой области нейтронных спектров деления изотопов урана-233, урана-235 и плутония-239 под действием тепловых нейтронов и спонтанного деления калифорния-252 в интервале значений энергии от 0,36 до 14 МэВ. Нижний порог устанавливался по гамма-квантам америция-241 с энергией около 60 кэВ. Для уверенной регистрации нейтронов с энергией до 14 МэВ пролётная база была выбрана равной 110 см, а пластиковый сцинтиллятор — размером 150 на 100 мм. За эталон принят спектр нейтронов спонтанного деления калифорния-252. Чтобы реализовать идеальный компараторный метод измерений, весь измери-

тельный тракт сделали одинаковым для эталона и делящегося изотопа. Для этого подложку с источником калифорния и мишень с исследуемым изотопом складывали вплотную и помещали в центр камеры, заполненной чистым аргоном. Фотоумножители располагали так, чтобы каждый видел вспышки от осколков только со своей стороны. Два спектра во временной шкале проходили общий тракт преобразования времени в амплитуду, а данные записывались в разных частях памяти анализатора (по 256 каналов на каждый спектр). Выбор памяти задавали сигналы от фотоумножителей. В результате спектры имели одинаковую временную шкалу, идентичные дифференциальные и интегральные нелинейности, одинаковые поправки на загрузку. Логарифм отношений двух спектров по всем каналам представлял линейную функцию, что делало наглядным сравнение спектров и упрощало математическую обработку. Результаты были переданы в Центр по ядерным данным и опубликованы в журнале «Атомная энергия».

На втором этапе эксперимента измеряли двумерные распределения кинетической энергии осколков деления перечисленных выше четырёх изотопов и спонтанного деления изотопа плутония-240. Цель работы — получить с малой статистической погрешностью энергетические характеристики реализуемых в спонтанном делении и делении под действием тепловых нейтронов способов разделения на осколки. Для плутония осуществлялось деление одного изотопа плутония-240, но при различной энергии возбуждения ядра, различающейся на 7 МэВ. Спонтанное и вынужденное деление изучалось по реакции  $^{239}\text{Pu} + n \rightarrow ^{240}\text{Pu}$ , где  $n$  — нейтрон. В качестве спектрометрического детектора осколков была применена двойная ионизационная камера с сетками, сконструированная специально для этих целей в Институте атомной энергии (г. Москва). Камеру наполняли смесью очищенных газов: азота (92 %) и углекислого (8 %) — до давления 39,2266 кПа (0,4 атм). В центре камеры помещали мишени с делящимися изотопами. Мишени представляли собой тонкие металлические кольца с органической позолоченной плёнкой, на которые наносили равномерным слоем несколько микрограммов делящегося изотопа. С целью улучшения разрешения по энергии предусматривалась небольшая степень коллимации осколков. Энергетическое разрешение по осколкам было оценено величиной  $\Delta E$ , равной около 1,5 МэВ. В конструкции камеры имелось два окна из тонкого листового алюминия для прохождения пучка нейтронов. При измерениях информация накапливалась в виде двумерного массива ( $E_1, E_2$ ) в памяти многоканального анализатора. Было накоплено достаточное количество событий деления: до  $10^7$  на каждый изотоп. Выполнена обработка для получения двумерного распределения в координатах «масса осколка — суммарная кинетическая энергия». В массовое распределение вносили поправки на разрешение по энергии осколков и испускание осколками нейтронов. Результаты были опубликованы в нескольких номерах журнала «Ядерная физика» и легли в основу кандидатской диссертации Д.К. Рязанова.

В третьем канале реактора СМ была выполнена ещё одна совместная со специалистами из Института атомной энергии, небольшая, но интересная фундаментальная рабо-

та по поиску эффекта несохранения чётности в реакциях деления. С этой целью внутри канала перед коллиматором был установлен специальный кристаллический фильтр, создающий поляризацию пучка тепловых нейтронов. Затем пучок направлялся на мишень с ураном-235. Осколки деления регистрировались по направлению поляризации и наоборот. Обнаружилось, что числа зарегистрированных осколков различаются в этих двух случаях. Это свидетельствовало о наличии эффекта несохранения чётности.

Под руководством кандидата физико-математических наук Н.И. Крошкина в этом же канале выполнена поисковая работа по формированию с помощью фильтров пучков моноэнергетических нейтронов. В качестве фильтра использовали чистые материалы из кремния, железа, скандия. Фильтры размещали внутри горизонтального канала. Были получены нейтроны в пучке с энергией, равной 2; 24; 55; 144 кэВ. При этих значениях энергии нейтронов были измерены сечения деления урана-235 и плутония-239. Для снижения фона применяли дополнительные фильтры из серы, алюминия, бора. На выходе пучок нейтронов формировался коллиматором, изготовленным из смеси парафина с карбидом бора, с отверстием для выведенного пучка диаметром 20 мм и длиной 1500 мм. Показана возможность формирования пучков с другими значениями энергии при использовании фильтров из других материалов.

В подразделениях института конструировали и изготавливали самые разнообразные ионизационные камеры с тонкими мишенями из делящихся нуклидов (изотопов урана и трансурановых элементов), в которых нейтроны пучка вызывали деление ядер, и изучали сопровождающие это деление процессы, испускание нейтронов и гамма-квантов, распределение осколков деления в зависимости от энергии, массы и т.д.

### **Измерение нейтронных сечений**

При активной поддержке Ю.С. Замятина сотрудниками Института теоретической и экспериментальной физики (г. Москва) в первом канале реактора СМ был смонтирован уникальный селектор нейтронов по времени пролёта с тремя синхронно вращавшимися в вакууме роторами, подвешенными в магнитном поле. В каждом роторе имелась узкая сквозная щель шириной 2–4 мм. Длина пролётной базы была равна 93 м. Нейтроны от селектора до детектора двигались по трубе, из которой откачали воздух. В конце пролётной базы был установлен детектор нейтронов, состоящий из большого числа счётчиков СМ-17, наполненных гелием-3. Наличие трёх роторов обеспечивало минимальный фон при измерениях. Электронная система регистрировала интервалы времени между моментом старта и моментом появления импульса от нейтрона. С помощью многоканального временного анализатора шкала энергии спектра нейтронов преобразовывалась в шкалу времени. Регистрируемый интервал значений энергии нейтронов можно было легко изменять путём изменения скорости вращения роторов. Управление работой анализатора в режиме «старт» осуществля-

лось электронным импульсом, который возникал в момент, когда сквозные щели в трёх роторах совпадали и путь нейтронов к детектору был открыт. Сигнал «стоп» вырабатывался после поворота роторов на  $90^\circ$  и учёта «мёртвого» времени регистрирующей аппаратуры. Селектор предназначался для измерения полных нейтронных сечений в диапазоне энергии от 0,01 до 1 кэВ для миллиграммового количества плутония, америция, кюрия и других радиоактивных ядер. Указанный интервал энергии нейтронов наиболее значим для реализации (n,  $\gamma$ )-реакций. Разрешение по энергии нейтронов зависит от числа оборотов роторов и ширины щели коллиматора на первом роторе. Легко достигалось разрешение 0,5–1 %, поэтому удалось измерить не только полные сечения, но и обнаружить много новых резонансов в сечениях и оценить их параметры. Сочетание высокой плотности нейтронов на входе селектора и его уникальных технических параметров позволили получить результаты, которые нашли признание в среде научной общественности и были представлены на всесоюзных конференциях и совещаниях по нейтронной физике и ядерным данным.

В сконструированном селекторе удачно использовалась высокая плотность нейтронного потока реактора СМ. Селектор позволял измерять полные нейтронные сечения элементов, навески которых составляли буквально микрограммы. К тому времени уже существовал атлас нейтронных сечений Брукхэйвенской лаборатории США, где содержались данные о сечениях всех более или менее известных и достаточно распространённых химических элементов, однако существовало большое «белое пятно» в области трансплутониевых элементов (изотопов америция, кюрия, калифорния и т.д.). Вот это «пятно» в течение нескольких лет устраняли прибывшая в институт в 1967 году Т.С. Беланова, которая была известным к тому времени специалистом по измерению нейтронных сечений, и её сотрудники. Условия для такого рода измерений были благоприятные, поскольку эти трансплутониевые элементы «нарабатывал» всё тот же реактор СМ, а выделяли — химики радиохимических лабораторий НИИАРа. Поэтому получить для измерений один-другой микрограмм редкого элемента не составляло большой проблемы. Работы по измерению полных сечений продолжались и после отъезда Т.С. Белановой обратно в Обнинск. За 15 лет эксплуатации селектора были получены уникальные данные о полных нейтронных сечениях десятков изотопов трансплутониевых элементов и продуктов деления. О результатах измерений научное сообщество регулярно информировали на всесоюзных и международных научных конференциях. Но наибольшее применение эти результаты получили в самом НИИАРе при расчётах режимов накопления далеких трансурановых элементов в реакторе СМ.

До начала первой реконструкции реактора СМ группой физиков во главе со старшим инженером В.А. Ануфриевым и инженером-электронщиком С.И. Бабичем были выполнены измерения, а также получено много ценной информации о полных сечениях и параметрах отдельных резонансов в сечениях. Все эти данные отправлены в Центр по ядерным данным для анализа и дальнейшего использования.

По инициативе Ю.С. Замятнина в экспериментах на селекторе получил развитие новый нейтронно-спектрометрический метод неразрушающего контроля необлучённых и облучённых в реакторе образцов посредством пропускания через них резонансных нейтронов в диапазоне значений энергии 0,1–50 эВ. В этом интервале у большинства делящихся тяжёлых ядер имеются характерные резонансные уровни. Метод был экспериментально обоснован и проверен Н.И. Крошкиным при определении количественного содержания урана-238, плутония-239, 240, 241, 242. Погрешность метода составляет 3–5 %, и рекомендуется его использовать при определении содержания делящихся ядер и редкоземельных элементов.

В третьем канале реактора СМ по инициативе специалистов из Института атомной энергии было начато масштабное изучение структуры радиоактивных ядер, в том числе и ядер трансурановых элементов, образующихся в  $(n, \gamma)$ -реакциях под действием тепловых нейтронов. С этой целью из Института атомной энергии был доставлен прецизионный магнитный спектрометр, позволявший измерять энергию конверсионных и комптоновских электронов с высокой точностью. Дискретные значения энергии конверсионных электронов отражают систему энергетических уровней возбуждённого ядра. После долгой и тщательной настройки спектрометра были проведены первые успешные измерения. Работу выполняла группа инженеров-физиков под руководством выпускника Московского государственного университета, старшего инженера В.М. Иванова. И хотя через несколько лет, после создания полупроводниковых детекторов на основе чистого германия с высоким энергетическим разрешением и разработки многоканальных анализаторов, магнитные спектрометры потеряли актуальность, в своё время с их помощью было получено огромное количество чрезвычайно ценных ядерных данных.

При активном участии кандидата физико-математических наук О.И. Иванова был организован участок нейтронно-активационного анализа. Для участка было создано специальное облучательное устройство, которое было оснащено пневмопочтой, изготовленной во Всероссийском научно-исследовательском институте радиотехники. Облучаемые образцы в термоустойчивых пластиковых контейнерах диаметром 12 мм вбрасывались внутрь реактора СМ (во второй канал) на доньшко облучательного устройства, которое могло перемещаться внутри бериллиевого отражателя. В конструкции была заложена возможность охлаждения облучаемых образцов. После заданного времени облучения контейнер с образцом отправляли в накопитель. А по истечении расчётного времени выдержки его пересылали на гамма-спектрометрию для измерения активности. Спектр гамма-лучей анализировали и обрабатывали по специальной программе. Результат обработки содержал список обнаруженных радионуклидов, и после калибровки по эталонным образцам рассчитывали в абсолютных единицах содержание каждого радионуклида в облучённом образце. Из-за высокой плотности потока нейтронов в месте облучения образцов удавалось достичь рекордной чувствительности анализа до  $10^{-8}$  г определяемого радионуклида на один грамм образца. Анализы проводились

инженерами-физиками В.В. Павловым и В.В. Личадеевым вплоть до начала последней реконструкции реактора. Был выполнен анализ нескольких тысяч техногенных, экологических и биологических проб.

В пятом горизонтальном канале ГК-5 предполагалось накапливать короткоживущие нуклиды и при помощи пневмопочты направлять их на измерительные установки. Куратором этих работ стал Н.Г. Кочерыгин, прибывший в НИИАР из Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики (г. Саров) и получивший там звание лауреата Сталинской премии. Для решения этой задачи стали искать эффективные детекторы бета- и гамма-излучения. По рекомендации сотрудников Института ядерной физики (г. Гатчина) на ремонтно-механическом заводе НИИАРа изготовили высокоэффективные детекторы бета-частиц типа «Апельсин». Чтобы исследовать пучки поляризованных нейтронов, в Институте атомной энергии для пятого горизонтального канала реактора СМ был изготовлен новый шибер с возможностью установки в нём кобальтовых зеркал.

### **Исследования в области ультрахолодных нейтронов**

В 1969 году в НИИАРе состоялся семинар по только что открытым ультрахолодным нейтронам. Возможность их существования и способ получения были предсказаны за несколько лет до этого известным советским физиком-теоретиком Я.Б. Зельдовичем. Член-корреспондент Академии наук СССР Ф.Л. Шапиро и его сотрудники А.В. Стрелков и Ю.Н. Покотилковский проводили семинар. Незадолго до приезда в НИИАР они экспериментально получили ультрахолодные нейтроны на импульсном реакторе в Дубне. Вероятность перехода нейтронов обычного спектра (теплового или промежуточного) в область ультрахолодных очень мала, и для получения заметного количества таких нейтронов, пригодных для проведения экспериментов, необходим реактор с очень высоким потоком нейтронов. Реактор СМ был в этом смысле идеальным и единственным в СССР, поэтому физики из Дубны приехали в Мелекес с предложением совместно создать канал для получения ультрахолодных нейтронов в реакторе СМ и проводить исследования с их применением.

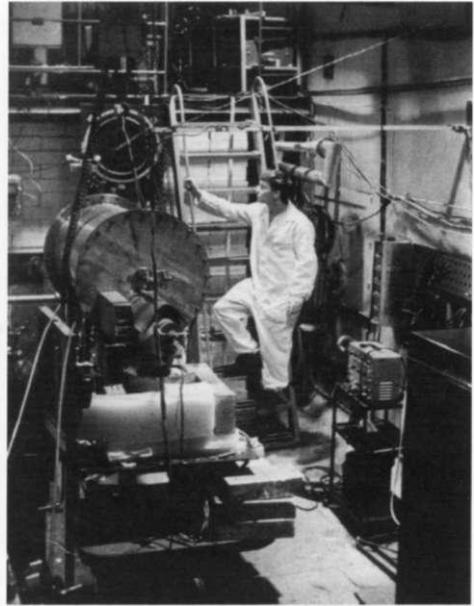
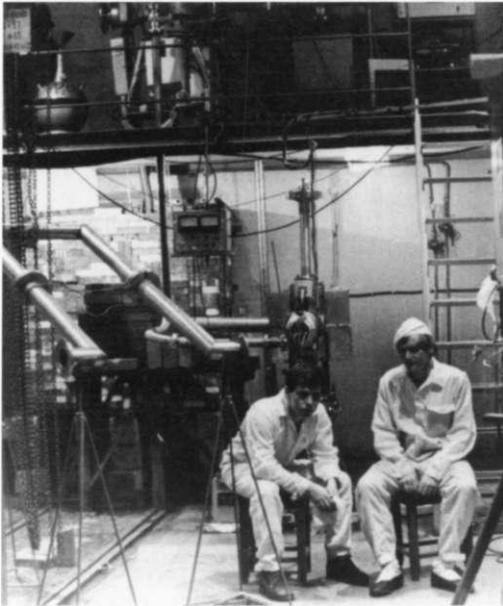
Внимание к ультрахолодным нейтронам было вызвано причинами фундаментального характера. Из-за малых значений энергии ультрахолодные нейтроны имеют совершенно необычные свойства, главное из которых — полное отражение от любой твёрдой поверхности (от «ядерной стенки»), а также от поверхности, созданной магнитным полем. А значит, имеется возможность накопления и хранения ультрахолодных нейтронов в стеночных и магнитных ловушках, проведения с ними уникальных измерений. Особенно привлекала возможность применения принципиально новых методик для измерения важных для фундаментальной физики характеристик нейтрона: периода его полураспада (времени жизни), заряда (до какой степени нейтрон нейтрален), наличия у нейтрона электрического дипольного момента. Интерес к перечисленным характеристикам «подогревался» бурным развитием в то время

кварковой модели строения элементарных частиц и работами по слабому взаимодействию (бета-распад): нейтрон — простейшая ядерная частица, состоящая из кварков и испытывающая бета-распад. Кроме того, физики-теоретики не исключали возможности иного способа распада нейтрона, отличного от бета-распада. Многочисленные экспериментальные определения этой характеристики, осуществлявшиеся различными исследователями, проводили до этого по существу одним и тем же методом: регистрировали продукты распада нейтрона (протоны или электроны) при прохождении пучка тепловых нейтронов через определённый объём. С применением ультрахолодных нейтронов эту задачу можно было решить совершенно по-другому: накопить ультрахолодные нейтроны в ловушке и измерить скорость их убывания во времени. Сравнивая значения периода полураспада, полученные различными методами, можно однозначно судить о достоверности этой характеристики. Для измерения заряда и электрического дипольного момента нейтрона существенным было то, что скорость движения ультрахолодных нейтронов (1–5 м/с) в сотни раз меньше, чем скорость тепловых нейтронов (2 200 м/с), а это в сотни раз повышает чувствительность применявшихся методов измерения этих величин.

В НИИАРе была сформирована группа физики ультрахолодных нейтронов, работавшая примерно в течение 15 лет. За это время проведено немало интересных, увлекательных и экзотических экспериментов с ультрахолодными нейтронами, которые во многом прояснили их физику и особенности взаимодействия с ядерными магнитными поверхностями. Руководил этой группой молодой кандидат физико-математических наук В.И. Морозов. В состав группы входили Ю.А. Кушнир, Ю.Ю. Косвинцев и Г.И. Терехов, которые по результатам исследований защитили кандидатские диссертации (В.И. Морозов — докторскую). Работы велись в тесном сотрудничестве с лабораторией нейтронной физики Объединённого института ядерных исследований (г. Дубна) под научным руководством академика И.М. Франка. Авторство многих идей, осуществлённых в экспериментах, невозможно было определить однозначно, так как они рождались в совместных обсуждениях и становились общими. Однако заметная часть идей и экспериментов, по общему признанию, была заслугой сотрудников НИИАРа. К ним относятся, например, эксперименты по взаимодействию ультрахолодных нейтронов с магнитным полем. Именно в НИИАРе был впервые проведён эксперимент по полному отражению ультрахолодных нейтронов от магнитной поверхности, именно в НИИАРе впервые в мире изготовлена магнитная ловушка для ультрахолодных нейтронов и проведены успешные эксперименты по накоплению в ней этих нейтронов. Технически это была довольно сложная работа, потребовавшая немалой настойчивости. Достаточно сказать, что в ловушке удавалось накопить только один нейтрон. При этом получилось измерить время хранения нейтрона, которое составило чуть более 40 с. Оказалось, что использование магнитных ловушек не очень перспективно, так как у нейтрона в результате ряда столкновений с магнитной поверхностью произвольно изменялся («переворачивался») спин, нейтрон переставал отражаться от поверхности, более того — ускоренно сквозь неё проходил. Более перспективными

оказались ловушки с ядерными «стенками», то есть с поверхностью из обычных материалов: алюминия, нержавеющей стали, меди, бериллия. В таких ловушках удавалось накапливать сотни, а чаще — десятки нейтронов и хранить их там в течение сотен и тысяч секунд. Можно сказать, что в НИИАРе впервые удалось наблюдать самые «пожилые» в мире нейтроны, которые в свободном состоянии «жили» более получаса.

Наибольшее значение времени хранения нейтронов было зафиксировано в ловушке, стенки которой покрыты замороженным льдом из тяжёлой воды. В таких стенках нейтроны вообще не поглощались и убывали из сосуда только в результате распада. Эксперименты по хранению ультрахолодных нейтронов, проведённые в городах Дубне, Димитровграде и Гатчине, показали, что, кроме бета-распада, других способов распада у нейтронов нет. Значение периода полураспада нейтрона, измеренное в Ленинградском институте ядерной физики (г. Гатчина) и Объединённом институте ядерных исследований (г. Дубна) при помощи методики хранения ультрахолодных нейтронов и составляющее  $(870 \pm 5)$  с, хорошо совпало со значением, полученным в Институте атомной энергии (г. Москва) с применением пучка тепловых нейтронов и равным  $(877 \pm 8)$  с. А значение, полученное в НИИАРе при первом использовании методики хранения ультрахолодных нейтронов, составляло  $(886 \pm 73)$  с.



В.И. Морозов и созданная его группой установка для получения ультрахолодных нейтронов

Долгое время потоки ультрахолодных нейтронов, получаемые на реакторе СМ, были рекордными по своей интенсивности (до 2 000 нейтронов в секунду), и поэтому значительную часть результативных экспериментальных работ с ультрахолодными нейтронами, осуществляемых в СССР, проводили именно в НИИАРе. Сюда регу-

лярно приезжали физики из Дубны, а с ними нередко были и зарубежные физики, с которыми широко сотрудничал Объединённый институт ядерных исследований. Например, болгарский профессор Н. Кашукеев и его ассистент Н. Чиков проводили на реакторе СМ эксперимент по измерению заряда нейтрона. Применяя для измерений ультрахолодные нейтроны, они установили, что если заряд у нейтрона есть, то он составляет не более  $10^{-20}$  от заряда электрона. Таким образом, болгарские физики уменьшили предельно возможное значение заряда нейтрона примерно в 100 раз (до проведения перечисленных работ предельное значение составляло  $10^{-18}$  от заряда электрона).

Наряду с болгарскими учёными в НИИАР приезжали физики из Франции, Вьетнама, Кореи, Румынии, Германии. Все они принимали участие в экспериментах с ультрахолодными нейтронами и вольно или невольно проходили традиционно российскую школу экспериментальной физики, сущность которой со времён выдающегося физика П.Н. Лебедева состоит в том, что физик сам себе «и швец, и жнец, и на дуде игрец». Забавно, что немецкий физик Матиас Хетцельт, многократно приезжавший в НИИАР, в первое время не мог понять, кто такие эти парни, с которыми он работает. С одной стороны, они обсуждают тонкости физики и проводимых экспериментов, с другой, сверлят отверстия во фланцах, чистят насосы, собственноручно сооружают многотонную защиту из чугунных и свинцовых кирпичей и красят её, ремонтируют и настраивают приборы. Однако постепенно он понял основной принцип российской экспериментальной физики, сформулированный академиком П.Л. Капицей: «Чужими руками хороший эксперимент не поставишь». И, кажется, Матиас Хетцельт с этим принципом согласился, так как вскоре также энергично складывал защиту, крутил болты гаечным ключом и даже подметал пол.

За годы исследований с ультрахолодными нейтронами физики, в том числе и физики НИИАРа, решили множество экспериментальных задач, без чего невозможно проведение экспериментов и осмысление их результатов. Это и вопросы транспортировки ультрахолодных нейтронов по нейтроноводам, и спектрометрия ультрахолодных нейтронов, и надёжное «запирание» их в ловушках, и многое другое, что со всеми тонкостями и особенностями поведения этих необычных нейтронов включает в себя понятие «физика ультрахолодных нейтронов». И основы этой физики закладывались не только в городах Дубне, Москве, Гатчине, Гренобле и Мюнхене, но и в Димитровграде. В настоящее время по ультрахолодным нейтронам написаны солидные монографии как отечественных, так и зарубежных авторов. В последнем издании известной монографии «Введение в ядерную физику» К.Н. Мухина\* специальный раздел посвящён ультрахолодным нейтронам, и заметная часть ссылок в этом разделе сделана на работы, выполненные в НИИАРе.

\* Мухин К.Н. Введение в ядерную физику: учебник для инженерно-физических и физико-технических вузов и факультетов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Атомиздат, 1965. — 720 с. — Прим. ред.

### 3.3. Отработка технологических процессов

*Спор может быть разрешён только опытом.*

Н.И. Вавилов

#### Испытания на реакторной установке ВК-50

Согласно проекту реакторная установка ВК-50 была предназначена для изучения комплекса проблем, связанных с эксплуатацией корпусного кипящего реактора с естественной циркуляцией теплоносителя. С течением времени объём экспериментальных задач расширялся, выходя за рамки проектного. И вот уже проводили исследования для обоснования работы атомных электростанций с реакторами ВВЭР, РБМК-1000, РБМК-1500; атомных электростанций нового поколения, таких как: РБМК-П-2400, АСТ-500, ВК-300; модернизации Ленинградской АЭС.

В истории реакторной установки ВК-50 условно можно выделить три этапа. На первом этапе эксплуатации реакторной установки (до 1969 года) изучали гидродинамические, нейтронно-физические и динамические характеристики реактора; работу систем автоматического регулирования и основного технологического оборудования: теплообменников, турбины, насосов, деаэраторов, арматуры и прочего; характеристики водного режима без коррекции; работу реакторной установки по непрямому (с парогенераторами) и прямому (без парогенераторов) циклам, а также в автономном режиме (с изменением нагрузки по суточному графику и с резким изменением нагрузки); поведение установки в переходных режимах (при срабатывании аварийной защиты, резких изменениях основных параметров) и нейтронно-физическую устойчивость кипящего реактора, вопросы радиационной безопасности.

Результатом этих исследований явилось:

- обоснование надёжной и устойчивой работы кипящего реактора при проектных параметрах;
- переход установки на работу только по прямому циклу (отключение трёх петлевых установок, парогенераторов);
- упрощение схемы, технологического контроля и автоматики реактора ВК-50 (например, исключение из схемы технологических конденсаторов, конденсаторов расхолаживания, систем разогрева и охлаждения узла уплотнения реактора);
- выявление потенциальных возможностей кипящего реактора в части интенсификации естественной циркуляции теплоносителя, выравнивания энерговыделения и улучшения сепарационных характеристик.

На втором этапе, с 1968 по 1976 год, исследования были связаны с расчётным и экспериментальным обоснованием возможности повысить мощность реактора и изучением характеристик реактора при повышенном уровне мощности. В этом направлении было предпринято:

- поэтапное улучшение гидравлических характеристик ТВС и контура циркуляции теплоносителя, что привело к повышению скорости циркуляции теплоносителя с 0,4–0,5 до 0,9–1,0 м/с;
- введение в конструкцию ТВС стержней с выгорающим поглотителем, что позволило уменьшить относительную неравномерность энерговыделения по высоте активной зоны реактора с 2,3 до 1,5–1,7;
- изменение сепарационной схемы.

Результатом выполненных изменений явилось повышение мощности реактора без увеличения размеров активной зоны до 256 МВт в экспериментальном режиме.

На третьем этапе, с 1976 по 2006 год, основное направление работ было связано с экспериментальным обоснованием характеристик и режимов эксплуатации промышленных атомных станций теплоснабжения как с кипящим, так и некипящим реактором. В широком диапазоне рабочих параметров были изучены теплогидравлические, нейтронно-физические и динамические характеристики реактора; пределы его нейтронно-физической устойчивости; поведение реактора в переходных режимах; радиолитическое разложение теплоносителя; накопление радиолитических газов в паровом объёме как в режиме кипения, так и без него; особенности кислородного водного режима. С 1984 года комплексно изучали характеристики реактора с увеличенным (с 2,2 до 3,0) водно-топливным отношением активной зоны и новой схемой перегрузки топлива. Увеличение водно-топливного отношения обеспечивало уменьшение загрузки необлучённого топлива, увеличивало выгорание топлива в ТВС и расширяло область устойчивой работы реактора.

Для обоснования реакторов типа РБМК было выполнено следующее:

- проведены коррозионные испытания конструкционных материалов реактора РБМК как в контуре реактора ВК-50, так и на специальных стендах;
- сооружён стенд, подключающийся к контуру реакторной установки ВК-50, для ресурсных испытаний турбонасосов типа ПТНА и ТЦН-307, проведены их испытания при различных режимах работы;
- испытана модель пароперегревателя турбин К-500;
- выполнены испытания отдельных элементов конструкции реактора: головки технологического канала, шарикового расходомера, механизма системы управления и защиты;
- проведены ресурсные испытания опытных ТВС реактора РБМК и их последующие исследования в радиационно-защитных камерах;
- в контуре реакторной установки ВК-50 сооружён специальный сепарационный стенд (СП-2100), на котором проведены испытания модели барабанов-сепараторов

(с проектной и усовершенствованной конструкцией внутрикорпусных устройств) реакторов РБМК-1000 и РБМК-1500, выданы рекомендации по усовершенствованию сепараторов для их использования в промышленных АЭС.

На всех этапах эксплуатации реакторной установки ВК-50 проводили исследования характеристик водно-химических режимов (гидразинного, без коррекции, а с 1978 года — кислородного), коррозионной и эрозионной стойкости различных конструкционных материалов, ресурсной стойкости ТВС в активной зоне (до шести-девяти лет), испытания высокотемпературных сорбентов для очистки реакторной воды. Было отмечено, что внедрение кислородного режима уменьшает вынос продуктов коррозии из контура в реактор и повышает коррозионную стойкость углеродистой стали.

После 1987 года существенное внимание уделяли исследованиям для обоснования безопасности реактора. Были введены в действие два независимых канала ввода борного раствора в реактор, система ввода борного раствора низкого давления, конденсатор аварийного расхолаживания, редуционно-охладительная установка со сбросом пара в конденсатор турбины. Также был выполнен комплекс работ по радиационной безопасности, а именно:

- разработана, испытана и внедрена в эксплуатацию установка очистки радиоактивных газовых выбросов кипящих реакторов;
- исследовано образование и распределение соединений азота-16;
- изучено распределение радиоактивных продуктов коррозии между теплоносителем, газом и поверхностями контура;
- исследованы неравновесные процессы выделения неконденсирующихся газов в конденсаторе турбины и деаэраторе;
- исследован уровень радиоактивности оборудования и радиационная обстановка в помещениях при работающем и остановленном реакторе;
- изучены эффективность выведения йода с помощью спринклерной установки, поведение форм соединений йода при поступлении его с паром в парогазовое пространство при температуре до 150 °С и давлении 0,3–0,4 МПа.

Полученные в результате исследований, проведённых на реакторной установке ВК-50, основные решения и разработки: всережимная естественная циркуляция теплоносителя, уменьшение теплонапряжённости ядерного топлива; использование внутренне присущих свойств безопасности реактора и активной зоны, уменьшение номенклатуры основного и вспомогательного оборудования и арматуры, очистка газовых выбросов на адсорбционных системах — позволили предложить реактор предельной безопасности для АЭС мощностью до 600 МВт.

В процессе развития атомной энергетики может быть поставлен ряд дополнительных экспериментальных задач, которые, без сомнения, также могут быть решены на реакторной установке ВК-50.

## Испытания на реакторной установке БОР-60

На реакторной установке БОР-60 выполнялась обширная программа испытаний различных типов парогенераторов типа «натрий — вода». С 1971 по 1974 год испытывали корпусной змеевиковый парогенератор, а с 1973 по 1980 год — прямой микромодульный парогенератор ПГ-1. К примеру, в 1979 году проводились эксперименты по изучению процессов взаимодействия натрия с водой в условиях малой и большой течи. Были проверены различные способы индикации течи, работоспособность и надёжность защитных систем, получен опыт по устранению последствий аварий. Результаты работ использованы при разработке микромодульного парогенератора для реактора БН-350.

Проводившиеся с 1978 по 1982 год испытания секционного парогенератора ПГ-2, предназначенного для реактора БН-600 и выведенного позже из эксплуатации, показали, что при длительной эксплуатации парогенераторов нельзя исключать возможность возникновения межконтурной неплотности. Если сквозной дефект возникает в трубке парогенератора обычной конструкции, то есть когда пароводяная смесь находится в трубках, а натрий — в межконтурном пространстве, происходит саморазвитие течи. Выяснилось, что этого можно избежать, если парогенераторы конструктивно будут выполнены таким образом, чтобы по трубам протекал натрий, а в межтрубном пространстве — пароводяная смесь. Эта идея нашла развитие в НИИАРе и была реализована совместно со специалистами Чехословакии: впервые в мировой практике был введён в эксплуатацию обратный парогенератор ОПГ-1. Опыт его разработки и эксплуатации показал, что для улучшения технико-экономических параметров такого парогенератора необходимо снизить металлоёмкость конструкции. Этот недостаток был устранён в парогенераторе ОПГ-2, введённом в эксплуатацию в 1991 году. Оба парогенератора успешно эксплуатируются и в настоящее время, а накопленный опыт по испытаниям парогенераторов является уникальным и представляет большую практическую ценность.

К 1967 году было завершено строительство комплекса зданий 103 и 103а, где были размещены экспериментальные стенды различного назначения. В 1968 году был смонтирован стенд для испытания работоспособности и надёжности арматуры большого диаметра для первого и второго контуров реактора БОР-60 в статических и динамических режимах. Здесь же был смонтирован стенд испытаний парогенераторов, предназначенный для проведения ресурсных и аварийных испытаний моделей парогенераторов и исследований их теплогидравлических характеристик, способов индикации течи в парогенераторе, а также для наработки опыта локализации и тушения горящего натрия. Всего было проведено испытание шести парогенераторов и четырёх модулей парогенераторов. В течение 1982–1983 годов стенд испытаний арматуры был реконструирован в натриевый метрологический стенд «ВИЗУС — КОРН», состоящий из двух стендов различного назначения, объединённых общей системой циркуляции и очистки натрия. Стенд «КОРН» использовался для проверки электромагнитных корреляционных методов измерения расхода натрия, испытания и тарирования

расходомеров различного назначения реакторов БОР-60, БН-350, БН-600, а стенд «ВИЗУС» — для испытания элементов системы звуковидения и получения аналогов оптического изображения предметов, находящихся под слоем натрия. В 1986 году стенд испытания парогенераторов был перепрофилирован для работ по усовершенствованию техники, связанной с натриевой технологией. Одной из важных работ, выполненных на стенде, являлось создание и испытание установки по регенерации «холодных» ловушек оксидов натрия с удержанием и утилизацией трития. Результаты этих испытаний позволили внедрить такие установки на реакторах БОР-60 и БН-600. Кроме того, на стенде проводили испытания автоматического индикатора примесей в натрии, автономных петлевых каналов реактора БОР-60 и другого оборудования.

Результаты работ и исследований, выполненных на экспериментальных стендах, позволили обеспечить безаварийную эксплуатацию реактора БОР-60 и внедрить разработки специалистов НИИАРа на реакторах БН-350 и БН-600. Успешно выполнить обширную программу исследований удалось благодаря труду таких высококвалифицированных руководителей и исполнителей, как Б.В. Кульпин, В.И. Кондратьев, В.С. Сроелов, Ю.В. Привалов, П.П. Бочарин, Ю.В. Чернобровкин, Г.К. Антипин, В.М. Соколов, А.М. Малышев, Л.А. Адамовский, Ю.Е. Штында, Б.В. Кебадзе, Е.Л. Ромадова. Был приобретён богатый опыт эксплуатации реакторной установки, ремонта оборудования, работающего в среде жидкого натрия, в том числе и радиоактивного; выполнена большая работа по совершенствованию систем, улучшению режимов работы установки, повышению её безопасности, а именно:

- разработан метод контроля плотности корпуса реактора;
- установлен реактиметр для контроля подкритичности;
- создана система контроля герметичности оболочек твэлов при работающем и остановленном реакторе;
- введены в эксплуатацию системы аварийного расхолаживания для случая максимальной проектной аварии;
- разработана и введена в эксплуатацию стационарная система очистки натрия первого контура от радионуклидов цезия;
- создана система регенерации «холодных» ловушек оксидов натрия и утилизации трития, накопленного в них;
- введена в эксплуатацию установка «ВИЗУС» для обеспечения контроля пространства между ТВС и поворотными пробками при перегрузке реактора;
- внедрён виброакустический диагностический контроль состояния оборудования реактора с возможностью определения дефектного элемента;
- испытаны и отработаны системы обнаружения течи воды (пара) в натрий в парогенераторах;
- разработана и успешно эксплуатируется теплофикационная установка производительностью 20 Гкал/ч, использующая отработанный пар турбины для отопления зданий и объектов института;

- проведено усовершенствование системы учёта и контроля ядерных материалов, а также физической защиты реактора;
- создана информационная система контроля технологических параметров реактора на современной элементной базе.

Большинство из перечисленных выше разработок выполнены впервые в отечественной практике и нашли своё применение на других реакторах. Успешная работа установки обеспечивалась высококвалифицированным эксплуатационным персоналом (Е.В. Борисюк, В.П. Кевролев, В.Н. Бритов, А.С. Корольков, В.Н. Марашев, Б.Н. Нечаев, Л.М. Левин, Е.В. Власов, Г.И. Лизин, И.И. Гринин, В.Н. Рыбаков). На реакторной установке БОР-60 стажировался персонал реакторов БН-350 и БН-600, проходили обучение специалисты из Франции, Индии и Китая.

Экспериментальная программа работ на реакторе БОР-60 была и остаётся достаточно насыщенной. До сих пор широко используются устройства для инструментальных экспериментов с доступом в активную зону: специальные термометрические пакеты, с помощью которых в режиме реального времени определяется поведение топлива, распределение энерговыделения, расход и температура в твэлах и ТВС при нормальных и аномальных режимах работы, а также уникальные инструментальные петли-ампулы с естественной и принудительной циркуляцией собственного теплоносителя для испытаний экспериментальных твэлов в стационарных и аварийных режимах вплоть до оплавления топлива.

Был разработан комплекс экспериментальных устройств для систем параметрической и шумовой диагностики реактора, изучения процесса возникновения и развития кипения натрия, а также для испытания материалов в различных средах при температуре от 300–330 до 800–1000 °С. Подробно были исследованы количественные и качественные характеристики радиоактивных источников загрязнения контура реактора, влияющих на радиационную обстановку, изучены закономерности их распределения, разработаны средства контроля и подавления активности с помощью абсорберов-ловушек «ЦЕНА», «МАВР». Специалистами подразделения Г.К. Антипиным, В.Н. Ефимовым, А.Н. Козолупом разработан и аттестован программный комплекс «ДИНБОР», позволяющий проводить расчётные исследования реактора в стационарных, переходных и аварийных режимах.

В рамках исследования топливного цикла проведены полномасштабные эксперименты по утилизации не только энергетического, но и оружейного плутония. Экспериментально проверена и подтверждена возможность эффективного выжигания младших актиноидов в спектре быстрых нейтронов, накопления высококачественного урана-233 из тория в боковом экране. После проведения соответствующих исследований получен уникальный опыт по накоплению радионуклидов стронция-89, гадолиния-153 с высокой удельной активностью.

Большой вклад в организацию и выполнение перечисленных выше работ в различные периоды внесли В.А. Афанасьев, В.Н. Ефимов, С.Н. Ещенко, А.А. Мынцов, С.А. Маркин, С.А. Ковальский, В.А. Неверов, Р.Р. Мельдер, Ю.Л. Ревякин, А.А. Тей-

ковцев, А.Н. Щучкин, В.И. Поляков, Н.В. Краснояров, В.Д. Кизин, Ю.В. Чечёткин, В.В. Коняшов, Д.И. Старожуков, В.П. Петухов. Ю.Л. Ревякин за участие в обосновании магнитогидродинамических генераторов стал лауреатом Государственной премии по науке и технике.

На основе опыта эксплуатации, исследований и разработки реактора на быстрых нейтронах, анализа его потенциальных возможностей можно констатировать, что такие реакторы:

- 1) обладают, во многом благодаря физическим, внутренне присущим свойствам, низкому давлению теплоносителя и отсутствию коррозионных явлений, более высоким уровнем безопасности по сравнению с водо-водяными реакторами;
- 2) являются радиационно безопасными реакторами с низким уровнем радиоактивных выбросов и воздействием на окружающую среду;
- 3) имеют высокий коэффициент полезного действия и дают меньшее тепловое загрязнение;
- 4) являются наиболее эффективными выжигателями долгоживущих актиноидов и любого плутония, в том числе оружейного;
- 5) могут накапливать уран-233 из тория для последующего использования в тепловых реакторах.

Высокую экономическую эффективность развития такого направления энергетики показывает и предварительная технико-экономическая оценка создания атомного топливно-энергетического комплекса с реакторами на быстрых нейтронах.

## **Испытания на реакторе АРБУС**

С целью изучения применимости ядерных реакторов с высокотемпературным органическим теплоносителем в качестве атомной станции теплоснабжения действовавший в институте реактор АРБУС в 1979 году был переведён в режим АСТ с выдачей тепла на обогрев зданий института. Это была первая атомная станция теплоснабжения в стране! Исследования полностью подтвердили предсказанные преимущества реакторов с высокотемпературным органическим теплоносителем, благодаря которым АСТ с таким теплоносителем более конкурентоспособны по сравнению с котельными, работающими на традиционном топливе. И это при значительно меньшей мощности, чем у АСТ с другими типами реакторов. Оптимальные экономические показатели таких атомных станций теплоснабжения находятся на уровне мощности 80–120 МВт, что позволяет использовать их при потребности в тепле в 200–400 МВт (два-четыре блока по 80–120 МВт). Теплофизические характеристики органических теплоносителей хуже, чем у воды, поэтому на прокачку такого теплоносителя необходима большая мощность, увеличивается поверхность теплообмена, ограничивается плотность потока тепла с поверхности твэлов. Но все это не оказывает существенного влияния на характеристики установок, так как при использовании дешёвых материалов затраты не сильно увеличиваются.

Основной недостаток высокотемпературных органических теплоносителей заключается в том, что при воздействии облучения молекулы теплоносителя разлагаются на легкие (газы), низкокипящие и тяжёлые фракции. Последние, опять же под действием облучения, полимеризуются и оседают на поверхности твэлов. В результате твэлы теряют работоспособность, выгорание урана в конце кампании, ограниченной из-за отложений теплоносителя, оказывается недостаточным, замены топлива становятся частыми. Прежде всего это относится к ТВС со вставленными друг в друга с небольшими зазорами кольцевыми твэлами. Такие твэлы использовали в реакторе АРБУС и проекте АТУ-15. Последующее изучение этого вопроса показало, что указанная трудность преодолима. В институте вместо трубчатых ТВС с твэлами дисперсионного типа с высокообогащённым ураном были разработаны ТВС со стержневыми твэлами, содержащими таблетки из диоксида урана, обогащённого всего до 3 %. Изменение геометрии проточной части ТВС и снижение относительной доли выходящего из твэлов излучения позволили увеличить в 2,5–3 раза продолжительность кампании топлива в реакторе, но выгорание топлива, хотя и сильно возросло, осталось недостаточным. Был определён радиационный выход продуктов термордиолиза дитолилметана в диапазоне массовой доли высококипящих фракций 0–30 %. Основными компонентами радиолиза легких фракций являются метан и водород, низкокипящих — толуол и ксилол, высококипящих — соединения с тремя и более бензольными ядрами. Изучение радиолиза высокотемпературных органических теплоносителей показало, что почти все они устойчивее, чем вода: на 100 эВ поглощённой энергии у большинства теплоносителей происходит 0,3 распада молекул против 4,5 и 12 распадов для воды и пара соответственно. Но продукты распада воды не препятствуют работоспособности твэлов, хотя требуют специального водно-химического режима и мер по предотвращению взрывов гремучего газа. В случае же с высокотемпературными органическими теплоносителями необходимы специальные меры. Главное здесь — обеспечить снижение поглощаемой теплоносителем энергии. Для этого необходимо применять плотные топливные композиции, избегать скопления больших объёмов органического теплоносителя, например из-за малой скорости его протекания, и возникновения застойных полостей, не использовать высокотемпературные органические теплоносители в качестве замедлителя, а только как теплоноситель. В конструкции реактора АРБУС и проекте АТУ-15 перечисленные требования не выполнялись. Для реакторов с высокотемпературными органическими теплоносителями были предложены следующие технологические меры:

- тщательная очистка теплоносителя от примесей, повышающих скорость радиолиза (хлор, кислород и некоторые другие);
- сдвух газов, удаление низкокипящих (повышающих упругость паров) и высококипящих (склонных к полимеризации) фракций;
- фильтрация полимеризованных фракций;
- подпитка контура «свежим» теплоносителем взамен удалённых радиолизных фракций.

Исследования отработавших ТВС реактора АРБУС, эксплуатировавшихся при проектных значениях энерговыработки, после длительного (28 лет) мокрого хранения показали, что разгерметизации твэлов не произошло, толщина оксидного слоя на оболочках равна 20–50 мкм, в застойных зонах — 200–400 мкм, зазоры между твэлами заполнены отложениями продуктов коррозии, а ресурс хранения ОТВС не исчерпан.

Наибольший вклад в развитие работ по АСТ с высокотемпературными органическими теплоносителями внесли Ю.В. Чечёткин, В.А. Куприенко, В.Д. Тетюков, В.А. Старков, А.И. Гаврилин, В.П. Почечура, В.П. Бурукин. Остаётся надеяться, что о достигнутых результатах не забудут, если в будущем вновь возникнет интерес к этим уникальным ядерным установкам.

### ***Технико-экономические исследования***

Потребность в технико-экономических исследованиях возникла ещё во времена, когда директор О.Д. Казачковский занимался вопросами экономики быстрых реакторов, а его заместитель В.А. Цыканов — вопросами экономики исследовательских реакторов. В 1972 году была создана лаборатория технико-экономических исследований, которую возглавил Е.В. Кириллов, отличительными качествами которого были тщательность в изучении технологий, обстоятельность своих предложений и методических подходов, высокая ответственность, пунктуальность и ровный, невозмутимый характер. В.А. Цыканов, создавший методику определения стоимости облучения для исследовательского реактора СМ, стал идейным руководителем лаборатории на все последующие годы её существования — до 1992 года. В этот период в лаборатории, численность которой не превышала 15 человек, проводились технико-экономические исследования по основным научным направлениям деятельности института, как-то: топливный цикл реакторов на быстрых нейтронах, производство трансплутониевых элементов, эксплуатация исследовательских реакторов, решались разные экономические задачи, в том числе и по созданию автоматической системы управления. Экономические исследования в области топливного цикла быстрых реакторов включали технико-экономические исследования процессов изготовления ядерного топлива и переработки отработавшего. Были созданы методики определения стоимости облучения для исследовательских реакторов БОР-60 и МИР.

Самой длительной работой были технико-экономические исследования по замыканию ядерного топливного цикла реакторов на быстрых нейтронах. Это были исследования по экономике пирохимической переработки отработавшего ядерного топлива, включая электрохимическую и фторидную технологии, и по технологии изготовления ТВС с уран-плутониевым топливом методом виброуплотнения. Альтернативой последней была традиционная таблеточная технология изготовления МОКС-топлива. Постепенно база данных для сравнения двух технологий по техни-

ческим и экономическим параметрам с выявлением преимуществ и недостатков каждой из них была создана. Актуальность технико-экономических исследований по этому направлению была очевидна. Преимуществом технологии, разрабатываемой институтом, являлось то, что топливный цикл становился короче на один передел, связанный с изготовлением таблеток. Конечным продуктом пирохимической переработки было гранулированное топливо, а не порошок после водной переработки, из которого ещё предстояло изготавливать таблетки. Большой интерес к подобным исследованиям проявляли иностранные партнёры: в девяностые годы в НИИАРе для японской фирмы «Тошиба» даже был подготовлен соответствующий отчёт по технологии изготовления МОКС-топлива методом виброуплотнения (авторы: О.В. Скиба, А.А. Маёршин, А.В. Бычков, Л.С. Демидова). С 1978 по 2010 год технико-экономическими исследованиями постоянно занималась Л.С. Демидова. Среди результатов работы лаборатории по направлению «Экономика топливного цикла с использованием реакторов на быстрых реакторах» — оценка стоимости изготовления МОКС-топлива с использованием пирохимического метода переработки и технологии виброуплотнения в динамике за годы развития технологии в сравнении с изготовлением таблеточного МОКС-топлива. Эта оценка по экономическим показателям также подтвердила конкурентоспособность технологии изготовления МОКС-топлива методом виброуплотнения и необходимость развития этого направления. Была также проведена работа по сравнению замкнутого ядерного топливного цикла реакторов на быстрых нейтронах, реализованного на основе централизованного завода и пристанционных топливных комплексов, которая показала предпочтительность второго варианта.

Технико-экономическими исследованиями по трансплутониевому и радионуклидному направлению в лаборатории занимались Т.В. Иванова, Р.В. Попова, Г.В. Коняшова. Был выпущен препринт «Методика сравнительной экономической оценки радиоизотопных нейтронных источников»\*. В.А. Шерин создал математическую модель послереакторных исследований. В основе её — идея эффективного использования радиационно-защитных камер отделения реакторного материаловедения с точки зрения сокращения конечных сроков исследований и затрат на них. Тема экономической эффективности была объединяющей для всех направлений научно-технической деятельности института. Были созданы и аттестованы методики по определению экономической эффективности выполняемых работ с учётом специфики института.

---

\* Е.В. Кириллов, Е.А. Карелин, А.В. Клинов, Ю.Г. Топоров. Методика сравнительной экономической оценки радиоизотопных нейтронных источников: препринт: НИИАР-18 (426). — Димитровград, 1980. — 13 с. — Прим. ред.

### 3.4. Получение, изучение, применение трансурановых элементов, их химических соединений и других радионуклидов

*Открытие новых явлений, новых связей между явлениями  
всегда порождает быстрое, буквально взрывное развитие науки,  
иногда совершенно новых её областей.*

А.П. Александров

Уникальная реакторная и радиохимическая база НИИАРа позволяет получать и перерабатывать практически все реакторные радионуклиды, доступные к настоящему времени, в том числе и трансурановые элементы, а географическое положение и наличие в институте парка специально оборудованных автомобилей и сертифицированных транспортных упаковочных комплектов — без задержки доставлять изотопную продукцию практически в любой уголок земли.

Такие направления научной деятельности института, как радиохимия трансурановых элементов и топливный цикл, сформировались в НИИАРе уже к 1965 году. Первое направление было изначально заложено ещё при создании радиохимического отдела. Идея работ по топливному циклу возникла позднее и принадлежит О.Д. Казачковскому. Именно им была поставлена задача научного обоснования и разработки короткого замкнутого цикла реакторов на быстрых нейтронах. Решить эту задачу можно было двумя методами переработки облучённого ядерного топлива: газофторидным и электрохимическим с использованием расплавленных солей. Развитие получили оба направления переработки. Газофторидный метод курировал главный инженер М.А. Демьянович, электрохимическое направление — О.Д. Казачковский. К тому времени наибольшие успехи в этой области были достигнуты в Институте электрохимии Уральского филиала Академии наук СССР (г. Свердловск). В результате переговоров с руководством этого института и физико-технического факультета Уральского политехнического института весной-летом 1964 года удалось решить кадровые вопросы. Из Института электрохимии на работу в НИИАР перешёл О.В. Скиба, возглавивший электрохимическую лабораторию, из Уральского политехнического института прибыли молодые специалисты Л.Г. Бабилов, П.Т. Породнов, В.И. Силин, Ю.П. Савочкин, Г.Н. Казанцев, В.П. Колесников и С.К. Вавилов. В.И. Силин занялся изучением электрохимического равновесия металлического плутония с расплавами солей, термодинамических свойств металлического плутония в расплавах хлоридов щелочных металлов, Ю.П. Савочкин — электрокристаллизацией диоксида плутония и его смеси с диоксидом урана, научно-

техническим обоснованием технологии получения смешанного уран-плутониевого оксидного топлива электролизом расплавов хлоридов щелочных металлов, П.Т. Породных — объёмным осаждением диоксида плутония, терморазложением плутонилхлорида и получением смешанных диоксидов урана и плутония, разработкой способа получения диоксида плутония разложением оксихлоридных соединений плутония в расплавах хлоридов щелочных металлов, Л.Г. Бабиков — процессом получения гранулированного порошка чистого диоксида плутония кристаллизацией из расплавов хлоридов щелочных металлов, кинетикой осаждения плутония как в чистом виде, так и в виде сплавов, Г.Н. Казанцев — взаимодействием урана и плутония с легкоплавкими металлами, разработкой неводных способов регенерации отработавшего ядерного топлива различного типа, Ю.С. Соколовский — расширением масштабов получения диоксида урана и регенерацией облучённого топлива, созданием лабораторных установок и стендов для демонстрации возможности реализации разрабатываемых методов получения и переработки оксидного уран-плутониевого топлива, В.П. Колесников — исследованием термодинамических и транспортных свойств актинидов в расплавах хлоридов щелочных металлов, С.К. Вавилов — кинетикой и термодинамикой взаимных валентных переходов урана и плутония в расплавах хлоридов щелочных металлов.

В начале 1966 года в журнале «Радиохимия» появилась статья А.Г. Рыкова и Г.Н. Яковлева «Окислительно-восстановительные реакции актинидных элементов. Кинетика реакции между нептунием (IV) и нептунием (VI) в перхлоратных растворах». Окислительно-восстановительные реакции играют большую роль в выделении и разделении трансурановых элементов, поскольку поведение их в различных системах зависит не только от химической природы актинида, но и от его валентного состояния. В течение двенадцати последующих лет было исследовано более сорока окислительно-восстановительных реакций в растворах хлорной и азотной кислот, органических и водно-органических средах. В журнале «Радиохимия» опубликовано более сорока статей, авторами которых, кроме названных выше, стали Н.Б. Блохин, В.Я. Васильев, В.А. Ермаков, Г.А. Тимофеев, А.А. Фролов, Л.М. Фролова, В.М. Чистяков. Проведённые исследования позволили разработать теоретические представления о дальнем переносе заряда при протекании окислительно-восстановительных реакций в растворах. Результаты исследований окислительно-восстановительных реакций полезны как с точки зрения теоретической, так и практической: они были необходимы для разработки технологических процессов выделения и очистки трансплутониевых элементов. Научный руководитель этих исследований А.Г. Рыков в 1972 году успешно защитил диссертацию на соискание учёной степени доктора химических наук. В 1967 году Г.А. Тимофеев защитил кандидатскую диссертацию — первую диссертацию, подготовленную по результатам работ, выполненных в радиохимическом отделении.

Экстракция является наиболее эффективным методом разделения и очистки элементов. Поэтому исследования экстракционных процессов применительно к трансплутониевым и сопутствующим им редкоземельным элементам заняли одно из центральных мест в научно-исследовательских работах по радиохимии. Всесто-

ронне была исследована экстракция трансплутониевых и редкоземельных элементов трибутилфосфатом из азотной и хлорной кислот и смеси этих кислот. Получена ценная информация о механизме экстракционных процессов, зависимости показателей экстракции от многих факторов: концентрации экстрагента, состава экстрагирующих растворов, концентрации экстрагируемых элементов. Большой объём информации получен в результате исследований экстракции трансплутониевых и редкоземельных элементов растворами ди(2-этилгексил)фосфорной кислоты из лимоннокислых и молочнокислых растворов. Изучены механизм и кинетика экстракционных процессов. Обнаружено, что в ряде случаев для разделения элементов можно использовать кинетический фактор. Определена зависимость экстракции трансплутониевых и редкоземельных элементов от концентрации экстрагента, состава растворителя, концентрации экстрагируемых элементов, кислотности (рН) растворов трансплутониевых и редкоземельных элементов, концентрации лимонной и молочной кислот. Полученные результаты позволили разработать оптимальный процесс разделения трансплутониевых и редкоземельных элементов, который в течение более пятидесяти лет успешно используется в НИИАРе для производства америция, кюрия, берклия и калифорния. Выполнен комплекс исследований процессов экстракции трансплутониевых элементов эфирами фосфоновых кислот. Полученная информация позволила решить технологические проблемы внутригруппового разделения этих элементов. В научных журналах опубликовано более сорока статей радиохимиков НИИАРа, посвящённых данной тематике. Большой вклад в исследования экстракционных процессов внесли Э.С. Баркетов, В.В. Воробьёва, А.А. Зайцев, Б.Н. Зайцев, Н.А. Иванович, В.А. Карасёва, Ф.Д. Касимов, В.Н. Кованцев, В.М. Лебедев, В.М. Николаев, В.Т. Филимонов, В.В. Шалимов.

Особенностью трансплутониевых элементов является их интенсивное альфа-излучение. В 1965 году при выделении плутония-238, имеющего высокую удельную альфа-активность, из облучённого нептуния-237 были выявлены валентные состояния плутония, которые не вписывались ни в какие известные схемы окислительно-восстановительных потенциалов. Аналогичная ситуация была и при наличии в продуктах трансплутониевых элементов берклия, имеющего в растворах трёх- и четырёхвалентное состояние. Наиболее отрицательное влияние альфа-облучение оказывает на плутоний. Под воздействием облучения легкоэкстрагируемый четырёхвалентный плутоний окисляется до трудноэкстрагируемого шестивалентного состояния. Исследования, выполненные в конце шестидесятых — начале семидесятых годов Н.Н. Андрейчуком, В.Я. Васильевым, В.И. Карасёвым, В.Б. Мишенёвым, В.М. Николаевым, С.В. Осиповым, позволили понять механизм и закономерности радиолитического окисления плутония и разработать способы стабилизации его в четырёхвалентном состоянии на всех стадиях экстракционного выделения и очистки. Экстракционные процессы сопровождаются ещё и радиолизом (разложением веществ под действием ионизирующего излучения) реагентов, используемых в технологии выделения трансплутониевых элементов. Исследования процессов радиолиза экстрагентов

и водных растворов проводили В.А. Ермаков, А.А. Фролов, В.И. Карасёв, В.Б. Мишенёв, В.М. Николаев. Важным результатом этих исследований явилось определение граничных условий по радиационным нагрузкам на экстрагенты. Полученная информация до сих пор используется при планировании и организации экстракционных процессов выделения трансплутониевых элементов.

Ключевой проблемой химической технологии выделения трансплутониевых элементов является разделение трансплутониевых и редкоземельных элементов. При близости свойств отдельных элементов свойства их комплексных соединений могут иметь существенное различие, что можно использовать для разделения элементов. Были исследованы процессы комплексообразования актинидов в нитратных растворах, трансплутониевых и некоторых редкоземельных элементов с фосфорной кислотой, её органическими производными, с карбоновыми кислотами и комплексонами, установлены корреляционные зависимости устойчивости комплексов, выяснены закономерности комплексообразования. В научных журналах опубликовано более пятидесяти статей по комплексообразованию трансплутониевых и редкоземельных элементов. Большой вклад в исследования комплексообразования внесли А.А. Елесин, А.А. Зайцев, Н.А. Иванович, В.А. Карасёва, С.Н. Кованцева, Е.М. Пискунов, А.Г. Рыков, Г.Н. Яковлев.

В 1966 году в рентгеноструктурной лаборатории И.И. Капшукова были начаты исследования по кристаллографии соединений трансурановых элементов, в аналитической лаборатории Ю.И. Грызина доработаны аналитические методики определения урана, плутония и трансплутониевых элементов в технологических пробах.

Неотъемлемой частью исследовательских работ в области радиохимии и производства радионуклидной продукции является аналитическая химия. Она даёт информацию о содержании тех или иных элементов в исследуемых системах, изотопном составе элементов, обеспечивает контроль технологических процессов выделения и очистки необходимых радионуклидов и паспортизацию радионуклидной продукции. Количественное определение плутония и трансплутониевых элементов часто связано с необходимостью выделения этих элементов из анализируемых сред. К концу шестидесятых годов прошлого века были разработаны эффективные методы экстракционного, экстракционно-хроматографического, ионообменного выделения плутония, америция, кюрия, берклия и калифорния из анализируемых проб, обеспечивающие достаточно полное извлечение и очистку от сопутствующих актинидов, редкоземельных и других элементов. Основными разработчиками указанных методов были Ю.И. Грызин, В.В. Грызина, П.Ф. Бакланова, Н.А. Владимирова, В.А. Гончаров, В.К. Дейкалов, Р.И. Китаева, В.Л. Крупкина, П.А. Привалова.

Для определения плутония и трансплутониевых элементов широко применялись радиометрические, масс-спектральные, кулонометрические методы. Радиометрические методы измерения альфа-, бета-, гамма- и нейтронного излучения являются основными при количественном определении содержания плутония и трансплутониевых элементов в анализируемых средах различных технологических объектов и оценке радиохими-

ческой чистоты препаратов. Для определения общей (объёмной) альфа-активности растворов и массовой доли плутония, америция, кюрия, берклия (по накоплению калифорния-249) и калифорния после отделения их от других альфа-излучателей хорошо освоены методы интегрального альфа-счёта (с учётом изотопного состава), а для анализа смесей альфа-излучателей — альфа-спектрометрический метод. В разработку, освоение и развитие радиометрических методов большой вклад внесли Н.Д. Кондаков, В.В. Иваненко, Ю.С. Попов, В.Г. Полюхов, Д.Х. Сруров, А.И. Кушнаренко. Для определения изотопного состава и содержания плутония и трансплутониевых элементов разработаны и освоены масс-спектральные методы. Наряду с высокой чувствительностью и точностью, большим достоинством этих методов является то, что при их использовании отпадает необходимость количественного выделения определяемых элементов из анализируемых образцов. Предложенный и разработанный В. Вик. Калыгиным высокоэффективный источник ионов позволил увеличить чувствительность масс-спектрометрических измерений и определять элементы на уровне  $10^{-10}$  г. Разработаны чувствительные методики масс-спектрального определения содержания плутония, трансплутониевых и редкоземельных элементов в образцах урана, плутония, америция, кюрия, берклия и калифорния. Если масса образца составляет 0,1–10 мкг, а массовая доля плутония в образце равна  $10^{-2}$  %, можно определять плутоний в америции и кюрии, при массовой доле  $3 \cdot 10^{-1}$  % можно определять плутоний, америций, кюрий в берклии и калифорнии, а редкоземельные элементы в берклии и калифорнии можно выявлять до значения массовой доли плутония, равной  $4 \cdot 10^{-2}$  %. Основными разработчиками масс-спектральных методов измерений плутония и трансплутониевых элементов были В.Я. Габескирия, А.П. Четвериков, В.В. Тихомиров, М.Н. Масленникова, В.М. Прокопьев. Для определения плутония, америция, берклия разработаны и методы автоматического кулонометрического титрования (Г.А. Симакин, Г.А. Тимофеев, Г.Ф. Кузнецов, А.В. Чернов, П.Ф. Бакланова). Разработан атомно-эмиссионный метод определения примесей: алюминия, бора, кальция, железа, хрома, магния, марганца, молибдена, натрия, никеля, палладия, кремния и других — в препаратах трансплутониевых элементов (В.М. Баринов, Н.А. Адайкин, Е.В. Савченко, В.И. Коновалов).

Начиная с 1972 года проводили систематическое изучение характеристик радиоактивного распада актинидов и лантанидов. К настоящему времени исследовано более сорока нуклидов. Уточнены или получены новые данные по периодам полураспада, энергии и интенсивности гамма- и рентгеновского излучения ядер, в том числе для актинидов от протактиния-233 до фермия-256. В научных изданиях опубликовано более пятидесяти работ. Полученные результаты используются для пополнения банка ядерных данных, расчёта рекомендуемых значений констант, более точного определения массовой доли радионуклидов. Основные исполнители работ — В.Г. Полюхов, Ю.С. Попов, Г.А. Тимофеев, П.А. Привалова, Д.Х. Сруров, И.Б. Макаров, В.Б. Мишенёв, В.В. Певцов, А.П. Четвериков.

Следует отметить, что в шестидесятых годах прошлого столетия радиохимическая аналитика применительно к трансплутониевым элементам, как и технологии их выде-

ления и очистки, только начинали развиваться. Поэтому трудно было ожидать, что за несколько лет все проблемы будут решены. Ускоренное развитие технологий выделения и очистки трансплутониевых элементов, получения их чистых препаратов и других радионуклидов, исследование свойств этих элементов и развитие работ по топливному циклу потребовало разработок новых методов анализа. Сотрудниками аналитической лаборатории (аналитического отдела) с начала семидесятых годов были разработаны и использовались на практике десятки других, кроме указанных выше, разнообразных методов анализа и исследования. Например, в спектральной лаборатории (позже группе), вошедшей в состав лаборатории инструментальных методов, были получены и исследованы эмиссионные спектры берклия и калифорния, измерены длины волн 92 линий берклия и 22 линий калифорния. На основе этого предложен прямой спектрографический метод определения 15 примесных элементов в их препаратах. Предложен также метод спектрального определения берклия на фоне количественного преобладания кюрия, церия и ряда других элементов (В.М. Баринов, В.И. Коновалов, Е.А. Ерин, Г.А. Тимофеев). Совместно со специалистами Высотехнологического научно-исследовательского института неорганических материалов разработан химико-спектральный метод определения 37 элементов-примесей в препаратах америция и кюрия, позволяющий снизить границу определения массовой доли примесей до  $10^{-4}\%$  (В.М. Баринов, Т.Я. Верещагин, Ю.И. Коровин). Разработан и успешно применяется метод спектрографического определения примесных элементов в оксидах и МОКС-топливе с применением фракционной дистилляции с носителем (В.И. Коновалов, О.Н. Васильева, Е.А. Ерин, Г.А. Тимофеев). Успешно применяется в НИИАРе и разработанный его специалистами метод определения неметаллических примесей: хлора, фтора, углерода — и воды в топливе перед загрузкой в твэл и в некоторых препаратах при паспортизации (Н.И. Кийко, Л.С. Коновалова, Е.А. Ерин, Г.А. Тимофеев).

Сотрудникам аналитического отдела также был разработан метод определения содержания источников альфа-излучения в объектах окружающей среды: почве, солевых рассолах пластов подземного захоронения жидких радиоактивных отходов, фильтрах из систем очистки воздуха. Разработка метода представляла собой сложную аналитическую задачу, поскольку была связана с необходимостью извлечения из пробы очень малого количества радионуклидов и отделения их от во много раз превосходящего количества разнообразных химических элементов (Б.И. Леваков, П.А. Привалова, Н.Ю. Незговоров, Ю.С. Попов, В.Б. Мишенёв, Г.А. Тимофеев). Используя этот метод, удалось измерить содержание плутония, америция, кюрия в почве санитарно-защитной зоны НИИАРа, солевых рассолах, жидких радиоактивных отходах из скважин подземного захоронения. На протяжении длительного времени эту работу выполняли Ю.В. Ефремов, П.А. Привалова, Н.Ю. Незговоров, Ю.С. Попов, Ф.Х. Сруров, Г.Ф. Кузнецов, В.А. Певцова, С.Н. Кованцева. Позднее эта методика была передана в отдел охраны окружающей среды. Радиохимический анализ пластовых вод наблюдательных скважин полигона подземного захоронения показал отсутствие миграции

радионуклидов. Анализ проб почвы из различных мест санитарно-защитной зоны НИИАРа и за её пределами свидетельствовал о том, что объекты института в результате своей деятельности не являются источником загрязнения окружающей среды.

В аналитической лаборатории разрабатывался также метод дистанционного контроля содержания источников альфа-излучения в технологических растворах с помощью погружных полупроводниковых детекторов на основе кремния. Детекторы изготавливали в отделе вычислительной техники и автоматики (В.В. Краюхина). Разработку, испытания и применение на реальных растворах технологического цикла проводили Н.Ф. Кондаков, В.В. Певцов, Н.И. Пушкарский, А.Н. Филиппов. Технологические растворы в производстве трансплутониевых элементов, как известно, являются сложными по нуклидному составу, а разрешающая способность детектирующих устройств была недостаточной для количественных альфа-спектрометрических измерений, поэтому метод не получил широкого распространения. Но он активно использовался для дистанционных измерений общей альфа-активности по ходу технологического процесса, что в значительной степени уменьшило поток проб, поступающих для анализа в оперативную группу лаборатории.

В лаборатории аналитического отдела выполнен большой комплекс исследований разрушающими радиохимическими методами отработавшего ядерного топлива, в том числе и полномасштабных сборок энергетических реакторов ВВЭР-440, ВВЭР-1000, РБМК-1000, реакторов на быстрых нейтронах БОР-60, БН-350 и БН-600. Эта работа выполнялась совместно со специалистами отделов материаловедческих исследований и исследования топлива. Из твэлов, подлежащих исследованию, отбирали образцы (вырезки) из разных мест по длине твэла и даже по его радиусу. Образцы поступали в радиационно-защитные камеры, где подвергались количественному переводу в раствор. Для определённой части этого раствора после радиохимических операций разделения и очистки радионуклидов проводили масс- и альфа-спектрометрические измерения. При масс-спектрометрических измерениях под руководством В.Я. Габескирия, а затем А.П. Четверикова применяли детально отработанный метод изотопного разбавления. По результатам прецизионных измерений изотопного состава и абсолютного количества нуклидов рассчитывали выгорание и радионуклидный состав в разных частях твэла. Перед повторными масс-спектрометрическими измерениями в подготовленный раствор вводилась комплексная метка (изотопы урана-233, плутония-242, неодима-148), по результатам определялось абсолютное количество радионуклида. Необходимо особо отметить, что радиохимическая подготовка и весь анализ выполнялся в соответствии со стандартами ASTM-E-244 и ASTM-E-321 Американского международного общества по испытанию материалов (American Society for Testing and Materials (ASTM)), утверждёнными и рекомендованными МАГАТЭ для исследований отработавшего топлива энергетических реакторов. Исследования выполнялись под руководством Г.А. Тимофеева и В.Б. Мишенёва, а затем А.П. Четверикова, а основными исполнителями были В.И. Борисенков, Ю.В. Ефремов, Н.Ю. Незговоров, В.В. Тихомиров, В.М. Прокопьев,

Ю.С. Попов. Техническое обслуживание масс-спектрометров МИ-1305, МИ-1311, МВ-3301 (электроника, вакуумная и охлаждающие системы) осуществлял Н.Д. Логинов. Исследования отработавшего топлива реакторов ВВЭР-440, ВВЭР-1000 продолжаются и в настоящее время, хотя и в значительно меньшем объёме (Е.А. Ерин, Н.Ю. Незговоров, А.Ю. Волков, В.Н. Куприянов, В.В. Куприянов, В.Н. Момотов, И.В. Целищев, А.Ю. Баранов).

В масс-спектральной лаборатории для создаваемого во Всесоюзном научно-исследовательском институте радиационной техники (г. Москва) времяпролётного масс-спектрометра был разработан способ изготовления тончайшей металлической плёнки из субмикrogramмового количества калифорния-252 — источника осколков деления (Н.П. Леонтьев, А.П. Четвериков). А под руководством В.Я. Габескирия была выполнена очень нужная и важная работа по измерению отношения числа делений к числу захвата ядрами исследуемых нуклидов урана-235, урана-338, плутония-239 в активной зоне реактора БОР-60. Изотопный состав урана и плутония в мишенях до и после облучения измеряли на масс-спектрометре МВ-3301. Число делений в мишенях урана-235 и плутония-239 определяли по накоплению изотопов неодима-145 и неодима-146 масс-спектрометрическим методом изотопного разбавления, число захватов в мишенях урана-338 — по накоплению плутония-239, число делений урана-338 — по накоплению цезия-137 также методом изотопного разбавления. Определяли и спектральные индексы для исследуемых нуклидов. Экспериментальные результаты позволили уточнить реальные параметры выгорания и накопления плутония, а также сравнить их с расчётными данными для реактора БОР-60 (В.Я. Габескирия, А.В. Инчагов, В.С. Прокопенко, Ю.Б. Новиков, В.М. Прокопьев, В.В. Тихомиров, А.П. Четвериков).

В аналитической, а затем лаборатории радиохимического анализа большую и важную работу выполняли сотрудники группы оперативного контроля технологий. В разное время группой руководили Б.П. Шереметьева, В.Н. Кованцев, Ю.В. Ефремов, Ю.П. Анохин. В эту группу поступали на анализ и исследование пробы с технологических установок и лабораторий. Здесь проводили подготовку материала к радиохимическим измерениям и передаче на анализ и исследования в другие лаборатории. В группе работали квалифицированные сотрудники В.А. Карелина, Л.И. Задоева, Т.И. Тучина, В.С. Кожина и другие, а сотрудники В.Н. Кованцев, Ю.В. Ефремов, Н.Ю. Незговоров, Ю.П. Анохин, П.А. Привалова, Г.Т. Мельникова, Н.А. Шевелева занимались не только оперативной работой, но и активно участвовали в разработке методов анализа, экспериментах по исследованию свойств трансплутониевых элементов и нуклидного состава отработавшего топлива.

Исследования по созданию пироэлектрохимической технологии получения гранулированного ядерного топлива и созданию перспективного замкнутого топливного цикла реакторов типа БН проводят в НИИАРе в течение последних сорока лет. Для получения гранулированного смешанного ядерного топлива в полупромышленном масштабе и изготовления из него виброуплотнённых твэлов и ТВС для реакторов на быстрых нейтронах, включая и БН-600, в конце восьмидесятых годов прошлого века

в химико-технологическом отделении НИИАРа был создан опытно-исследовательский комплекс. В составе его была установка грануляции топлива. Естественно, комплекс должен был иметь в своем составе и аналитическую лабораторию, имеющую набор соответствующего оборудования и соответствующих методик. Поэтому аналитический отдел радиохимического отделения, обеспечивающий уже на протяжении двадцати лет работы по получению и определению качества препаратов трансплутониевых элементов и исследовательские работы по топливной тематике, включился в разработку комплекса необходимых методик. Технология получения топлива требовала не только паспортизации всех фракций топлива, но и наличия устойчиво работающей системы аналитического обеспечения с круглосуточным контролем технологического процесса по определению содержания урана, плутония и америция в электролите на всех стадиях технологического процесса: хлорирования, электролиза, объёмного осаждения и перед выгрузкой электролита. За время создания опытно-исследовательского комплекса по производству гранулированного топлива в аналитическом отделе были разработаны методики паспортизации исходного и готового продуктов и аналитического контроля технологии получения топлива. В 1988 году сборник разработанных в институте методик прошёл экспертизу ведущих научных центров отрасли и был рекомендован секцией общей и аналитической химии научно-технического совета Минатома к использованию в работе. Разработчиками методик являлись Г.А. Тимофеев, В.М. Барин, Е.А. Ейскова, Е.А. Ерин, А.В. Инчагов, В.И. Коновалов, Б.И. Леваков, В.Б. Мишенёв, Ю.Н. Незговор, В.В. Тихомиров, А.В. Чернов, А.П. Четвериков, В.М. Чистяков.

В состав сборника вошли следующие методики:

1. Определение урана в пробах гранулированного смешанного топлива методом автоматического кулонометрического титрования (погрешность 0,4 %).
2. Прецизионное определение плутония в пробах гранулированного смешанного оксидного топлива методом автоматического кулонометрического титрования (погрешность 0,1 %).
3. Кулонометрический метод определения микроколичества влаги в оксидах.
4. Определение коррозионно-опасных элементов (фтора и хлора) методом пиролиза.
5. Газохроматический метод определения примесей углерода в оксидах топлива.
6. Спектрографический метод определения катионных примесей в оксидах топлива (погрешность до 20–40 %).
7. Спектрофотометрическое определение урана в продуктах грануляции топлива (погрешность до 10 %).
8. Радиометрическое определение плутония в оксидах и технологических продуктах грануляции топлива (погрешность до 10 %).
9. Гамма-спектрометрическое определение америция-241 в продуктах грануляции топлива (погрешность до 10 %).
10. Подготовка образцов проб к масс-спектрометрическим измерениям изотопного состава урана и плутония.

Во всех этих методиках были определены условия и последовательность проведения измерений, используемое оборудование, правила обработки результатов, оценки случайных и систематических погрешностей определений, пределы обнаружения анализируемых элементов.

В это же время для обслуживания опытно-исследовательского комплекса была создана аналитическая лаборатория контроля технологии топлива, которая успешно функционирует и до настоящего времени. Начальником лаборатории был назначен В.Б. Мишенёв, до этого работавший начальником лаборатории радиохимического анализа аналитического отдела радиохимического отделения, которая на начальном этапе работ на установке грануляции топлива осуществляла аналитический контроль технологического процесса. При непосредственном участии В.Б. Мишенёва было разработано техническое задание на проектирование лаборатории, концепция создания и функционирования которой разрабатывалась с учётом опыта работы лабораторий аналитического отдела радиохимического отделения. В.Б. Мишенёв курировал проектирование, изготовление, монтаж, наладку и пуск в работу защитного и аналитического оборудования. Состав новой лаборатории комплектовался из опытных сотрудников аналитического отдела. Руководителями групп стали Б.И. Леваков, В.В. Тихомиров, Е.В. Абушев, А.С. Бевз, В.И. Коновалов, А.В. Жуков. Перешли в лабораторию инженеры Г.Ф. Кузнецов и В.А. Певцова и опытные лаборанты: Г.М. Солозובה, В.М. Чернов, К.Т. Сенина, А.К. Василенко, Г.Ф. Галенко и другие. В работе по освоению аналитических методик и оборудования лаборатории принимали участие и многие другие сотрудники аналитического отдела радиохимического отделения, но наиболее весомый вклад внесли Г.А. Тимофеев, Е.А. Ерин, Ю.С. Попов, В.И. Коновалов, В.М. Чистяков.

Одним из важных показателей качества ядерного топлива является его кислородный коэффициент — отношение содержания кислорода к металлу (О/М). На первом этапе работы по получению уранового топлива для определения состава оксидов  $UO_{2+x}$  использовался рентгенографический метод, основанный на зависимости параметра кристаллической решётки нестехиометрического диоксида урана от состава отношения кислорода к урану. Среднеквадратическое отклонение этого метода составляло  $\pm 0,005$  отн. ед. О/М. В содружестве со специалистами ГДР позднее была разработана и прошла метрологическую аттестацию методика определения кислородного коэффициента смешанного топлива с использованием системы «Оксилит». Диапазон измерений в данной методике составлял 2,000–2,020 отн. ед. О/М. Имеющийся комплекс методик позволял определять в электролите содержание урана, плутония и америция, что давало возможность корректировать при необходимости параметры технологического процесса. Для определения герметичности корпуса графитового электролизёра позднее была разработана методика определения в расплаве свинца.

Гораздо позже, в 1998 году, когда НИИАР приступил к работе по конверсии оружейного плутония и использованию его для изготовления смешанного уран-плутониевого топлива для различных типов реакторов, потребовалось разработать методи-

ку определения массовой доли галлия, который входил в состав оружейного плутония и содержание которого не должно было превышать определённого значения, в технологических продуктах, в том числе и гранулированном топливе. Так была разработана методика спектрофотометрического определения содержания галлия. Лаборатория приняла активное участие и в работах по выполнению российско-американского контракта по консолидации высокообогащённого урана в низкообогащённый. Для выполнения контрактов по консолидации высокообогащённого урана в низкообогащённый и конверсии оружейного плутония лаборатория получила новое высокотехнологичное оборудование, например немецкий масс-спектрометр TRITON TI (погрешность 0,01–0,1 %) и американскую титриметрическую установку Девиса-Грэя (погрешность 0,2 %). Сотрудники лаборатории прошли обучение в Германии и получили соответствующие сертификаты на право работы на оборудовании. Было получено и несколько современных установок российского производства. Всё новое оборудование имело более высокие характеристики по производительности и, что особенно важно, по погрешности измерений в сравнении со старыми установками.

Всего за время эксплуатации опытно-исследовательского комплекса с 1987 по 2003 год на установке грануляции было изготовлено около шести тонн топлива различного состава. В лаборатории была проведена полная паспортизация около 700 проб готовых продуктов и проанализировано около 6 000 проб различных технологических продуктов! Следует отметить, что технологии получения топлива, особенно исходных материалов, не являлись постоянными и стабильными, что иногда превращало паспортизацию отдельной партии топлива в научно-исследовательскую работу.

В процессе получения смешанного топлива в одной из партий был проведён балансировый эксперимент. Определяли содержание урана и плутония в гранулированном топливе, оборотных продуктах и технологических отходах. Было определено 24 098 г урана и 6 036 г плутония при погрешности определения соответственно 80 и 20 г. Эксперимент показал хорошее совпадение (в пределах 0,2–0,3 %) определяемого количества ядерных материалов в исходных и конечных продуктах. Для сравнения результатов анализов, полученных в лаборатории НИИАРа, с результатами лабораторий других предприятий отрасли были проанализированы на содержание урана полностью две партии октаоксида триурана (закиси-окиси урана) из Производственного объединения «Маяк», содержащих в 50 контейнерах около 300 кг урана. Разница результатов составила 0,19 % при погрешности методик около 0,4 %. Хорошее совпадение результатов анализов исходного сырья с данными завода-изготовителя и хороший баланс продуктов с точностью до десятых долей процента демонстрирует достоверность системы аналитического контроля производства ядерного топлива в НИИАРе. Подобных экспериментов, подтверждающих хорошее совпадение результатов анализов лаборатории с измерениями в лабораториях других предприятий, было достаточно много.

В 2003 году лаборатория прошла отбор среди аналитических лабораторий научно-исследовательских институтов и предприятий Минатома и завоевала право проведения

аттестационных измерений содержания плутония в стандартных образцах диоксида плутония, которые были изготовлены в Физико-энергетическом институте имени А.И. Лейпунского (г. Обнинск). Работа проводилась в рамках соглашения между Россией и США. Организация-заказчик разработки стандартных образцов — Национальная лаборатория Калифорнийского университета Лос-Аламоса. Координатор и исполнитель программы в России — Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара (г. Москва). Среди четырёх лабораторий Минатома, которые должны были подтвердить результаты измерений, была лаборатория аналитического отдела радиохимического отделения НИИАРа — лаборатория В.М. Чистякова. Лаборатория химико-технологического отделения также проводила ещё и подтверждающие измерения изотопного состава плутония в стандартных образцах. Обе лаборатории успешно справились с порученной работой. Подтверждающие измерения других лабораторий показали корректность выполнения аттестационных измерений содержания плутония в стандартных образцах, проводимых лабораторией химико-технологического отделения, а участие в работе по аттестации стандартных образцов оксида плутония наших лабораторий показало высочайший уровень проведения аналитических работ в НИИАРе, высокий профессионализм всех исполнителей структурных звеньев, устойчиво работающее аналитическое оборудование. Руководили работой начальники лабораторий: В.М. Чистяков и В.Б. Мишенёв (на первом этапе работы), В.В. Тихомиров. Самой высокой похвалы достойны лаборант-радиохимик В.М. Чернов и инженер Г.Ф. Кузнецов. В 2004 году лаборатория прошла аккредитацию в Высокотехнологическом научно-исследовательском институте неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара и подтверждает её постоянно. В настоящее время в лаборатории используется пятнадцать методик и три технологических инструкции. Методики прошли аттестацию, имеют соответствующие свидетельства, четыре из них имеют статус отраслевой инструкции. С 2009 года лабораторию возглавляет С.В. Феоктистова.

Многие работы, выполненные в аналитической лаборатории, а затем в лаборатории аналитического отдела, являются новаторскими. Их результаты широко представлены на союзных, российских и международных конференциях. Более 200 научных трудов опубликованы в отечественной и зарубежной периодической печати. В аналитическом отделе на постоянной основе проводился семинар, где рассматривались все без исключения научные работы, представленные для опубликования в научных журналах в виде статей и на конференциях в виде докладов. Это позволяло сотрудникам расширять свой научный кругозор, повышать профессиональный уровень. В настоящее время сотрудники аналитического отдела продолжают работать в других подразделениях института, участвуя в решении поставленных перед ними задач и передавая свой богатый опыт более молодым коллегам.

В аналитической практике, как в любой экспериментальной работе, большое значение имеет строгая, объективная оценка достоверности получаемых результатов.

С этой точки зрения представляет интерес рассмотрение общих результатов многолетней работы лабораторий аналитического отдела по измерению ядерно-физических констант (периодов полураспада, энергии и интенсивности гамма- и рентгеновских квантов) изотопов трансурановых и редкоземельных элементов и сравнении их с усреднёнными рекомендуемыми международными данными. Сравнение показало хорошее совпадение полученных в НИИАРе и рекомендованных величин констант. Это свидетельствует о том, что используемые в лабораториях отдела методы глубокой очистки препаратов (экстракция, хроматография, осаждение и т.д.), а также все инструментальные измерения и процедуры подготовки к ним (альфа-, гамма- и масс-спектрометрия, кулонометрия, спектральные методы и другие) не содержат значимых систематических и случайных погрешностей (неопределённостей). Это подтверждает также высокую квалификацию сотрудников, участвующих в этих исследованиях во всех лабораториях отдела. Кроме основных исполнителей, указанных выше, значительный вклад внесли Ю.В. Ефремов, В.Н. Кованцев, П.Ф. Бакланова, Г.Т. Мельникова, Н.К. Шевелева, В.Вик. Калыгин, В.И. Борисенков, Н.Ю. Незговоров, В.И. Куприянов, А.А. Баранов.

В рентгеноструктурной лаборатории выполнен большой объём работ по синтезу и изучению различных кристаллических соединений урана и трансурановых элементов. Синтезированы и исследованы нитраты и фосфаты урана, карбонаты и фосфаты нептуния, плутония, америция (Ю.Ф. Волков, Г.И. Висящева, Р.Ф. Мелкая, В.И. Спиряков, С.В. Томилин, В.Г. Батраков), а также хлориды, иодаты, оксалаты (И.И. Капшуков, Ю.Ф. Волков, Г.И. Висящева, Л.В. Судаков, Е.В. Шимбарев, А.Ю. Баранов, Н.В. Лялюшкин, С.В. Томилин). Большое внимание было уделено изучению оксидов плутония-239, плутония-238, юрия-244, фазового состава и структуры топлива, получаемого электрохимическим способом. Установлены тип и параметры кристаллической решётки соединений, механизмы фазовых превращений, степень влияния собственного излучения на структуру и физико-химические свойства (И.М. Капшуков, Ю.Ф. Волков, С.В. Томилин).

Большой цикл работ, выполненных в содружестве с Нижегородским государственным университетом (профессор Орлова А.И.), по синтезу и исследованию фосфатных соединений актинидов позволил не только установить закономерности их образования, структуру, термическую и химическую устойчивость, но и показал возможность и целесообразность их использования в качестве матриц для иммобилизации радиоактивных отходов с целью длительного хранения и захоронения (Ю.Ф. Волков, А.И. Орлова). Важным научным достижением было установление состава и строения комплексных соединений пяти- и семивалентного нептуния (Ю.Ф. Волков, С.В. Томилин). Установлены ионные формы существования семивалентного нептуния. Эта работа выполнялась в тесном сотрудничестве с Институтом физической химии Академии наук СССР (Н.Н. Крот), её результаты вошли в международную базу дифракционных данных Объединённого комитета по стандартам порошковой дифракции (Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS)).

В марте 1967 года Е.П. Славский утвердил комплексный план по энергетическим изотопам, в соответствии с которым в НИИАРе были начаты работы по созданию производства трансплутониевых элементов до калифорния-252 включительно. В работах по трансплутониевым элементам были задействованы и другие подразделения института. В отделе исследовательских реакторов были изучены и проверены условия и скорость накопления различных трансплутониевых элементов при облучении соответствующих стартовых материалов в реакторе СМ. Этими работами занимались В.А. Цыканов, Ю.П. Кормушкин, Б.А. Залётных, А.В. Клинов. Проблемы изготовления мишеней для накопления трансплутониевых элементов решались в отделе материаловедения (Ю.В. Чушкин, Г.А. Стрельников, В.И. Зинковский, Е.А. Крылов, Е.К. Ионов, Н.С. Косулин, В.Н. Сюзёв).

В октябре 1968 года была введена в эксплуатацию установка УР-1. Первоначально на установке проводили переработку плутониевых блоков, изготовленных из высокофонового плутония и облучённых в промышленном реакторе. Такие блоки уже перерабатывали в Физико-энергетическом институте, результаты работы докладывались на совещании комиссии по трансплутониевым элементам Министерства среднего машиностроения и были ею одобрены. Поэтому в НИИАРе комиссия рекомендовала использовать разработанную и проверенную в ФЭИ технологию. Она была основана на совместной экстракции плутония и трансплутониевых элементов раствором диизоамилового эфира метилфосфоновой кислоты. В общей сложности с 1968 по 1970 год было переработано около восьми килограммов облучённого плутония. К концу 1968 года выделены первые десятки граммов тяжёлых изотопов плутония (смесь изотопов плутония с массовой долей плутония-242 около 45 %), а в начале 1969 года — первые пять граммов кюрия-244, из которого в отделе материаловедения был изготовлен кюриево-бериллиевый источник нейтронного излучения с выходом нейтронов  $2 \cdot 10^9$  в секунду. Источник успешно использовался для проведения нейтронно-активационным методом анализа горных пород на содержание фтора, алюминия, кремния. Тяжёлые изотопы плутония возвращались на облучение в реакторе СМ с целью получения плутония-242, америция-243 и кюрия-244. В ходе переработки на установке плутониевых блоков технологическая схема претерпела существенные изменения. Для извлечения и аффинажа плутония стали использовать другой экстрагент — триалкиламин. Это значительно повысило извлечение плутония. Для разделения трансплутониевых и редкоземельных элементов было предложено использовать, так называемый талспик-процесс, основанный на использовании экстрагента — ди(2-этилгексил)фосфорной кислоты. Эти нововведения значительно улучшили общие технологические показатели процесса переработки плутониевых блоков.

В 1972 году была проведена химическая переработка пятидесяти граммов облучённого америция-241, из которого выделено около десяти граммов уникального изотопа кюрия-242, обладающего высоким удельным энерговыделением за счёт альфа-распада, и около десяти граммов плутония с массовой долей плутония-238,

равной 77 %. Из кюрия-242 в отделе материаловедения был изготовлен экспериментальный источник тепла «Вега» тепловой мощностью около 1 кВт. После завершения испытаний через год из него было выделено более пяти граммов плутония-238 высокой изотопной чистоты (99,8 %) биомедицинского назначения. Полученный плутоний был передан во Всесоюзный научно-исследовательский институт радиационной техники, где впервые в СССР был использован для изготовления стимуляторов сердечной деятельности. Изучение характеристик двух препаратов плутония показало, что оба препарата без ущерба для здоровья человека могут быть использованы для биомедицинского назначения и что для получения плутония-238 биомедицинского назначения совсем не обязательно проводить дорогостоящую, химически сложную переработку высокоактивных растворов с кюрием-242, а дожидаться его распада и проводить выделение плутония по относительно простой, отработанной схеме. О важных результатах работы по получению препаратов кюрия-242 и плутония-238 было сообщено мировому научному сообществу в 1975 году на международном XI Менделеевском съезде (В.И. Карасёв, Е.А. Карелин, В.Б. Мишенёв, В.М. Николаев).

Наряду с переработкой на установке УР-1 облучённого плутония проводили работы по созданию технологической установки для выделения калифорния-252 из облучённых америция и кюрия. В 1968 году в лабораторных условиях А.А. Зайцевым и В.Т. Филимоновым были выделены берклий-249 и калифорний-252 в количестве нескольких микрограммов. В 1970 году на пилотной установке было получено уже 100 мкг калифорния-252 для исследовательских целей, а в 1972 году выделен 1 мг калифорния-252. Основными участниками этих работ были А.А. Зайцев, А.П. Феофанов, Г.И. Кузнецов, Н.С. Курочкин, В.Т. Филимонов. Из выделенного калифорния в отделе материаловедения изготовлено двадцать опытных источников нейтронного излучения с выходом нейтронов от  $3 \cdot 10^6$  до  $2 \cdot 10^7$  в секунду для геологоразведочных работ (Г.А. Стрельников, В.И. Зинковский).

Стационарная установка УР-3 для выделения калифорния-252 была введена в действие в 1973 году. Основной вклад в создание этой установки внесли Н.С. Курочкин, В.И. Карасёв, П.П. Крылов. С вводом установки УР-3 и доработкой отечественной технологической схемы в радиационно-защитных камерах в НИИАРе было организовано крупнейшее в Европе производство калифорния-252 и источников нейтронного излучения общепромышленного назначения. За короткое время было разработано более десяти видов малогабаритных источников общепромышленного и медицинского назначения с выходом нейтронов до  $2 \cdot 10^{10}$  в секунду. Наибольшее применение источники общепромышленного назначения нашли в геологии и нефтяной промышленности. К 1980 году потребителями таких источников были около сорока геологических предприятий и экспедиций страны. С помощью калифорниевых источников решались такие задачи, как элементный анализ пород разведочных и промысловых скважин (железо, ртуть, бор, литий, марганец и др.), элементный анализ геологических проб (серебро, золото, уран, медь и др.), контроль технического состояния скважин. Большую работу

по внедрению и использованию источников нейтронного излучения на основе калифорния-252 в геологии выполнил Всесоюзный научно-исследовательский институт ядерной геофизики и геохимии. Источники нейтронного излучения на основе калифорния-252 нашли применение на ряде предприятий черной и цветной металлургии: они использовались для элементного анализа проб руды нейтронно-активационным методом (золото, серебро, медь, уран) и технологического контроля (в том числе в потоке и на транспортёрной ленте). В других отраслях промышленности источники оказались полезными и эффективными для инженерно-технических изысканий в строительстве, определения влажности и плотности строительных материалов, калибровки и градуировки приборов контроля делящихся материалов в твэлах и многих других работ. О полученных в институте научных результатах в деле получения калифорния-252 было доложено в 1976 году на международном симпозиуме по калифорнию-252 в Париже (Ю.С. Замятнин, Ю.П. Кормушкин, Е.А. Карелин, А.В. Клинов, В.И. Карасёв, В.Б. Мишенёв, А.Г. Рыков, Ю.Г. Топоров). Технологическая схема получения, выделения и очистки калифорния-252, в том числе и аппаратурное оформление, была полностью разработана, обкатана и доведена до рабочих параметров в НИИАРе. За время функционирования в НИИАРе производства источников нейтронного излучения на основе калифорния-252 такие источники были поставлены более чем ста предприятиям и организациям России и стран ближнего зарубежья, потребности которых были полностью обеспечены. Немалый интерес к источникам, выпускаемым в НИИАРе, проявляли и страны дальнего зарубежья: Австралия, Англия, Венгрия, Германия, Китай, Чехия и другие страны. Источники нейтронного излучения общепромышленного назначения отмечены одной золотой, двумя серебряными и шестью бронзовыми медалями Выставки достижений народного хозяйства СССР. В 1988 году на 60-й Познаньской ярмарке (Польша) нейтронные источники общепромышленного назначения на основе калифорния-252, произведённые в НИИАРе, также были отмечены золотой медалью.

В 1975 году выпущена первая партия штырьковых источников нейтронного излучения на основе калифорния-252 для внутритканевой терапии. Научным руководителем работ был В.И. Карасёв, основными исполнителями — В.Л. Беркутов, Ю.С. Медведев, В.В. Шалимов, Н.А. Владимирова, В.И. Зинковский, В.Н. Сюзёв. В 1976 году приказом министра среднего машиностроения НИИАР был признан головным предприятием по разработке конструкции и технологии изготовления источников нейтронного излучения на основе калифорния-252 и кюриево-бериллиевых композиций. В этом же году начат выпуск гибких источников нейтронного излучения для внутритканевой терапии под руководством опять же В.И. Карасёва. Основными исполнителями были В.Л. Беркутов, Ю.С. Медведев. В 1977 году была завершена разработка и освоен выпуск источников нейтронного излучения на основе калифорния-252 для внутрисполостной терапии. Научным руководителем работ был Я.Н. Гордеев, основными исполнителями — всё те же В.Л. Беркутов, Н.А. Владимирова, В.И. Карасёв, Ю.С. Медведев,

В.В. Шалимов, В.И. Зинковский и В.Н. Сюзёв. Работы по внедрению источников медицинского назначения велись в тесном сотрудничестве со специалистами Всесоюзного научно-исследовательского института радиационной техники (г. Москва), Института медицинской радиологии (г. Обнинск). Освоение калифорниевых источников в медицине выполнялось в рамках государственной программы клинического изучения радиоактивного препарата калифорния-252. За весь комплекс работ по созданию производства калифорния-252 и источников на его основе для промышленности и медицины сотрудникам института: Я.Н. Гордееву, В.И. Зинковскому, В.И. Карасёву, Е.А. Карелину, А.В. Клинову, В.Б. Мишенёву, Г.А. Тимофееву, Ю.Г. Топорову, В.Т. Филимонову, В.М. Николаеву — в 1996 году присуждена Премия правительства Российской Федерации в области науки и техники.

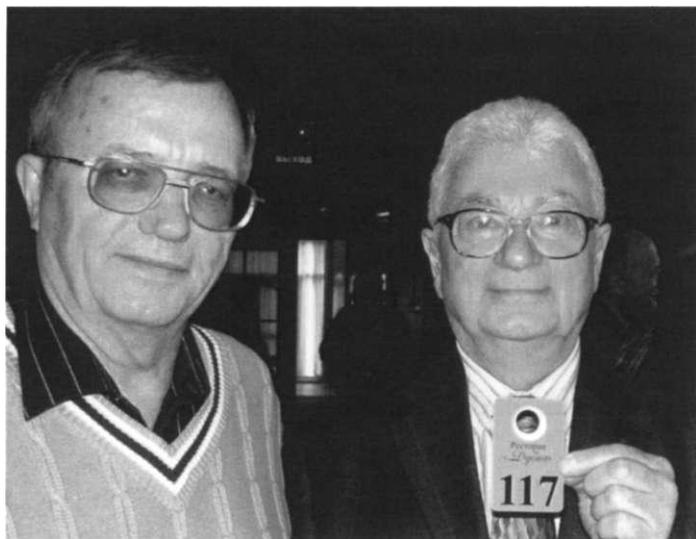


Диплом и знак лауреата Премии правительства Российской Федерации в области науки и техники за создание производства калифорния-252 и источников на его основе

В 1975 году получена первая партия препарата кюрия-248, образующегося в препаратах калифорния-252 в результате его альфа-распада. Основные участники работы — Е.А. Карелин, В.И. Карасёв, В.Б. Мишенёв, Л.С. Голосовский, В.Я. Васильев, Е.А. Ерин, В.В. Копытов. Препарат был передан в Объединённый институт ядерных исследований, где он использовался для синтеза курчатовия. Эта передача положила начало многолетнему сотрудничеству институтов в области синтеза сверхтяжёлых элементов. В последующие годы НИИАР регулярно поставлял в ОИЯИ препараты трансплутониевых элементов, из которых там изготавливали мишени для синтеза сверхтяжёлых элементов. В 1996 году в НИИАРе была освоена технология изготовления составных элементов, которые отправлялись в ОИЯИ для сборки мишеней. Изготовление элементов — тонкая филигранная работа. Она заключается в нанесении слоя актинида на титановую фольгу толщиной всего полтора микрона и обеспечении прочной фиксации его на подложке. Элементы мишеней должны быть устойчивыми к воздействию длительного облучения (до года) на циклотроне У-400 тяжёлыми ча-

стицами — атомами кальция-48 и другими. Элементы мишеней, изготовленные в НИИАРе на основе америция-243, кюрия-248, берклия-249, калифорния-249, использовали для синтеза элементов 113, 114, 115, 116, 117, 118. Основной вклад в разработку и освоение технологии изготовления элементов мишеней внесли В.М. Радченко, М.А. Рябинин, Н.Н. Андрейчук, Л.С. Лебедева.

В августе 2012 года в Центральном доме учёных Российской Академии наук состоялась торжественная церемония «крещения» элементов под номерами 114 и 116. Это событие привлекло внимание как отечественных учёных, среди которых было более 30 действительных членов Российской академии наук, так и зарубежных коллег из США, Германии, Франции, Японии и 18 стран-учредителей ОИЯИ.



Михаил Александрович Рябинин и Юрий Цолакович Оганесян (слева направо) на торжественном заседании, посвящённом открытию элемента 117

В указанной церемонии участвовал и начальник радиохимической лаборатории отделения радионуклидных источников и препаратов М.А. Рябинин. Открыл церемонию вице-директор Объединённого института ядерных исследований М.Г. Иткис. Вспоминая историю открытий элементов 114 и 116, академик Ю.Ц. Оганесян выразил признательность всем, кто был к этому причастен, подчеркнув весомый вклад сотрудников НИИАРа. Затем президент Международного союза теоретической и прикладной химии профессор К. Тауми торжественно объявил, что элемент 114 официально должен

называться флеровием (Fl), а 116 — ливерморием (Lv). В 2016 году завершена процедура по установлению приоритета в получении элементов 113, 115, 117, 118. Они получили свои названия: нихоний, московий, теннессин, оганесон.

В семидесятых годах прошлого века исследования фундаментальных свойств трансплутониевых элементов: валентных состояний, окислительно-восстановительных потенциалов — продолжают и расширяются. Укрепляется сотрудничество с научными институтами (Институт атомной энергии, Институт органической химии Академии наук СССР, Институт геохимии и аналитической химии). Основной вклад в эти исследования вносит лаборатория инструментальных методов аналитического отдела.

Большое достижение в химии актинидных элементов — получение и изучение их необычных валентных состояний в водных растворах. Успешными были экспери-

менты по получению кюрия и калифорния в четырёхвалентном состоянии в водных растворах фосфорвольфрамата калия (Г.А. Тимофеев, Е.А. Ерин, В.В. Копытов, В.И. Андреев) и электрохимическому получению четырёхвалентного калифорния в растворах карбоната калия (Е.А. Ерин, Г.А. Тимофеев, В.М. Чистяков).

В 1978 году впервые в мире получен кюрий в шестивалентном состоянии. Кюрий, как известно, впервые был получен в 1944 году в США (Г. Сиборг и др.). Первые экспериментальные попытки получить кюрий в высших валентных состояниях (V или VI) были предприняты авторами открытия этого элемента и рядом других американских учёных, однако они успехом не увенчались. Расчётные исследования российских и американских учёных указывали на возможность существования шестивалентного кюрия в устойчивой форме. По мнению российских учёных, неудачи прежних попыток американских химиков получить кюрий в высших валентных состояниях окисления связаны с тем, что исходным валентным состоянием было трёхвалентное — кюрий (III). В этом случае переход кюрия (III) в кюрий (VI) затруднён двумя обстоятельствами: высоким потенциалом пары Cm (IV)–Cm (III) и, возможно, малой устойчивостью кюрия (V). Российскими учёными был избран иной путь, исключаящий эти затруднения и основанный на использовании бета-распада как окислительного процесса. Идея эксперимента состояла в следующем: если получить соединение америция (V), содержащее ионы  $\text{AmO}_2^+$ , с бета-радиоактивным изотопом америция, то после бета-распада его дочерний продукт будет существовать в форме «горячего» иона прежнего материнского состава, но с зарядом, возросшим на +1, то есть пройдёт реакция  $\text{AmO}_2^+ \rightarrow \text{CmO}_2^+$  ( $\text{Am (V)} \rightarrow \text{Cm (VI)}$ ). Для практического осуществления такой реакции наиболее удобным как по величине периода полураспада (16,07 года), так и по относительной доступности является изотоп америций-242. Предварительная оценка выхода шестивалентного кюрия при таком методе позволяла надеяться на положительный результат эксперимента. В качестве исходного соединения америция (V) был получен двойной карбонат с калием  $\text{K}_3(\text{AmO}_2)(\text{CO}_3)_2$ , содержащий америций-241, 242, 243 с массовой долей 92,0; 1,4; 6,6 % каждого изотопа соответственно. В предварительных опытах были отработаны методы выделения кюрия-242, полученного в результате распада. Проведённый эксперимент увенчался успехом: шестивалентный кюрий был получен!

Выполнен большой объём работ по определению окислительно-восстановительных потенциалов обратимых пар ионов трансплутониевых элементов (например, Bk (IV)–Bk (III), Am (VI)–Am (III) и т.д.), разработан высокочувствительный кулонометрический метод, не требующий количественного превращения изучаемого элемента в окислённую или восстановленную форму. С использованием этого метода были определены потенциалы многих десятков пар ионов трансплутониевых элементов в различных средах: хлорной, азотной, серной, фосфорной кислотах, водных растворах карбонатов натрия и калия, фосфорвольфрамата калия. Полученные результаты полезны для прогнозирования термодинамической возможности протекания различных окислительно-восстановительных реакций трансплутониевых элементов, оценки

сходства и различия в химическом поведении этих элементов. Основными участниками указанных работ были А.Г. Рыков, Г.А. Симакин, Г.А. Тимофеев, И.В. Матяшук, Н.А. Владимирова, А.А. Баранов, Е.А. Ерин, В.В. Копытов.

В конце семидесятых годов в институте были начаты работы по получению и исследованию свойств металлов, интерметаллидов и сплавов актинидов. Продиктовано это было возрастающим интересом к изделиям из них. Актиниды в виде металлов, интерметаллидов и сплавов более удобны для хранения и транспортирования и экологически безопасны. Кроме того, такому радиоактивному материалу можно придать любую форму. Восстановлением оксидов актинидов металлическими торием или лантаном в начале восьмидесятых годов были получены в виде металлов плутоний, америций-241, 243, кюрий-244, 248, берклий-249, калифорний-249, определены структура металлов, параметры кристаллических решёток, значения металлического радиуса, рентгеновской плотности. Для берклия определены коэффициенты термического расширения при температуре от  $-180$  до  $+17$  °С. Первые эксперименты по получению бинарных соединений проводили с использованием благородных металлов: платины, палладия, иридия, родия. Технология получения интерметаллидов заключалась в нанесении радионуклида на подложку из благородного металла способом электрохимического осаждения или высокотемпературной конденсации паров актинида и последующем отжиге при температуре  $1\ 100$  °С в восстановительной атмосфере (высокоочищенный водород). В 1980 году впервые в СССР синтезированы интерметаллиды америция и кюрия с платиной и палладием состава  $Pt_3M$ ,  $Pd_5M$ , где  $M$  — металл (америций, кюрий), а в 1981 году — интерметаллиды берклия и калифорния. Изучено влияние времени, температуры, степени чистоты водорода на результаты синтеза. Разработаны методики элементного анализа получаемых соединений. В последующие годы синтезированы интерметаллиды америция с иридием, родием, никелем, кремнием и другими элементами, установлены типы структуры интерметаллидов и определены параметры кристаллических решёток, а также исследовано влияние самооблучения на кристаллическую структуру интерметаллидов кюрия-244. Сплавы актинидов с другими металлами получали методом конденсации паров актинида на подложке из соответствующего металла. Так были получены сплавы америция и кюрия с платиной, палладием, иридием, родием, алюминием, медью, изучены их свойства. Результаты исследований нашли практическое применение. Они позволили разработать технологию изготовления источников альфа-излучения на основе кюрия-244, источников осколков деления на основе калифорния-252, источников бета-излучения на основе никеля-63, источников гамма-излучения на основе америция-241. Наибольший творческий вклад в работы по получению и изучению свойств металлов, интерметаллидов и сплавов актинидов внесли В.Я. Васильев, В.М. Радченко, Л.С. Лебедева, М.А. Рябинин, А.Г. Селезнёв, В.Д. Шушаков, Р.Р. Дроздник.

В 1994 году работа «Фундаментальные исследования в области металлов и сплавов трансурановых элементов» была отмечена Государственной премией Российской Федерации в области науки и техники. Среди лауреатов пять сотруд-

ников НИИАРа — В.Я. Васильев, В.М. Радченко, Н.С. Косулин, А.Г. Селезнёв, В.Д. Шушаков. Дипломы и знаки лауреатов им в Кремле вручил президент Российской Федерации Б.Н. Ельцин.



Вручение В.М. Радченко диплома и знака лауреата Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники президентом России Б.Н. Ельциным

В июне 1984 года объединённой группой радиохимиков и материаловедов (В.В. Васильев, В.М. Радченко, А.Г. Селезнёв, Н.С. Косулин, В.Д. Шушаков) впервые в СССР и Европе получен в металлическом состоянии калифорний-249 и проведены первичные исследования этого металла.

В 1986 году по заказу Института космических исследований (г. Москва) в НИИАРе под руководством В.М. Радченко были начаты разработки открытых источников альфа-излучения. На 1988 год была запланирована отправка к Марсу космических станций «Фобос-1» и «Фобос-2». В составе научной аппаратуры на них предполагалось разместить альфа-протонно-рентгеновские спектрометры (APXS), оснащённые источниками альфа-излучения, для проведения элементного анализа поверхностных пород спутника Марса. Предстояло разработать два типа источников: один для анализа пород методом обратного альфа-рассеивания, а также методом спектрометрии протонов, образующихся по (n, p)-реакции (тип А); второй — для анализа методом рентгеновской флуоресценции (тип Б). К источникам предъявлялись высокие требова-

ния: малые габариты, высокая интенсивность потока альфа-частиц, способность сохранять спектрометрические и механические свойства при длительном пребывании в земных и космических условиях (до двух лет), а также после значительных вибрационных и ударных нагрузок. Наиболее приемлемым методом изготовления источников, удовлетворяющих указанным требованиям, был метод высокотемпературной конденсации паров металлического кюрия на различных подложках. В качестве подложек использовали полированные пластины из металлов платиновой группы (платина, иридий, родий) и кремния. По результатам исследований в качестве материала подложки был выбран кремний. Высокое удельное содержание кюрия в силицидах  $\text{CmSi}_2$ ,  $\text{Cm}_2\text{Si}_3$ ,  $\text{CmSi}$ ,  $\text{Cm}_5\text{Si}_3$  позволяет получать источники с достаточно высокой активностью и малой шириной альфа-линии. Ресурсные испытания источников при хранении в вакууме и на воздухе, воздействии на них вибрации, удара, ускорения в условиях различной температуры и атмосферы дали положительные результаты. Целостность источников сохранилась, их спектрометрические характеристики не изменились. И в 1988 году к Марсу были направлены станции «Фобос-1» и «Фобос-2». В составе научной аппаратуры был и спектрометр APXS с источниками альфа-излучения, изготовленными в НИИАРе. К сожалению, ни одна из этих станций не долетела до цели. Следующий проект «Марс-96» предусматривал высадку на Марс двух малых автономных станций. На этих станциях также имелись спектрометры APXS, для которых был разработан

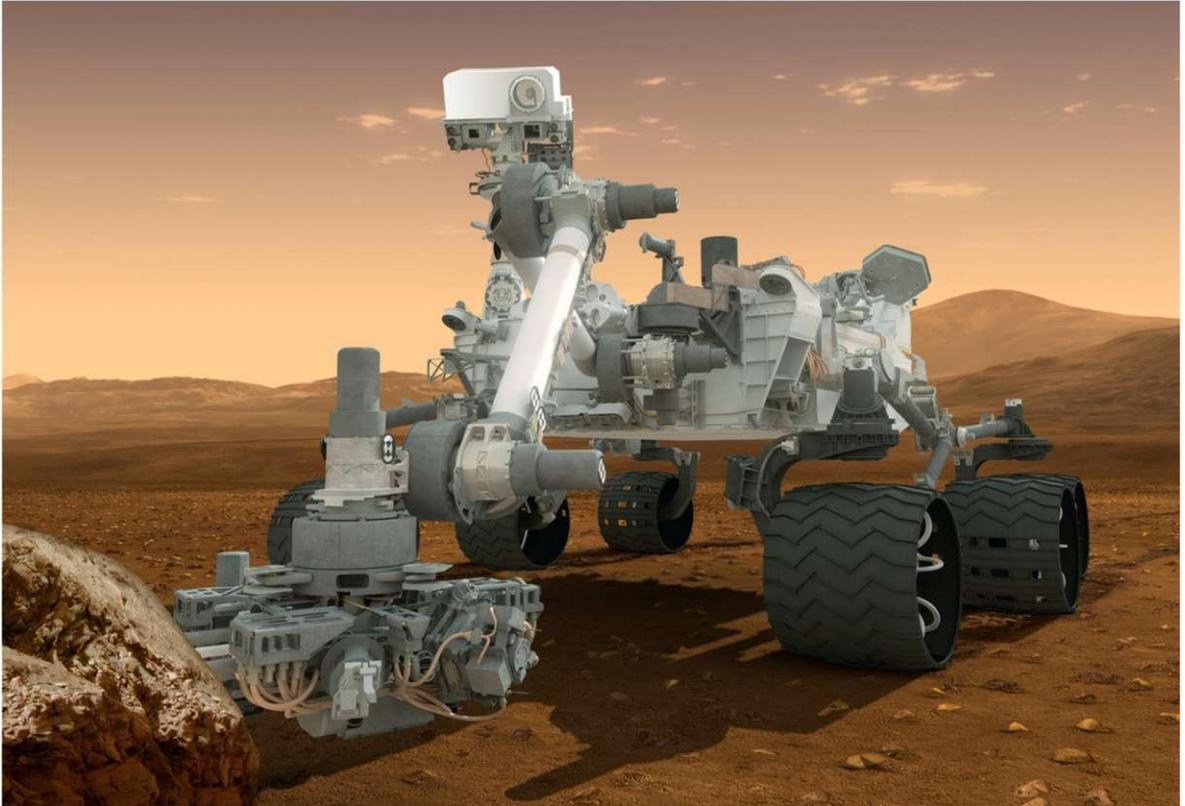


Внешний вид марсохода «Оппортьюнити»

новый тип источников альфа-излучения, более надёжный и превосходящий своего предшественника по некоторым характеристикам. Этот проект также постигла неудача, но всего через несколько дней к Марсу была отправлена американская станция «Марс Патфайндер», которая также была оснащена спектрометром APXS с нииаровскими источниками. Эта станция свою миссию выполнила успешно: вместо запланированных двух недель работы она проработала в течение трёх месяцев! В начале 2004 года на Марс были доставлены два американских марсохода «Спирит» и «Оппортьюнити». За длительный период работы (около двух лет) на Землю было передано большое количество высококачественных снимков и значительный объём полученной с помощью нииаровских источников альфа-излучения ценной научной информации об элементном составе поверхностного слоя Красной планеты, а марсоход «Оппортьюнити» работает на поверхности Марса и по сей день. Шестого августа 2012 года на поверхности Марса в кратере Гейда совершил посадку космический аппарат Марсианской науч-

ной лаборатории — американский марсоход «Кьюриосити». Это самый большой робот-исследователь из всех, которые отправлялись на Красную планету. Масса аппарата — 900 кг. Масса комплекса из 10 научных приборов — 75 кг. Входящий в их состав спектрометр APXS также оснащён источниками альфа-излучения, изготовленными в НИИАРе.

Научные труды доктора химических наук В.М. Радченко получили широкую известность и принесли заслуженную славу нашей стране и институту. В знак признательности за его вклад в освоении дальнего космоса мировое научное сообщество в 2000 году признало его «Человеком года Земли».



Внешний вид марсохода «Кьюриосити»

В 1990 году были начаты исследования по нанесению защитного покрытия из пиролитического хрома на источники типа А, у которых активная часть имеет толщину 0,2 мкм. Процесс осуществлялся при термическом разложении смеси бисаренхромоорганических соединений (препарат «Бархос»). Изучалось влияние различных факторов (температура процесса, добавки к препарату «Бархос», кратность операций) на качество покрытия. Была разработана и изготовлена установка для облучения альфа-частицами различных, в том числе полупроводниковых, материалов. Установка была оснащена комплектом экспериментальных закрытых источников альфа-излучения. В 1996 году

она была применена для облучения с целью исправления дефектов 4 000 кремниевых пластин, используемых на заводе «Искра» (г. Ульяновск) для производства мощных транзисторов. Это позволило большую часть забракованных пластин вернуть в производство и повысить выход готовых изделий. Основной вклад в разработку и изготовление источников альфа-излучения внесли В.М. Радченко, М.А. Рябинин, Л.С. Лебедева, В.Я. Васильев, В.И. Васильев, Е.Н. Ширяев, В.Д. Гаврилов.

В 1981–1983 годах успешно проведена переработка 1,2 мг облучённого калифорния-252 и впервые в СССР выделены в количестве нескольких микрограммов эйнштейний-253 и 254, а также фермий-257.

В начале 1987 года в институт поступил первый запрос на поставку источников фотонного излучения на основе гадолиния-153. Этот изотоп обладает уникальными ядерно-физическими свойствами. Он является комбинированным излучателем рентгеновского (энергия 43 кэВ) и гамма-излучения (97,4 и 103 кэВ). Благодаря этим свойствам источники излучения на его основе эффективны для рентгенофлуоресцентного анализа цветных и редких металлов, дефектоскопии тонкостенных изделий и некоторых микросхем. Низкоэнергетическое гамма-излучение используется для диагностики заболеваний лёгких. Дифференциальное поглощение рентгеновского и гамма-излучения радионуклида успешно используется в костных денситометрах для определения плотности костной ткани и диагностики костных заболеваний. Самым простым способом получения гадолиния-153 является облучение нейтронами в ядерном реакторе обогащённого гадолиния-152. Но удельная активность гадолиния-153, полученного таким способом, не превышает 926 ГБк/г (25 Ки/г), в то время как для изготовления источников с необходимыми ядерно-физическими свойствами требуется гадолиний-153 с удельной активностью не менее 1 850 ГБк/г (50 Ки/г). Поэтому в НИИАРе было решено получать гадолиний-153 облучением природного европия. К середине 1987 года в лабораторных условиях В.М. Лебедевым и В.Я. Васильевым из облучённого европия была выделена первая порция гадолиния-153. Были изготовлены первые два источника активностью 37 ГБк (1 Ки) каждый. В 1988–1989 годах проведены клинические испытания двух вновь изготовленных источников в ортопедическом центре Г.А. Илизарова (г. Курган) и Институте медико-биологических проблем (г. Москва), которые дали положительные результаты. В соответствии с постановлением Совета Министров СССР от 12.08.1988 г. № 997 «О первоочередных мерах по повышению технического уровня, увеличению производства изделий медицинской техники и улучшению обеспечения ими учреждений здравоохранения» в СССР собирались организовать производство костных денситометров с использованием источников излучения на основе гадолиния-153. В марте 1990 года утверждена «Программа по созданию инженерно-технической базы для получения препаратов гадолиния-153 и изготовления источников излучения на его основе», в соответствии с которой А.В. Клиновым, Ю.Г. Топоровым, В.А. Тарасовым, А.В. Мамелиным были проведены расчётные исследования процесса накопления гадолиния-153 при облучении природного европия в реакторе СМ, В.М. Лебедевым

и Н.Н. Андрейчуком разработаны основы технологии получения препарата гадолиния-153, а ими же совместно с В.П. Андреевым разработано оборудование для выделения и очистки гадолиния. Разработкой технологии изготовления сердечника из европия для мишеней занимался В.М. Лебедев, аналитических методик контроля технологических процессов выделения и паспортизации препаратов гадолиния-153 — Ю.П. Анохин, В.Д. Гаврилов, И.В. Целищев, конструкции и технологии изготовления источников — Е.А. Карелин, В.В. Чёсанов, В.А. Макаренко, а разработкой методики паспортизации источников — Н.Ф. Демченко и В.А. Дудун. В 1995 году была введена в эксплуатацию стационарная технологическая установка для выделения и очистки гадолиния-153 (Я.Н. Гордеев, Л.Н. Виноградов, А.А. Ядовин), которая вошла в состав опытно-технологической установки. В 1996–1998 годах выполнены расчётно-экспериментальные исследования процессов накопления гадолиния-153 при облучении европия в реакторе БОР-60. Результатом выполнения этой работы явилось освоение производства гадолиния-153 с использованием этого реактора. Большой вклад в решение этой задачи внесли Ю.Г. Топоров, В.А. Тарасов, Ф.З. Вахетов, Г.И. Гаджиев, В.Н. Ефимов, А.С. Корольков, Ю.Л. Ревякин, В.М. Лебедев, А.А. Ядовин. Использование реактора БОР-60 для наработки гадолиния-153 позволило увеличить объём производства этого препарата и повысить его удельную активность с 2,96–3,33 ТБк/г (80–90 Ки/г) до 3,7–4,44 ТБк/г (100–120 Ки/г). Разработанная технология обеспечивает получение препаратов высокой чистоты: доля радиоактивных примесей в них не превышает 0,0007 % (по активности). Разработки, касающиеся технологии получения гадолиния-153 и технологического оборудования, отмечены золотыми медалями на международных выставках.

В 1988–1989 годах выполнены разработки технологии получения селена-75 с высокой удельной активностью, равной 29,6–44,4 ТБк/г (800–1 200 Ки/г), конструкции и технологии изготовления источников гамма-излучения на его основе. Источники на основе селена-75 эффективны для радиографического контроля изделий толщиной 5–40 мм. В случае применения таких источников, благодаря более низкой, чем у иридия-192, цезия-137 и кобальта-60, энергии излучения, могут использоваться дефектоскопы со значительно меньшей массой, что удобно для применения в полевых и стеснённых условиях и труднодоступных местах. Так как селен-75 с высокой удельной активностью 44,4 ТБк/г (1200 Ки/г) может быть получен только в высокопоточном реакторе, А.В. Мамелиным были выполнены расчётные и экспериментальные исследования накопления селена-75 в реакторе СМ при облучении обогащённого селена-74. Проведённые исследования позволили подобрать условия облучения, обеспечивающие получение селена-75 с необходимой удельной активностью. Доступность селена-75 с высокой удельной активностью позволила разработать практически точечные источники гамма-излучения (тип ГС75М11-14) с размером активной части от 1,0×1,0 до 3,5×3,5 мм и активностью – от 111 до 5180 ГБк (от 3 до 140 Ки). Основными разработчиками конструкции и технологии изготовления источников были сотрудники НИИАРа Е.А. Карелин, В.В. Чёсанов, Т.Л. Огорокова, Н.А. Владимирова и сотрудники

Всесоюзного научно-исследовательского института технической физики и автоматизации. В 1991 году была изготовлена и отправлена во ВНИИТФА первая партия источников на основе селена-75 в количестве 21 штуки. К 1994 году ВНИИТФА совместно с компанией «Энергомонтаж Интернэшнл» (г. Москва) организовали производство малогабаритных гамма-дефектоскопов «Гаммамат-Se» (РИД-Se-4). К этому времени для указанных дефектоскопов в НИИАРе были разработаны источники излучения на основе селена-75 типа СР, отличающиеся от источников типа ГС75 конструкцией соединительных устройств и меньшими размерами, и организовано их производство. В 1994 году выпущена первая партия таких источников в количестве 11 штук. Последующие годы характеризуются возрастающим спросом на эти источники: к 2006 году объём производства возрос до 1 050 источников в год (315 источников типа ГС75 и 835 — типа СР), к 2010 году объём достиг уровня 1 500 штук в год. Основной вклад в развитие производства источников излучения на основе селена-75 внесли Я.Н. Гордеев, Е.В. Шимбарев, С.И. Скорняков, В.А. Атаманов, Н.Ф. Демченко, А.В. Дудун.

В 1989 году создана технологическая установка для производства фосфора-33 в виде ортофосфорной кислоты. Для производства фосфора-33 в НИИАРе использовали традиционную технологию, включающую облучение обогащённой серы-33 в реакторе, отделение фосфора от серы вакуумной дистилляцией, перевод фосфора в раствор, ионообменную очистку от примесей. Особенность технологии НИИАРа заключалась в использовании для облучения серы-33 высокопоточного реактора, что позволяло повысить выход фосфора-33 до 185–296 ГБк/г (5–8 Ки/г) серы-33 вместо 111–148 ГБк/г (3–4 Ки/г) в обычных реакторах и снизить содержание примесей в конечном продукте. Получаемая в НИИАРе ортофосфорная кислота имеет молярную активность 155,4–185 ТБк/моль (4 200–5 000 Ки/моль), а теоретическое значение — 192,4 ТБк/моль (5 200 Ки/моль), доля активности полифосфатов составляет менее 0,1 %. Основные участники создания и освоения производства фосфора-33 — В.Я. Васильев, Р.Б. Виноградова, Я.Н. Гордеев, А.А. Елесин, Л.С. Коновалова, Е.Н. Спиридонов, Г.А. Тимофеев.

В 1989 году в институте была начата разработка конструкции и технологии изготовления низкоактивных источников гамма-излучения (до 115 МБк или 3,1 мКи) на основе кобальта-60 для внутритканевой терапии. В 1991 году завершены работы по разработке и изготовлению оборудования для выпуска таких источников (ГК60М11, ГК60М12). В конце года была выпущена первая партия источников в количестве 24 штук. В 1991 году по заказу Министерства здравоохранения СССР выполнена разработка конструкции внутриволокнистых источников гамма-излучения на основе кобальта-60 для ручного введения (ГК60М41) активностью от 200 до 350 МБк (5,4–9,5 мКи), изготовлены две опытные партии по 15 источников в каждой, которые успешно прошли испытания в медицинских учреждениях страны. В 1992 году от Министерства здравоохранения СССР получено разрешение на производство источников для внутриволокнистой терапии, и в том же году организовано регулярное производство источников на основе кобальта-60 для внутритканевой и внутриволокнистой терапии.

В онкологические клиники и диспансеры пятнадцати городов, в числе которых Москва, Воркута, Чита и другие, было отправлено 440 источников. К настоящему времени в онкологические больницы, клиники и диспансеры более чем пятидесяти городов России ежегодно поставляется по 500–700 источников. Основной вклад в разработку конструкции и технологии изготовления, организацию производства источников внесли Е.А. Карелин, В.И. Карасёв, В.В. Чёсанов, Н.А. Владимирова, Т.Л. Огорокова.

С созданием в 1991 году отделения радионуклидных источников и препаратов заметно активизировалась работа по разработке и освоению производства новых видов радионуклидной продукции и расширению рынков её сбыта. В начале 1992 года было организовано производство иридия-192, что позволило осуществить разработку и изготовление на его основе источников гамма-излучения для промышленной радиографии. В 1992 году Е.А. Карелиным, В.В. Чёсановым, Т.Л. Огороковой, Н.А. Владимировой были разработаны конструкция и технология изготовления источников типа ГИ192М3 активностью от 18,5 ГБк (0,5 Ки) до 4,8 ТБк (130 Ки). Была изготовлена первая партия источников в количестве 11 штук. Конструкция источников двухкапсульная: иридий-191 герметизируется во внутреннюю капсулу будущего источника, которая после облучения в реактор СМ с образовавшимся в ней иридием-192 герметизируется в другую капсулу — внешнюю. В 1996 году была разработана конструкция источников, предусматривающая изготовление активной части ампулированием иридия-192 в виде облучённых дисков (источники типа ГИ192М5) активностью от 18,5 ГБк (0,5 Ки) до 11 ТБк (300 Ки). Это позволило решить проблемы, связанные с изготовлением источников заданной активности. В 1997 году начат серийный выпуск источников типа ГИ192М5. Основные участники разработки и организации производства источников — Я.Н. Гордеев, Е.В. Шимбарев, С.И. Скорняков, Т.Л. Огорокова, Н.А. Владимирова.

В 1995–1997 годах разработан и изготовлен опытный оригинальный источник бета-излучения на основе церия-144 для предотвращения стеноза коронарных сосудов сердца после баллонной ангиопластики. Источник представляет собой плотную спираль из коррозионно-стойкой капиллярной трубки диаметром 0,11 мм, заполненной соевым сплавом радионуклида церия-144. Диаметр источника — 0,365 мм, длина — 30 мм. Основные участники работы — Ю.Г. Топоров, В.А. Тарасов, Е.Г. Романов, Б.С. Вавилов, О.И. Андреев, В.Т. Филимонов.

В 1999 году освоено производство стронция-89 — эффективного радионуклида для паллиативного лечения костных разновидностей рака. Традиционная технология получения этого радионуклида основана на облучении в ядерном реакторе карбоната стронция, обогащённого стронцием-88. Основным недостатком этого способа является низкая удельная активность получаемого стронция-89, которая даже при облучении в высокопоточном реакторе не превышает 11,1 ГБк/г (0,3 Ки/г), поэтому необходимо облучать значительное количество дорогостоящего обогащённого стронция-88. В итоге это приводит к высокой стоимости конечного препарата, ограничивающей его практи-

ческое использование. В НИИАРе разработан и освоен альтернативный способ получения стронция-89 без носителя. В качестве стартового материала используется оксид природного иттрия, стоимость которого существенно ниже стоимости обогащённого стронция-88. Облучение иттрия проводится в реакторе БОР-60 с плотностью потока нейтронов, равной  $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Выход стронция-89 составляет 370–555 ГБк/кг (10–15 Ки/кг) иттрия. Разработанная и освоенная технология облучения и переработки облучённого иттрия обеспечивает получение стронция-89 со следующими основными характеристиками: массовая доля радиоактивного стронция-90 — менее 0,0001 %, других радионуклидных примесей — менее 0,01 %. Препарат, полученный таким способом, превосходит по качеству препарат, получаемый традиционным способом. В настоящее время стронций-89 без носителя поставляется многим потребителям в России, Европе и Азии. Основные разработчики технологии получения стронция-89 облучением природного иттрия — И.Н. Алексеев, Т.Н. Калиновская, А.С. Корольков, В.И. Морозов, Ю.Л. Ревякин, В.Н. Шепаров, О.И. Андреев, И.Г. Зеленковский, С.В. Карпухин, Р.А. Кузнецов, А.Н. Пахомов, Р.И. Саттаров, Н.Ф. Скобелев, И.В. Соловьёв, В.Т. Филимонов.

В 1996–2006 годах освоено производство никеля-63, стронция-89, вольфрама-188, цезия-131, йода-125, лютеция-177. В середине восьмидесятых годов были начаты работы по накоплению никеля-63 в реакторе СМ. Длительное время никель-63 поставлялся заказчику в виде облучённых мишеней. Никель-63 получали облучением нейтронами в центральном канале реактора СМ обогащённого никеля-62. Никель-63, широко используемый в производстве источников бета-излучения, необходим для калибровки контрольно-измерительных приборов, применяющихся в качестве радионуклидных ионизационных детекторов, в системах контроля загрязнённости воздуха, высокотемпературного газового анализа. В начале девяностых годов в НИИАР стали поступать заказы на поставку препаратов (нитраты, хлориды), очищенных от радиоактивных примесей. Это положило начало разработке технологии получения препаратов на основе никеля-63. К 1996 году технология была разработана и в лабораторных условиях получен препарат. Большой вклад в создание производства никеля-63 внесли О.И. Андреев, С.М. Брюхов, Ф.З. Вахетов, И.Г. Зеленковский, А.П. Кириллович, А.С. Корнилов, Р.А. Кузнецов, Б.И. Леваков, А.Л. Петелин, В.Т. Филимонов. В 2005 году О.И. Андреевым, Ф.З. Вахетовым, Э.А. Зотовым, А.С. Корниловым, В.А. Тарасовым, Ю.Г. Топоровым, В.Т. Филимоновым, Ю.Л. Ревякиным освоена технология получения никеля-63 облучением меди природного изотопного состава быстрыми нейтронами в реакторе БОР-60. К 2004 году В.М. Радченко, М.А. Рябининым, Н.Н. Андрейчуком разработаны конструкция и технология изготовления открытых источников бета-излучения на основе никеля-63 активностью от 111 до 1850 МБк (3–50 мКи) и организован их выпуск.

В 1996 году освоено производство терапевтических высокоактивных источников на основе кобальта-60 (до 555 ТБк или 15000 Ки). В течение последующих семи лет создано 14 модификаций таких источников. Они используются в медицинских аппаратах типа «Агат», «Рокус», «Тератроникс», «Терагам». В 1998 году начат выпуск

источников для промышленной радиографии. К 2005 году разработано более 60 типов таких источников активностью от 48,1 до 25900 ГБк (1,3–700 Ки). В 2002 году создана новая серия источников для установок типа «гамма-нож» и освоен выпуск шести модификаций источников. Основной вклад в создание установки, разработку и организацию производства источников внесли Н.М. Ледовских, А.Ф. Сироткин, В.Г. Гурьянов, О.В. Скиба, О.И. Левин, В.И. Назаренко.

Вольфрам-188 представляет большой интерес как материнский изотоп для получения дочернего продукта распада рения-188 в вольфраморениевых генераторах. Ядерно-физические свойства рения-188, а именно: наличие высокоэнергетического бета-излучения (максимальная энергия 2,11 МэВ) и гамма-излучения (155 кэВ) при периоде полураспада, равном 17 ч, практически «идеальны» для лучевой терапии. Химические свойства рения близки к свойствам технеция, что позволяет использовать при разработке радиофармпрепаратов богатый опыт синтеза комплексных соединений технеция, используемых для его транспортировки в органы и ткани человека. Ядерно-физические свойства рения-188 определяют такие направления его применения в ядерной медицине, как терапия крупных твёрдых опухолей, паллиативное лечение при метастазах в мягких и костных тканях, радиационная синовектомия, васкулярная брахитерапия. В 1996 году в лабораторных условиях была получена первая опытная партия вольфрама-188, которая была отправлена в Финляндию. Клинические испытания радиофармпрепаратов на основе рения-188 были начаты в мировой практике в 1995 году. В течение 1997–2000 годов препарат выпускался в НИИАРе небольшими порциями в лабораторных условиях. Спрос заметно увеличился в 2001 году, а в 2002 году возрос почти вдвое. Эти обстоятельства предопределили принятие решения о создании в институте стационарной технологической установки для производства препарата вольфрама-188. Надо отметить, что вольфрам-188 с необходимой удельной активностью не менее 185 ГБк/кг (5 Ки/г) можно получить только в высокопоточном реакторе. Поэтому Ф.З. Вахетовым были выполнены расчётные исследования процесса накопления вольфрама-188 при облучении нейтронами обогащённого вольфрама-186 в реакторе СМ. Основными участниками создания производства вольфрама-188 были Р.А. Кузнецов и А.Н. Пахомов.

В 2000 году были получены первые партии йода-131 в виде йодита натрия. Они были направлены на тестирование в российские и зарубежные центры ядерной медицины. Испытания показали, что полученный в НИИАРе препарат имеет положительные показатели качества по всем параметрам, которые удовлетворяют требованиям как российской, так и зарубежной фармакопии. В 2003 году введена в эксплуатацию установка по производству йода-131. Йод-131 имеет небольшой период полураспада (около восьми дней) и высокоэнергетическое бета- и гамма-излучение. Эти свойства обуславливают широкое его применение в радиационной медицине. Препараты йода-131 используют для диагностики заболеваний печени, мочевого тракта, исследования функций щитовидной железы, биохимии мозговой ткани при психических расстройствах, локализации злокачественных опухолей, определения метастатических поражений и в других диагностических процедурах. Излучение йода-131, обладающее доста-

точной для терапевтических целей ионизирующей способностью, а также то, что он вводится непосредственно в организм и его действие происходит на клеточном уровне, обуславливает эффективность данного радионуклида при воздействии на чужеродные и поражённые ткани в организме. Основное терапевтическое применение йода-131 — лечение онкологических заболеваний (некоторые формы рака щитовидной железы, простаты, опухоли спинного мозга и др.), а также незлокачественных опухолей щитовидной железы. Известны два основных способа получения йода-131: извлечение из продуктов деления облучённого урана-235 и выделение из облучённого нейтронами теллура или его соединений. В НИИАРе используется второй способ как наиболее простой. В настоящее время препарат йода-131 регулярно поставляется российским и зарубежным заказчикам.

В 2001 году разработана технология и изготовлен источник нейтрино на основе хрома-51 активностью около 111 ПБк (3 МКи), предназначенный для калибровки системы регистрации солнечных нейтрино в лаборатории «Гранд Сасо» (Италия).

В 2004–2006 годах выполнены расчётные и экспериментальные работы для обоснования технологии получения препарата лютеция-177 — одного из наиболее перспективных радионуклидов, применяемых в радиоиммунотерапии. Технология включает в себя облучение иттербия-176 в реакторе СМ и радиохимическую переработку облучённого материала. Большой вклад в разработку технологии и освоение производства лютеция-177 внесли О.И. Андреев, Э.А. Зотов, Р.А. Кузнецов, Г.В. Гончарова, В.А. Тарасов, Н.В. Тетюкова, Е.Г. Романов, Б.С. Вавилов, Н.Т. Куприянова, А.Г. Библаев, И.В. Целищев.

В 2005 году начато производство препарата цезия-131, применяемого для изготовления миниатюрных источников для брахитерапии рака предстательной железы и других органов. Это безоперационный, наиболее щадящий на сегодня метод лечения, применяемый на первой, второй, а иногда и на третьей стадии заболевания. Помимо рака предстательной железы брахитерапия с применением источников на основе цезия-131 используется и при лечении увеальной меланомы — наиболее частой внутриглазной опухоли. Большой вклад в разработку технологии получения и освоение производства цезия-131 внесли О.И. Андреев, Э.А. Зотов, С.И. Климов, А.Н. Пахомов, В.П. Андреев, В.А. Тарасов, Е.Г. Романов, Н.Ф. Скобелев, А.Г. Библаев, Л.Л. Казаков, И.В. Целищев.

В 2006 году завершены работы по созданию и пуску в эксплуатацию экспериментальной петлевой установки по производству йода-125 для медицины с качественными характеристиками, обеспечивающими его конкурентоспособность на мировом рынке. Совокупность ядерно-физических свойств йода-125 (период полураспада 69,4 дня, достаточно мягкое гамма-излучение с энергией 27 и 35 кэВ) сделало этот изотоп весьма привлекательным для медицины и биохимических исследований. Йод-125 используется для изготовления миниатюрных источников — «зёрен», имплантируемых непосредственно в опухоль. Эффективность этой методики лечения ряда онкологических заболеваний, в частности рака простаты, оказалась чрезвычайно высокой.

При этом количество осложнений после такого лечения резко сократилось по сравнению с практикуемым до этого хирургическим лечением. В настоящее время в странах с развитой ядерной медициной эта техника лечения рака предстательной железы является одной из основных. Большой вклад в создание установки, освоение производства внесли Ю.Г. Топоров, В.А. Тарасов, Б.С. Вавилов.

В 2009 году в НИИАРе были начаты работы по созданию производства молибдена-99, хотя работы по данной тематике в НИИАРе начали проводить уже в середине девяностых годов прошлого века. Тогда рассматривались различные варианты технологии его получения, выделения и очистки, варианты использования различного технологического оборудования. Были получены экспериментальные данные по определению накопления осколочных радионуклидов в облучённом уране-235; изготовлены облучательные устройства в виде кварцевых и ниобиевых ампул с диоксидом урана; отработаны методики вскрытия и химической переработки облучённых образцов, улавливания выделяющегося при этих операциях йода; определены выгорание урана-235, радионуклидный состав и активность продуктов деления. Полученные результаты хорошо коррелировали с расчётными данными. Также были проведены опыты по химическому выделению молибдена из облучённого урана и его очистке тремя различными способами: сорбционным на оксиде алюминия, ионообменным на анионите ДАУЭКС 1x8, экстракционным с применением ди(2-этилгексил)фосфорной кислоты. Было установлено, что экстракционный метод позволяет получить конечный продукт, удовлетворяющий техническим требованиям на препарат — молибден-99 медицинского назначения; что в спектрах гамма-излучения реэкстракта молибдена-99, очищенного экстракционным методом, посторонние радионуклиды практически отсутствуют. Это свидетельствовало о перспективности разработки экстракционной технологии получения препарата молибдена-99. Но, к сожалению, по ряду причин, тогда эта история не нашла продолжения. Не последнюю роль в этом, наверное, сыграл и экономический кризис 1998 года.

Молибден, радионуклид медицинского назначения, используется для производства генераторов технеция-99m — основного диагностического радионуклида современной ядерной медицины. С помощью технеция-99m в настоящее время диагностируется большое количество заболеваний, в первую очередь онкологических и сердечно-сосудистых. Количество таких диагностических процедур превышает 25 млн в год. Создание производства молибдена-99 в НИИАРе является частью проекта Комиссии при президенте Российской Федерации по модернизации и экономическому развитию экономики страны. Проект направлен на организацию в России собственного производства новых радиофармпрепаратов и медицинских изделий, формирование услуг по оказанию населению высокотехнологичной медицинской помощи. В декабре 2010 года состоялся пуск первой очереди производства молибдена-99, созданной в здании 120. В церемонии пуска приняли участие первый заместитель председателя правительства Российской Федерации И.И. Шувалов, генеральный директор Госкорпорации «Росатом» С.В. Кириенко, губернатор Ульяновской области С.И. Морозов.

Первая партия нииаровского молибдена-99 была отправлена в Канаду для прохождения процедуры сертификации. Процедура прошла успешно. В 2010 году начато сооружение пристройки к зданию 120 для размещения в ней второй очереди производства молибдена-99. Проектные работы выполнили сотрудники конструкторского отдела НИИАРа под руководством А.А. Соловьёва: В.Ф. Карпенко, Г.Н. Халецкая, Н.И. Бочкарёва, И.А. Рычек, Л.А. Голубь, В.П. Алфёров. Тестирование второй очереди состоялось 17 декабря 2012 года. На этом мероприятии присутствовали представители городских и областных органов власти и другие официальные лица. Большой вклад в создание и освоение производства молибдена-99 внесли сотрудники НИИАРа: Р.А. Кузнецов, А.М. Святкин, А.Н. Пахомов, А.А. Фокин, Р.И. Саттаров, Б.В. Бителев, Е.Я. Логинов, Ю.И. Курунов, А.А. Островский, А.А. Лыков, Е.А. Солодов, В.И. Васильев. В 2016 году впервые наибольший вклад в объём реализованной радионуклидной продукции (26 %) внесло производство молибдена-99.

### 3.5. Реакторное материаловедение\*

*Гениальные идеи приходят тем,  
кто заслужил их упорным трудом.*

В.И. Вернадский

Материаловедческий комплекс создавался для решения научно-технических задач реакторного материаловедения, связанных с исследованием свойств и характеристик материалов и изделий после их облучения в ядерных реакторах. Его экспериментальная база специализирована для работы с высокоактивными объектами. Радиационно-защитные камеры оснащены исследовательским оборудованием с дистанционным управлением, обеспечивающим проведение исследований любых материалов и изделий активных зон ядерных реакторов с получением широкого спектра данных, характеризующих влияние облучения на изменение их характеристик. Уникальность материаловедческого комплекса по сравнению с другими подобными лабораториями мира состоит в возможности проведения исследований полномасштабных ТВС всех типов реакторов, существующих в России и за рубежом, а наличие на одной

\* Дополнительную информацию можно найти в книге «Отделение реакторного материаловедения НИИАР. 1964–2014. Страницы воспоминаний» / под ред. Ф.Н. Крюкова. — Ульяновск: ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный университет», 2014. — 232 с. — Прим. ред.

площадке в институте исследовательских реакторов различного типа обеспечивает возможность проведения полного цикла реакторных испытаний и послереакторных исследований любых материалов. Уникальные возможности материаловедческого комплекса используются для исследований в различных областях реакторного материаловедения, основными из которых были и остаются до настоящего времени:

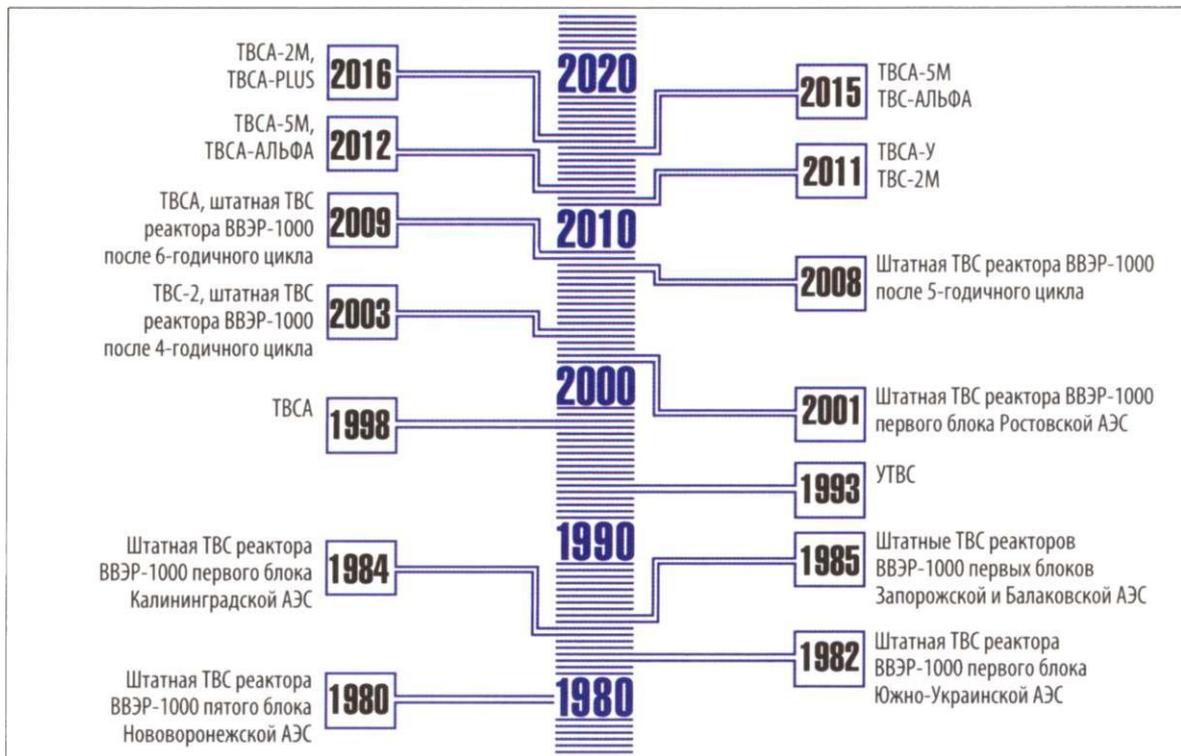
- материалы и элементы активных зон различных реакторов: легководных энергетических, на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, специального назначения; атомных станций малой мощности, со свинцовым и свинцово-висмутовым или газовым теплоносителем, исследовательских и термоядерных;
- технологии обращения с отработавшим ядерным топливом реакторов различного назначения;
- поглощающие материалы и элементы системы управления и защиты реакторов различного назначения;
- замедляющие материалы реакторов различного назначения;
- материаловедческие вопросы продления ресурса реакторных установок;
- исследования в области физики радиационных повреждений, моделирование поведения материалов и элементов активных зон ядерных реакторов;
- разработка стендов инспекций, методик и оборудования для материаловедческих исследований облучённых материалов и изделий;
- разработка и изготовление экспериментальных облучательных устройств и других изделий атомной техники.

## **Результаты исследований полномасштабных тепловыделяющих сборок**

С момента введения в эксплуатацию второй очереди материаловедческого комплекса, предназначенной для неразрушающих исследований полномасштабных ТВС и твэлов энергетических реакторов, в радиационно-защитных камерах материаловедческой лаборатории было исследовано около ста топливных сборок реакторов ВВЭР-440, ВВЭР-1000, БОР-60, БН-600 и РБМК.

### **Исследования тепловыделяющих сборок реакторов на тепловых нейтронах**

До сооружения здания 117 исследования топлива реактора ВВЭР проводили фрагментарно: «разделявали» тепловыделяющую сборку реактора ВВЭР-440 в радиационно-защитных камерах здания 170 и передавали в камеру здания 118. За тридцать лет с момента ввода в эксплуатацию здания 117 в радиационно-защитных камерах материаловедческой лаборатории было исследовано большое количество полномасштабных топливных сборок различных реакторов. Конструкция сборок реактора ВВЭР претерпела несколько модификаций, в которых принимали участие как Опытно-конструкторское бюро «Гидропресс» (сборки с индексом ТВС-2, ТВС-2М, УТВС), так и Опытно-конструкторское бюро машиностроения (сборки с индексами ТВСА, ТВСА-У, ТВСА-АЛЬФА, ТВСА-5М).



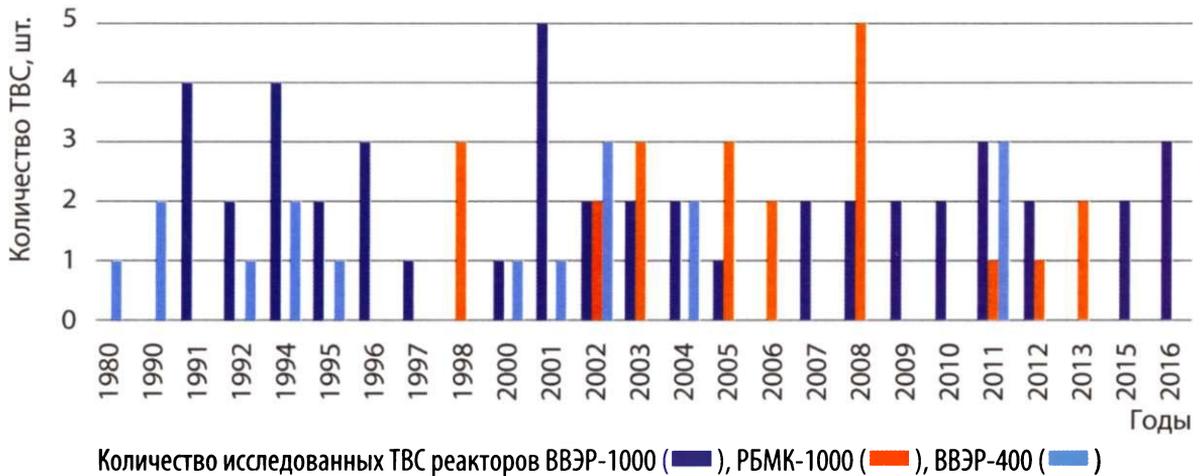
Типы исследованных в различные годы ТВС по годам поступления на исследования



Схема исследований ТВС

Результаты исследований тепловыделяющих сборок были использованы, во-первых, для обоснования работоспособности ТВС и реактора ВВЭР-1000 при достиже-

нии высокого выгорания топлива и длительности эксплуатации до шести топливных циклов, ТВС реактора ВВЭР-1000 различных конструкций (серийные, УТВС, ТВСА, ТВС-2), твэлов с уран-гадолиниевым топливом; во вторых, для установления причин нарушения работы органов регулирования системы управления и защиты, а также причин и механизмов разгерметизации твэлов, выдачи рекомендаций по их устранению. Послереакторные исследования показали, что современные конструкции ТВС-2 и ТВСА в целом обеспечивают необходимую геометрическую стабильность в течение назначенного срока эксплуатации. Твэлы реактора ВВЭР-1000 обеспечивают необходимый уровень работоспособности до выгорания топлива около 75 МВт·сут/кг U.



В радиационно-защитных камерах НИИАРа исследованы 18 тепловыделяющих сборок, отработавших в реакторах Ленинградской АЭС до выгорания 6–31 МВт·сут/кг U. На первом этапе эти исследования проводились под руководством В.П. Смирнова и А.В. Смирнова, а затем — Д.В. Маркова и Е.А. Звир. Исследования сборок с дополнительными поглотителями и различными поглощающими материалами выполнялись под руководством В.Д. Рисованого и А.В. Захарова. Результаты послереакторных исследований выявили основные проблемы топлива реакторов РБМК, такие как: усиление коррозии оболочек твэлов из сплава Э110 под дистанционирующими решётками; истирание оболочек твэлов в местах контакта стальных дистанционирующих решёток с пуклёвками; повреждение твэлов посторонними телами, циркулирующими в воде; снижение прочности циркониевых дистанционирующих решёток после длительной эксплуатации.

### Исследования тепловыделяющих сборок реакторов на быстрых нейтронах

В настоящее время ядерная энергетика в основном базируется на реакторах на тепловых нейтронах, однако перспектива её развития как отрасли в течение длительного времени определяющим образом зависит от реализации замкнутого топливного цикла, основу которого как раз составляют реакторы на быстрых нейтронах, обладаю-

щие свойством расширенного воспроизводства ядерного топлива. Основные этапы и особенности работ по разработке и созданию реакторов на быстрых нейтронах промышленного масштаба изложены в монографии О.Д. Казачковского\*, длительное время возглавлявшего научное руководство этими работами. Период времени с семидесятых по восьмидесятые годы прошлого века характеризуется наивысшим интересом к реакторам на быстрых нейтронах. В это время в НИИАРе на базе опытного реактора БОР-60, введённого в эксплуатацию в 1969 году, и достаточно хорошо оснащённого уже к тому времени материаловедческого комплекса проводилась обширная программа испытаний твэлов различных модификаций до глубокого выгорания топлива, велись широкие исследования по радиационной стойкости конструкционных материалов и топливных композиций. Основной объём работ выполнялся в лабораториях, возглавляемых в разное время Е.Ф. Давыдовым, И.Г. Лебедевым, В.И. Прохоровым, В.Н. Сюзёвым, Ю.М. Головченко, В.К. Шамардиным. В это же время в НИИАРе проводили комплекс работ по замкнутому топливному циклу на основе электрохимических способов переработки отработавшего топлива и автоматизированного дистанционного изготовления твэлов методом виброуплотнения топливного гранулята. Во всех энергетических реакторах на быстрых нейтронах в то время применялось оксидное топливо, имеющее хорошую радиационную стойкость и технологичность при промышленном производстве, переработке и изготовлении твэлов. За рубежом был осуществлён перевод всех реакторов на смешанное уран-плутониевое топливо, в нашей стране в основном применяли топливо на основе высокообогащённого урана, поскольку промышленная технология изготовления твэлов была сориентирована на уран. В семидесятых годах проводили испытания смешанного виброуплотнённого топлива в реакторе БОР-60, завершившиеся переводом реактора на этот вид топлива в 1981 году. Научным руководителем и идейным вдохновителем данного направления в течение длительного времени был директор института В.А. Цыканов. Практически всю свою деятельность в институте посвятил этому направлению А.А. Маёршин, пройдя путь от младшего научного сотрудника до заместителя директора. В материаловедческом комплексе были исследованы десятки экспериментальных ТВС с различными конструкционными материалами, вариациями конструкций твэлов и топливных композиций, облучённых в реакторах БОР-60, БН-350 и БН-600. На основе полученных результатов разработаны рекомендации по материалам, топливу, режимам эксплуатации твэлов в реакторах на быстрых нейтронах.

Интерес к реакторам на быстрых нейтронах, достигнувший пика в семидесятые-восьмидесятые годы, к концу двадцатого столетия во многих странах понизился. Считалось, что специфические задачи ядерной энергетики, решаемые с помощью реакторов на быстрых нейтронах, не станут актуальными в течение ближайших десятилетий. Однако осмысление роли, состояния и перспектив ядерной энергетики в начале двухтысячных годов показало, что:

---

\* Казачковский О.Д. Реакторы на быстрых нейтронах: научно-технические мемуары. — Обнинск: Институт атомной энергетики, 1995. — 135 с. — Прим. ред.

- ядерная энергетика имеет значительную, а в ряде стран определяющую долю в энергетическом балансе;
- разведанные запасы урана весьма ограничены и это может стать причиной замедления развития отрасли через несколько десятилетий;
- в странах, развивающих ядерную энергетику, накопилось и продолжает накапливаться огромное количество отработанного ядерного топлива;
- в связи с высвобождением плутония из военных программ и выделением его при переработке облучённого топлива становится актуальным его широкомасштабное использование в ядерной энергетике;
- при переработке облучённого ядерного топлива возникает необходимость утилизации экологически опасных долгоживущих изотопов нептуния, америция, кюрия, младших актиноидов.

Актуальность задач, решаемых с помощью реакторов на быстрых нейтронах, обусловила повышение интереса к данному типу реакторов и перспективным направлениям работ в этой области, таким как: повышение выгорания топлива, вовлечение в топливный цикл плутония, выжигание младших актиноидов, разработка и испытание новых топливных композиций для использования в реакторах на быстрых нейтронах. В решение задач, связанных с инновационными проектами реакторов на быстрых нейтронах, материаловедческий комплекс НИИАРа и по сей день вносит свой вклад, выполняя основной объём работ по послереакторным исследованиям.

## **Результаты исследований нейтронопоглощающих материалов**

В НИИАРе исследования нейтронопоглощающих материалов ведутся с 1967 года, когда под началом В.П. Гольцева была создана лаборатория интерметаллидных композиций. Тогда же под руководством Т.М. Гусевой и Е.П. Ключкова были поставлены на облучение в реактор СМ первые образцы с различными поглощающими материалами, предназначенными для стержней регулирования реакторов на быстрых нейтронах и транспортных реакторов. С расширением задач облучение большого количества образцов и макетов уже проводили в реакторах МИР, БОР-60 и ВК-50 под руководством А.А. Тейковцева и С.Н. Ворохобовой. В первых послереакторных исследованиях облучённых образцов поглощающих материалов участвовали Т.М. Гусева, В.М. Косенков, В.А. Ольховиков, В.И. Пономарёв, В.В. Чёсанов, В.М. Бойцов, В.С. Белокопытов, В.Р. Золотухин, Ю.А. Кабанов. В дальнейшем основной вклад в исследование поглощающих материалов и органов регулирования внесли В.Д. Рисованый, А.В. Захаров, Н.В. Судакова, А.В. Улитин, П.И. Гринь, А.А. Худяков, С.Р. Фридман, Е.Е. Варлашова, Е.М. Муралёва.

Исследования поглощающих материалов в НИИАРе всегда определялись актуальными задачами по увеличению ресурса органов регулирования реакторов всех ти-

пов. Решение этих задач невозможно без изучения радиационных свойств широкого спектра материалов и конструкций. Для этих целей в институте были проведены реакторные испытания и материаловедческие исследования более 200 видов поглощающих композиций, определены радиационные свойства и физическая эффективность основных поглощающих материалов на основе бора, гафния, диспрозия, гадолиния, европия и ряда других элементов.

Большое значение для подтверждения надёжности и определения ресурсных возможностей различных конструкций органов регулирования всегда имели исследования отработавших свой ресурс изделий. Поэтому в НИИАРе с самого начала существования материаловедческого комплекса постоянно проводили исследования стержней регулирования реакторов БОР-60, СМ, МИР, ВК-50. Результаты исследований были использованы для совершенствования конструкций и обоснования увеличения ресурса изделий. С 1980 года в институте начаты послереакторные исследования органов регулирования реакторов после эксплуатации в атомных ледоколах и специальных установках, а с 1986 года — после эксплуатации в реакторах БН-600, РБМК-1000, ВВЭР-1000.

Проводимые в институте исследования радиационных свойств поглощающих материалов и послереакторные исследования органов регулирования, накопленный опыт и знания в этой области позволили приступить к решению ряда технологических задач и выполнить оригинальные конструкторские разработки. Исследования возможности регенерации карбида бора, обогащённого бором-10, привели к разработке технологии его повторного использования при изготовлении сердечника в стержнях аварийной защиты реакторов на быстрых нейтронах. После апробации этой технологии на стержнях регулирования реактора БОР-60 она была успешно применена при изготовлении стержней аварийной защиты реактора БН-600. В НИИАРе было создано уникальное оборудование и организовано изготовление стержней регулирования для реактора БОР-60, а затем и штатных стержней аварийной защиты реактора БН-600 с повышенным ресурсом. Этим самым была обоснована возможность замкнутого цикла использования в реакторах на быстрых нейтронах дорогостоящего и не производящегося в России обогащённого карбида бора. Основной вклад в эти работы внесли В.Д. Рисованый, А.В. Захаров, А.Г. Осипенко, Т.М. Гусева, Е.П. Ключков, С.Г. Ерёмин, В.Ф. Соколов, А.А. Соловьёв, Р.Л. Вагизов, Ю.В. Савинков.

Уникальный опыт исследований стержней регулирования на основе содержащих европий композиций позволил разработать технологию использования высокой наведённой активности радионуклидов европия из отработавших в реакторе изделий в качестве мощных гамма-источников для установок по радиационной обработке различных продуктов и изделий в народном хозяйстве. Были разработаны несколько вариантов конструкций гамма-источников, рассчитанных на различные виды использования. Например, были предложены оригинальные конструкции органов регулирования с двухцелевым использованием европиевых сердечников: вначале как поглощающего материала, а после окончания эксплуатации стержней — в качестве

гамма-источников. Основную роль в этих работах выполняли В.Д. Рисованый и Е.П. Клочков.

Исследования отработавших в реакторах ВВЭР-1000 поглощающих стержней системы управления и защиты, которые начиная с девяностых годов прошлого века проводили в НИИАРе регулярно, позволили обосновать значительное увеличение их назначенного ресурса. С участием специалистов института была внедрена и успешно эксплуатируется в настоящее время во всех реакторах ВВЭР-1000 конструкция поглощающих элементов с комбинированным сердечником, состоящим в нижней части из титаната диспрозия, а в остальной — из карбида бора. В 2015–2016 годах исследования таких изделий, отработавших десять лет на Калининской АЭС, подтвердили высокую работоспособность и возможность дальнейшего увеличения их назначенного ресурса. В этих работах в разное время активно участвовали В.Д. Рисованый, А.В. Захаров, С.Р. Фридман, Е.М. Муралёва, А.В. Улитин.

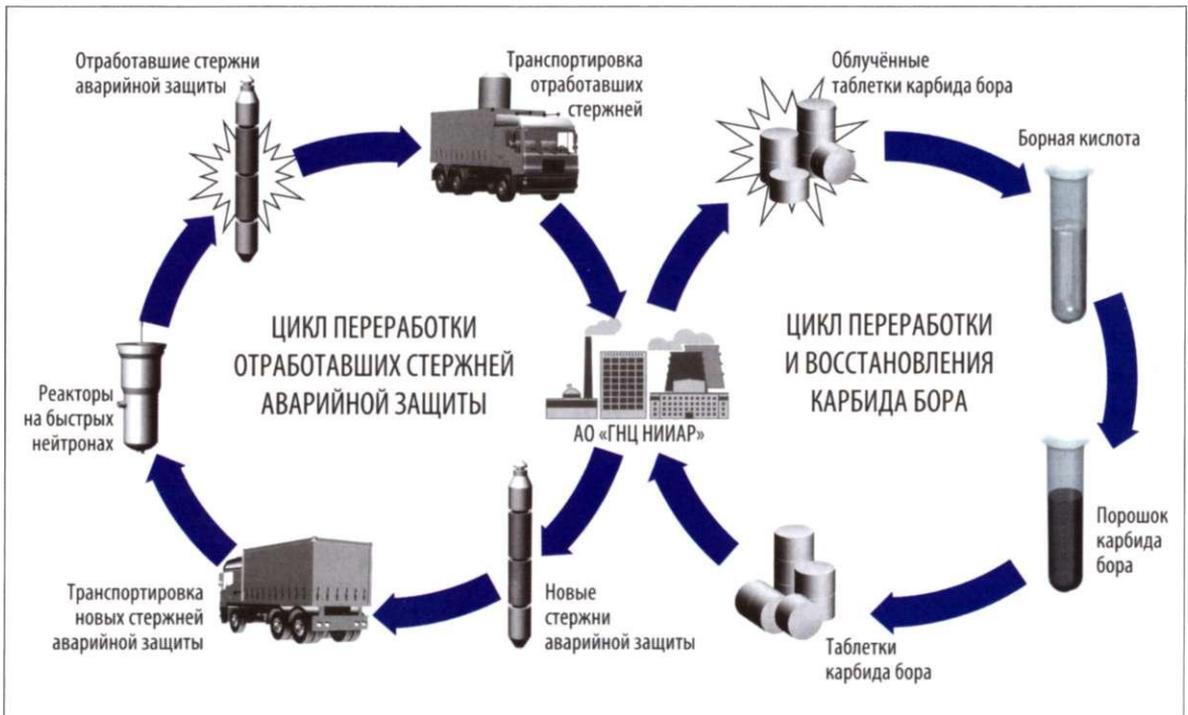


Схема замкнутого цикла использования карбида бора

Одним из важных достижений НИИАРа явились разработка и обоснование класса поглощающих материалов на основе флюоритных кристаллических структур с высокой радиационной стойкостью. Началом этих работ послужили исследования выгорающих поглотителей для стержней транспортных реакторов, в результате которых удалось найти и обосновать выгорающий поглотитель с практически неогра-

нической радиационной стойкостью. Полученные при этом знания позволили разработать новый радиационно стойкий и высокоэффективный поглощающий материал для водо-водяных энергетических реакторов — гафнат диспрозия ( $n\text{Dy}_2\text{O}_3\text{mHfO}_2$ ). Реакторные испытания и послереакторные исследования подтвердили его очень высокую радиационную стойкость и позволили рассматривать этот материал как наиболее перспективный для поглощающих элементов разрабатываемых энергетических водо-водяных реакторов. Технология синтеза гафната диспрозия и изготовления из него таблеток была разработана и освоена в НИИАРе в начале двухтысячных годов. Основной вклад в разработку и освоение этой технологии внесли А.В. Захаров, В.Ф. Соколов, Р.Л. Вагизов, В.А. Судьяров.

В 2002–2008 годах в НИИАРе проводили работы по созданию стержней регулирования из гафния для китайских исследовательских реакторов CARR и CMRR. При разработке этих стержней были решены сложные технические и технологические задачи по обеспечению требований заказчика по высокому ресурсу конструкции при эксплуатации в реакторе — десять лет в режиме регулирования и тридцать лет в режиме аварийной защиты. В НИИАРе была предложена оригинальная, не имеющая аналогов конструкция стержней регулирования, защищённая патентом. Работа, завершившаяся поставкой в Китай тридцати шести стержней регулирования и аварийной защиты, выполнялась большим коллективом специалистов института, но основной вклад внесли: С.Г. Ерёмин, В.Д. Рисованный, А.В. Захаров, В.Ф. Соколов, А.А. Соловьёв, А.И. Плотников, В.А. Макеев, А.В. Барышев.

На протяжении более пятидесяти лет существования и развития в НИИАРе направления по исследованиям поглощающих материалов и органов регулирования были и другие работы, важные для решения актуальных проблем атомной техники. Многие из них описаны в серии книг и учебных пособий по данной тематике, авторами которых стали специалисты НИИАРа: В.Д. Рисованный, А.В. Захаров, Е.П. Клочков, Т.М. Гусева, Е.М. Муралёва.

### **Исследования материалов отражателей и замедлителей**

На начальном этапе, в 1964–1970 годах, теоретические и практические исследования по физике радиационных повреждений различных реакторных материалов под руководством Б.Г. Лященко, Л.Д. Иванова, В.И. Клименкова и С.Н. Вотинава проводили сотрудники: В.В. Кирсанов, Р.Б. Грабова, П.П. Гринчук, З.Е. Островский, Р.А. Юськаев, В.И. Прохоров, В.М. Косенков.

### **Исследования графита**

Экспериментальное выявление влияния нейтронного облучения, в том числе и высокодозного, на изменение размеров и основных теплофизических и физико-механических свойств образцов реакторного графита различных марок и создание базы данных по радиационной стойкости графита началось в 1964 году. Образцы

облучали в реакторных установках НИИАРа в диапазоне температуры от 450 до 640 °С до максимального флюенса нейтронов, равного  $3,3 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-2}$ . Экспериментально были выявлены закономерности изменения размеров, коэффициента теплопроводности, температурного коэффициента линейного расширения, динамического модуля упругости, механических свойств при растяжении (упругости, предела прочности и предельной деформации) образцов реакторного графита, в том числе и графита марки ГР-280, облучённых в интервале флюенса нейтронов от 0,5 до  $3,3 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-2}$  и диапазоне температуры от 450 до 640 °С. Показано, что сжимающая нагрузка с напряжением около 15 МПа в процессе облучения вызывает увеличение прироста температурного коэффициента линейного расширения нагруженных образцов до 50 % по сравнению с температурным коэффициентом линейного расширения образцов-свидетелей. Получены экспериментальные данные по радиационной ползучести ныне применяемого в реакторах РБМК графита марки ГР-280 и влиянию «масштабного» фактора: образцы с меньшими исходными размерами демонстрируют более высокую скорость радиационного формоизменения, при значениях флюенса выше критического формоизменение образцов происходит с постоянной скоростью. Показана возможность продления срока службы графитовых кладок минимум на семь лет свыше назначенных тридцати. Созданная база данных по радиационной стойкости графита ГР-280 вошла в состав новой версии «Норм расчёта на прочность типовых узлов и деталей из графита уран-графитовых канальных реакторов». Основной объём исследований выполнен под руководством И.Г. Лебедева, а в дальнейшем — Д.В. Харькова. Существенный вклад в эти исследования внесли В.И. Клименков и А.С. Покровский.

### Исследования бериллия

Экспериментальное выявление закономерностей низкотемпературной и высокодозной радиационной повреждаемости (изменения геометрических размеров, плотности, микроструктуры и механических свойств) бериллия различных марок и окиси бериллия началось в 1964 году. Образцы облучали в реакторах СМ и БОР-60 при разных значениях температуры облучения (70, 200 и 400 °С) и флюенса нейтронов ( $(0,2-18,0)10^{22} \text{ см}^{-2}$ ). В результате материаловедческих исследований уточнены закономерности низкотемпературного распухания бериллия, выявлена зависимость накопления гелия в низкотемпературной высокодозной области, установлены закономерности изменения микроструктуры бериллия после облучения до высокого флюенса (более  $6 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-2}$ ) нейтронов с энергией более 0,1 МэВ, определены закономерности изменения параметров элементарной ячейки бериллия под облучением и тип образующихся под облучением дислокационных петель, плоскости залегания и концентрация, выявлены причины анизотропного распухания бериллия. Основные результаты исследований применены для прогнозирования срока безопасной службы бериллиевых блоков исследовательских реакторов. В частности, предложено увеличить срок службы изделий из бериллия в реакторе СМ. Выявленные закономерности

радиационного изменения свойств бериллия могут быть использованы и для развития фундаментальных представлений о физике радиационного повреждения. На начальном этапе исследования выполняли В.П. Гольцев, В.М. Косенков, Г.А. Серняев, З.И. Чечёткина, А.Я. Завгородний, А.В. Худяков, А.С. Покровский, Г.И. Социлин. В последние годы исследования проводили В.П. Чакин и А.О. Посевин.

## **Исследования конструкционных материалов**

### **Исследования сплавов на основе циркония**

Экспериментальное выявление влияния нейтронного облучения, в том числе и высокодозного, на изменение размеров и основных теплофизических и физико-механических свойств образцов из циркония различных марок и создание базы данных по радиационной стойкости циркония началось с 1964 года. В России в качестве основного материала для оболочек твэлов, работающих в реакторах типа ВВЭР и РБМК, используется сплав Э110 (Zr–1 %Nb), обладающий высокой коррозионной стойкостью в воде под давлением, но недостаточно высокими прочностными характеристиками и сопротивлением ползучести. Основная область применения отечественного сплава Э125 (Zr–2,5 %Nb) — канальные и каркасные трубы в реакторах РБМК и чехлы в реакторах ВВЭР. Испытаниям подвергся и многокомпонентный сплав Э635, превосходящий другие циркониевые сплавы по сопротивлению ползучести, радиационному росту и нодулярной коррозии. В эти многолетние исследования основной вклад внесли В.С. Белокопытов, В.К. Шамардин, А.Я. Рогозянов, А.Е. Новосёлов, Г.П. Кобылянский, В.И. Кузьмин, Г.И. Маёршина, А.Б. Андреева, Г.В. Шишалова, Т.В. Назаренко. На основании многочисленных исследований отработавших полномасштабных ТВС реакторов ВВЭР и РБМК и макетов твэлов, ранее облучённых в реакторах СМ, МИР, ВК-50 и БОР-60:

- установлены основные закономерности деформационного поведения модельных образцов оболочечных труб, направляющих каналов, центральной трубы и уголков каркаса из сплавов Э110 и Э635 в экспериментах, моделирующих напряжённо-деформированное состояние компонентов конструкции ТВС реактора ВВЭР-1000 в процессе длительной эксплуатации;
- получены зависимости деформации радиационного роста труб и модельных образцов из сплавов Э110, Э125 и Э635 в различном исходном состоянии от значений флюенса нейтронов;
- определены результаты воздействия послерадиационного отжига на радиационный рост и радиационные повреждения циркониевых материалов;
- выявлена зависимость механических свойств циркониевых сплавов от основных параметров облучения и испытания;

- получены вошедшие в раздел «Конструкционные материалы» отраслевой базы данных сведения по кратковременным механическим свойствам облучённых до высокого флюенса нейтронов образцов из сплавов Э110, Э125 и Э635;
- разработаны рекомендации для совершенствования технологии производства и эксплуатации изделий из сплавов циркония с учётом закономерностей эволюции радиационных дефектов и трансформации структурных составляющих в этих сплавах под действием высокодозного реакторного облучения.

### Исследования сталей и сплавов

Теоретическое и экспериментальное выявление влияния нейтронного облучения на свойства образцов из сталей и сплавов различных марок началось с 1961 года. Десятки вариантов сталей и сплавов, созданных металловедом ВНИИНМ, ЦНИИ КМ «Прометей», НПО «ЦНИИТМАШ», ХФТИ и других организаций, были облучены в реакторах НИИАРа и испытаны в его радиационно-защитных камерах. Термин «радиационная стойкость» включает в себя высоко- и низкотемпературное радиационное охрупчивание, радиационное распухание, радиационную ползучесть и радиационно-стимулируемое межкристаллитное коррозионное растрескивание в воде или паре. К концу 1975 года имелось достаточно оснований сделать вывод о высокой радиационной стойкости стали марки ЭП172 как с точки зрения сопротивления высокотемпературному радиационному охрупчиванию, так и распуханию при значениях флюенса приблизительно до  $10^{23} \text{ см}^{-2}$ . Сталь была рекомендована в качестве основного оболочечного материала для реализации проектов активных зон реакторов БН-350 и БН-600. Все ТВС с оболочками твэлов из этой стали последовательно отработали до выгорания топлива 11, 11,2, 13,2 % без разгерметизации и разрушения. При флюенсе нейтронов с энергией более 0,1 МэВ, равном  $9,2 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-2}$ , распухание оболочек достигло 7,4 %. Поиск лучших исходных структур не увенчался обилием практических рекомендаций. Так, теоретическая идея уменьшения распухания за счёт приграничных обеднённых зон путём измельчения зёрен не подтвердилась экспериментально. По-видимому, режимы обработки в мелкое зерно вызывали попутно неблагоприятные изменения состава аустенита. Оправдало себя лишь воздействие холодной деформацией. Применение холодной деформации сулило большие перспективы, однако представляло собою непростую технологическую задачу. За оптимальное было принято значение холодной деформации в 20 %. И стало понятным, что холодная деформация растягивает инкубационный период, а затем распухание происходит с высокой скоростью. В реакторе БОР-60 достигнуто выгорание топлива, равное 19,7 % т. а.\*, в твэлах с оболочками из холоднодеформированной стали марки ЭП172. Авторами разработки наряду с сотрудниками ВНИИНМа стали В.И. Прохоров, Е.Ф. Давыдов и В.И. Кузьмин.

\* Здесь и далее т. а. — тяжёлые атомы. — Прим. ред.

Ферритно-мартенситная сталь марки ЭП450 (X13M2БФР) успешно используется в качестве материала чехлов ТВС в реакторах БОР-60 и БН-600 вместо сталей 0X18N10T и 08X16N11M3, подверженных сильному распуханию. Допустить сталь марки ЭП450 к эксплуатации долго не решались из-за низкотемпературного радиационного охрупчивания ферритно-мартенситных сталей, но гигантский инкубационный период (около 100 сна до начала распухания) и неподверженность высокотемпературному радиационному охрупчиванию повлияли на её широкое внедрение. К 1984 году были получены данные на облучённых до повреждающей дозы 132 сна образцах стали марки ЭП450. Решение об использовании новых типов стали в реакторе БН-600 было принято в 1987 году. В дальнейшем использование этой марки стали обеспечило работу твэлов до повреждающей дозы 84–87 сна (выгорание топлива — 10 % т. а.). В настоящее время сталь марки ЭП450 освоена и является штатным материалом для чехловых труб ТВС реакторов на быстрых нейтронах. В реакторе БОР-60 специальные ТВС с оболочками и чехлами из стали марки ЭП450 проработали до рекордных значений выгорания топлива, и это дало возможность оценить состояние стали при повреждающих дозах 110, 133 и 142 сна. Большой вклад в эту работу внесли также сотрудники В.И. Прохоров, Е.Ф. Давыдов и В.И. Кузьмин.

С 1988 года начала реализовываться программа, имевшая целью разработать стали, которые бы обеспечили выгорание топлива до 15 % т. а. в реакторах типа реактора БН-600. С целью удержать холоднодеформированную структуру стали при температуре выше 500 °С была разработана ещё более комплексно-легированная сталь марки ЭП172 с десятком вариаций: 07X16N19M2Г2БТФР (ЭК164) с титаном, ванадием, ниобием, бором, кремнием, фосфором, редкоземельными элементами, 05X16N16M3ТР, 07X13N13M3Г3Т2, 05X15N23B4Т2Ю. Предполагается, что эта сталь способна обеспечить выгорание топлива выше 12 % т. а. при повреждающей дозе более 100 сна. Как известно, уровень жаропрочности сталей марок ЭП450 и ЭП823 недостаточен для материала оболочек твэлов реактора БН-600. На основе стали марки ЭП823 была разработана сталь с азотом — ЭП900. Предполагается повысить жаропрочность материалов посредством выделения дополнительного количества карбонитридных фаз.

## **Исследования корпусных материалов реакторов ВВЭР**

В НИИАРе в начале семидесятых годов совместно с НПО «ЦНИИТМАШ» начаты работы по созданию технологичной и одновременно радиационно стойкой стали для корпусов водо-водяных реакторов ВВЭР-1000. Замысел инициаторов работ состоял в том, чтобы оптимизировать состав стали по содержанию основных легирующих элементов, обеспечивающих её технологичность и требуемый уровень свойств, снизить до предельно низкого уровня массовую долю меди, фосфора, мышьяка и других примесей. В НИИАРе по разработанному В.К. Шамардиным, Т.Н. Колесовой, А.М. Печёриным (с участием О.М. Вишкарёва, НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва) техническому

заданию была создана и аттестована методика облучения (В.А. Цыканов, Б.В. Самсонов, В.Н. Шулимов, Г.П. Лобанов), удовлетворяющая требованиям по точности поддержания и регистрации главных параметров облучения — температуры и флюенса нейтронов. Были проведены два уникальных эксперимента в реакторе СМ. Первый эксперимент заключался в выплавке стали, когда в качестве шихтовых материалов использовались первородные материалы с массовой долей меди на уровне сотых и фосфора на уровне тысячных долей процента. Второй эксперимент состоял в облучении и исследовании матрицы из одиннадцати сплавов, изготовленных специально для изучения раздельного и совместного влияния примесей в присутствии никеля на радиационную стойкость (сдвиг температуры хрупко-вязкого перехода) корпусной стали. Результаты экспериментов в реакторе и послереакторные испытания привели к созданию стали марки 15X2НМФАА, содержащей для улучшения технологических свойств никель и отличающейся низким содержанием примесных элементов, и вошли специальным разделом в аттестационный отчёт по этой стали. Позже, в конце восьмидесятых годов, аналогичная большая работа по облучению стали марки 15X2МФА, выплавленной на чистых шихтовых материалах, была выполнена в НИИАРе по заказу ЦНИИ КМ «Прометей». И та и другая работы являлись составляющими большой государственной программы по изучению радиационной стойкости материалов корпусов реакторов ВВЭР.

## **Исследования тугоплавких материалов**

Исследования радиационной стойкости тугоплавких материалов начались в НИИАРе с 1967 года, когда с ЦНИИ КМ «Прометей» был заключён договор по изучению радиационной стойкости молибдена и его сплавов. Затем под научным руководством В.А. Казакова начались исследования других тугоплавких материалов: ниобия, ванадия, вольфрама, хрома. Свойства этих материалов и их сплавов изучались в рамках специальных космических программ. Интерес для космоса эти тугоплавкие материалы представляют, потому что выдерживают рабочую температуру до 1 100–1 600 °С и хорошо сочетаются с применяемыми в космических установках специальными теплоносителями, например литиевыми или натриекалиевыми. Испытания твэлов с оболочками из тугоплавких материалов продолжались до 1987 года, после чего финансирование прекратилось на долгие годы. Произошла переориентация на термоядерные исследования, которые проводили для обоснования материалов первой стенки термоядерного реактора, материалов дивертора, керамики, изоляторов, полупроводников. Исследовали ванадиевые сплавы для литиевого теплоносителя, а также графит и бериллий. Результаты этих исследований переданы в головные организации проекта по созданию международного экспериментального термоядерного реактора.

Признанием заслуг и достижений специалистов института в области реакторного и радиационного материаловедения являются создание и функционирование в течение многих лет Межотраслевого координационного совета и проведение деся-

ти конференций по реакторному материаловедению, каждая из которых собирала представителей многих предприятий страны, в том числе и конференции 2000, 2003 и 2007 годов, проводившиеся с участием иностранных специалистов. В 2014 году, 24–27 марта, в Димитровграде проведена международная научная конференция «Новые материалы для инновационного развития атомной энергетики», посвящённая пятидесятилетию отделения реакторного материаловедения института. Далее в таблице приведены данные о количестве участников и числе докладов, представленных на конференциях по реакторному материаловедению.

### Количество участников и число докладов на конференциях по реакторному материаловедению

Количество	Год проведения конференции											
	1980	1988	1992	1995	1997	2000	2003	2007	2009	2013	2014	
Участники, чел.	150	390	140	115	134	180	172	279	198	250	220	
Доклады, шт.	76	214	150	130	120	90	144	144	131	170	80	



Участники конференции по реакторному материаловедению,  
посвящённой пятидесятилетию отделения реакторного материаловедения

### 3.6. Топливный цикл ядерных реакторов

*Ставить эксперимент — это учинять допрос природе.*

Р. Бэкон

Старт ядерной энергетики начался с реакторов на тепловых нейтронах. Топливной базой для них служил и служит до сих пор уран, обогащенный изотопом урана-235 и вводимый в активную зону реактора в виде твэлов со спечённым диоксидом урана. В реакторах на тепловых нейтронах топливо сгорает не полностью, а только та часть, которая превышает критичность. Поэтому необходимы регенерация отработавшего топлива, дообогащение урана по изотопу урана-235 и возврат его в топливный цикл.

В России была развита горнодобывающая промышленность, на предприятиях которой получали урановый концентрат, были введены в эксплуатацию мощные производства по обогащению урана изотопом урана-235, изготовлению тепловыделяющих элементов и сборок, создан парк реакторов на тепловых нейтронах класса ВВЭР и РБМК. Но было очевидно, что посредством реакторов на тепловых нейтронах ядерная энергетика не выйдет на стратегическое направление. Её топливная база (уран-235) по энергетической эквивалентности соизмерима с запасами органического топлива. К тому же производство обогащённого урана — энергоёмкий процесс, побочным продуктом которого является отвалный гексафторид урана, миллионы тонн которого хранятся в контейнерах на открытых площадках.

Вход ядерной энергетики в стратегическое пространство возможен только через реакторы, использующие все запасы природного урана. Об этом упоминал ещё научный руководитель Физико-энергетического института А.И. Лейпунский в своей записке, адресованной правительству СССР. По воспоминаниям О.Д. Казачковского, в 1949 году А.И. Лейпунский в доверительной беседе сообщил ему о том, что он подал в правительство записку о создании реакторов на быстрых нейтронах, которые наряду с энерговыработкой способны обеспечить воспроизводство ядерного топлива, и что по этому поводу принято решение о приоритетном развитии этого направления. Многие годы стоявший у руля атомной промышленности, включая её гражданское направление, Е.П. Славский с полным пониманием относился к позиции А.И. Лейпунского и полностью разделял её. Следствием этого единства взглядов явилось развитие работ по физике реакторов на быстрых нейтронах, создание макетных моделей и экспериментальных реакторов типа БР-5, БР-10. Значимым событием на пути развития направления, связанного с реакторами на быстрых нейтронах, явилось решение о создании в Научно-

исследовательском институте атомных реакторов (г. Димитровград) экспериментального реактора на быстрых нейтронах БОР-60. К этому времени институт уже имел развитую базу, включающую реактор СМ с потоком нейтронов до  $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , многопетлевой материаловедческий реактор МИР, многоцелевую материаловедческую лабораторию, радиохимическую лабораторию по выделению и изучению свойств трансураниевых элементов.

Привязка реактора БОР-60 к площадке НИИАРа предполагала создание в перспективе условий его работы в режиме замкнутого топливного цикла с воспроизводством топлива. В своих воспоминаниях, относящихся к этому времени, О.Д. Казачковский пишет, что для пуска реактора пришлось идти на компромисс и комплектовать его активную зону из обогащённого урана в форме спечённых таблеток. В ответ на запрос физиков специалисты головной организации, по своему статусу призванной разрабатывать твэлы для комплектации активных зон, — Всесоюзного научно-исследовательского института неорганических материалов — ответили, что для реакторов на быстрых нейтронах достаточно поднять уровень обогащения урана. Конкретно для реактора БОР-60 предлагалась активная зона с ураном, обогащённым до 90 % по изотопу урана-235. Компромисс распространился и дальше: отработавшее топливо реактора БОР-60 предлагалось направлять на химический комбинат (ПО «Маяк») для переработки водно-экстракционным методом.

В 1958 году Уральский филиал Академии наук СССР посетил академик А.Н. Фрумкин — выдающийся учёный в области электрохимических процессов. Его интересовала лаборатория высокотемпературной электрохимии, возглавляемая профессором М.В. Смирновым. Академик сообщил, что в ближайшее время «наступит потребность» в химических процессах, устойчивых к воздействию высоких радиационных полей. В качестве рабочей среды для таких процессов весьма привлекательны хлоридные расплавы, по природе своей относящиеся к классу ионных жидкостей. Для развития исследований в этом направлении А.Н. Фрумкин предложил организовать на базе Института высокотемпературной электрохимии Уральского филиала Академии наук СССР лабораторию с ориентацией на исследования солевых расплавленных систем. В качестве первого шага в этом направлении он предложил изучить поведение урана в таких расплавах.

Через шесть лет были доложены первые результаты, среди которых главный — получение диоксида урана совершенной кристаллической структуры электролизом расплавленных солей, в том числе многокомпонентного состава. О.Д. Казачковский обозначил ориентиры: аттестовать электролитический диоксид урана в качестве топлива реактора БОР-60, незамедлительно приступить к изучению химических и электрохимических свойств плутония в солевых расплавах, выйти на уран-плутониевую зону реактора БОР-60 и подготовить предложения по рециклу ядерного топлива.

Сокращая путь от старта ко дню сегодняшнему, констатируем, что в НИИАРе функционирует опытно-промышленный комплекс по выпуску смешанного уран-плутониевого оксидного топлива (МОКС), твэлов и ТВС для реактора БН-800, а реактор БОР-60 с 1981 года эксплуатируется с использованием МОКС-топлива. За этот период получены необходимые данные для создания установок по рециклу топлива энергетических реакторов на быстрых нейтронах. Теперь можно более подробно и доказательно рассмотреть этапы становления топливообеспечения реакторов на быстрых нейтронах и их топливного цикла. Расплавы хлоридов щелочных металлов приняты в качестве рабочей среды для процессов рецикла топлива реакторов на быстрых нейтронах. Как ионные жидкости, расплавы хлоридов щелочных металлов не имеют ограничений по радиационной нагрузке, а в связи с отсутствием в их составе замедлителей нейтронов — и по концентрации делящихся материалов. Растворённые в них химические элементы образуют прочные ионные комплексы, что обеспечивает надёжную фиксацию в расплаве даже тех хлоридов, которые в чистом состоянии имеют высокую упругость паров. Поскольку выбранный класс расплавов состоит из самых полярных анионов хлора ( $\text{Cl}^-$ ) и катионов щелочного металла ( $\text{Me}^+$ ), их исходное состояние может быть восстановлено химическими либо электрохимическими способами. Наконец, застывший солевой сплав является надёжной матрицей для продуктов деления в условиях длительного контролируемого хранения.

Сегодня НИИАР, благодаря системной работе специалистов Института высокотемпературной электрохимии Уральского филиала Академии наук СССР, кафедры редких и рассеянных элементов физико-технического факультета Уральского государственного технического университета (ранее Уральский политехнический институт имени С.М. Кирова), располагает необходимой информацией о строении расплавленных систем, химическом состоянии и электрическом поведении в них урана, плутония, младших актинидов, а также элементов, входящих в состав продуктов деления отработавшего ядерного топлива. Ещё на начальном этапе развития этого научного направления исследований имелись достаточные знания о химическом и электрохимическом поведении урана в расплавах хлоридов щелочных металлов: было известно, что оксиды урана при воздействии на них газообразным хлором переходят в растворимый в расплаве уранилхлорид  $\text{UO}_2\text{Cl}_2$ ; что при электролизе расплавов, содержащих уранилхлорид, на катоде формируется осадок диоксида урана  $\text{UO}_2$  с совершенной кристаллической структурой частиц, причём электролиз можно вести до полного извлечения урана из расплава; что диоксид урана обладает высокой проводимостью электрического тока, которая, однако, ниже электропроводности солевого электролита, и это позволяет получать массивные сплошные катодные осадки. Было известно и про избирательность электролиза по отношению ко многим другим элементам в силу того, что потенциал разложения уранилхлорида положительнее потенциала разложения хлоридов большинства сопутствующих элементов. Успешному развитию

исследований в этом направлении во многом способствовала позиция начальника лаборатории электрокристаллизации Института высокотемпературной электрохимии Уральского филиала Академии наук СССР, будущего академика А.Н. Барабошкина, создавшего стройную теорию кристаллизации диоксида урана в режиме формирования устойчивого плоского фронта роста катодных осадков. Предстояло установить, насколько электрохимический диоксид урана пригоден в качестве материала активной зоны твэла реакторов на быстрых нейтронах. К пониманию этой проблемы пришли после изучения поведения твэлов с таблеточным урановым топливом в начальной фазе эксплуатации. До загрузки в реактор эти твэлы проходят сложный путь. Сначала готовят порошок диоксида урана с развитой (более  $10 \text{ м}^2/\text{г}$ ) удельной поверхностью. Его смешивают со связующими добавками, а из полученной массы прессуют таблеточные заготовки, которые подвергают высокотемпературному спеканию в восстановительной атмосфере. Спечённые таблетки подвергаются тщательному контролю на целостность, наличие дефектов и соответствие геометрических параметров требованиям технических условий. В твэле между таблеткой и оболочкой должен быть строго выдержан гелиевый зазор для обеспечения расчётного значения температуры как топлива, так и оболочки. Однако выдержанная до микронных допусков таблетка диоксида урана сохраняет свои размеры в течение короткого периода выхода реактора на мощность. В работающем твэле от центра активной зоны к периферии возникает температурный градиент не менее  $1\,700 \text{ }^\circ\text{C}$ , центральная зона сердечника твэла гомогенизируется, а вблизи оболочки сохраняется исходная структура таблетки. Таким образом, с завода-изготовителя поступает не твэл, а заготовка твэла, причем таблеточная технология — лишь один из способов внесения в твэл требуемого количества делящегося материала. Возникает естественный вопрос, а нужен ли такой стартовый путь диоксида урана? К тому же он многократно усложняется при переходе к МОКС-топливу из-за высокой химической и радиологической токсичности мелкодисперсного плутония. Именно поэтому группа специалистов из Всероссийского научно-исследовательского института неорганических материалов во главе с А.И. Каштановым начала исследования твэлов с виброуплотнённым сердечником. В качестве стартового материала использовали гранулят, полученный дроблением бракованных таблеток. Цикл исследований включал в себя дозирование гранулята полидисперсного состава в оболочку, уплотнение сердечника твэла на стандартном электродинамическом вибраторе ВЭД-500 при изменении частоты вибрации от 300 до 3 000 Гц и ускорения от 40 до  $70 \text{ g}^*$ , облучение экспериментальных образцов в одном из каналов реактора СМ и их послереакторные исследования. Последние показали чётко выраженную спечённую зону в центре образца и размытую структуру вблизи

\* Величина  $g$  варьируется от  $9,780 \text{ м/с}^2$  на экваторе до  $9,832 \text{ м/с}^2$  на полюсах. Стандартное значение, принятое при построении систем единиц, составляет  $9,80665 \text{ м/с}^2$ . — Прим. ред.

оболочки. Из этого следовала необходимость системных исследований виброуплотнённых твэлов с гранулятом из частиц диоксида урана, имеющих теоретическую или близкую к ней плотность. К этому времени уже был выбран режим электролиза, обеспечивающий высокую плотность частиц катодного продукта независимо от свойств и состава исходного материала. Опираясь на эту объективную информацию, в НИИАРе приступили к изучению процесса формирования стартовой структуры твэла из виброуплотнённого кристаллического диоксида урана. Катодный осадок был измельчён до порошка полидисперсного состава, затем классифицирован на шесть фракций. Экспериментальным путём было найдено соотношение фракций гранулята, при котором достигается максимальная эффективная плотность топливного сердечника в режиме виброуплотнения:

Частота вибрации .....	От 300 до 3 000 Гц
Ускорение .....	От 40 до 70 g
Амплитуда колебания .....	От 10 до 30 мкм

Послереакторные исследования макетных твэлов, облучённых в реакторе БОР-60, показали, как виброуплотнённый топливный сердечник в температурном поле проходит вступительную фазу формирования рабочей структуры. В центральной части образуется сплавленная зона, за ней следует гомогенная зона, а непосредственно к оболочке примыкает зона изначальной структуры полидисперсного топлива. Протяжённость зоны сплавления является обратной функцией эффективной плотности топливного сердечника ( $\rho$ ). При  $\rho$  не более  $8 \text{ г/см}^3$  в зависимости от тепловых нагрузок сплавление топлива может распространяться вплоть до оболочки. Экспериментально установлено и приборной техникой подтверждено формирование топливного сердечника при  $\rho_{\text{эфф}} = 9,2_{-0,3}^{+0,2} \text{ г/см}^3$  с отклонением от среднего значения плотности не более 3 %. Твэлы с такими параметрами имеют резерв по наращиванию линейной плотности теплового потока вплоть до  $700 \text{ Вт/м}$ , что недостижимо для твэлов с таблеточным топливом, в которых эффективная плотность не превышает  $8,5 \text{ г/см}^3$ . Различие двух типов топливных сердечников сказывается на всём протяжении эксплуатации твэлов и выражается через разные уровни термомеханического воздействия топлива на оболочку. Периферийный слой исходной структуры у виброуплотнённого твэла делает его, прежде всего в переходных режимах работы, более мягким с меньшим временем релаксации напряжений. При работе твэла в номинальном режиме растягивающее напряжение оболочки является определяющим фактором её жидкометаллического охрупчивания под действием теллура, образующегося при делении топлива. Легколетучий теллур в температурном поле твэла конденсируется вблизи изотермы около  $990 \text{ }^\circ\text{C}$ . При набросе (скачке) мощности эта изотерма в таблеточных твэлах перемещается на границу раздела «топливо — оболочка», в результате чего происходит жидкометаллическое охрупчивание оболочки за счёт растворения компонентов стали

в расплаве теллура по границам зёрен. В виброуплотнённых твэлах температура периферийного слоя за счёт лучшей теплопередачи между топливом и оболочкой на 150–300 °С меньше, чем в твэлах с таблеточным топливом, поэтому изотерма конденсации теллура в них смещена вглубь топливного сердечника и жидкометаллическое охрупчивание оболочки отсутствует.

Физико-химические процессы влияют на работоспособность твэлов. Независимо от структуры топлива под действием продуктов деления (цезий, йод) и внесённых с топливом примесей (хлор, углерод и кислород) происходят коррозионные повреждения оболочки. Цезий в температурном поле твэла мигрирует в более холодную область, не вызывая негативных последствий. Но в присутствии кислорода освобождающийся при делении топлива цезий вступает во взаимодействие с легирующим компонентом оболочки — хромом — с образованием хроматов цезия. После этого другие компоненты становятся доступны для окисления. Межкристаллитная коррозия может распространяться в глубину оболочки на 100–150 мкм вплоть до её разрушения. Установлено, что снижение кислородного потенциала топлива ведёт к уменьшению глубины коррозии оболочки. Цезий остаётся в свободном состоянии и связывает находящиеся в топливе галогены в инертные соединения. Гибкая технология виброуплотнения позволила кардинально решить эти проблемы за счёт введения в состав топлива при изготовлении твэла фиксированного количества геттера — гранул металлического урана. На поставленный ранее вопрос об альтернативном способе формирования топливного сердечника твэла можно ответить только утвердительно, к тому же способ расширяет стартовые условия, распространяя их на плутоний и регенерированное топливо. За таким утверждением лежат глубокие знания пирозлектрохимических процессов и умение изготавливать твэлы широкого диапазона, понимание процессов безопасности топливного цикла в целом и обращения с радиоактивными отходами в частности. За почти пятидесятилетний период работы реактора БОР-60 на виброуплотнённом МОКС-топливе изготовлено и испытано более 500 тепловыделяющих сборок. На массиве более 400 твэлов выгорание превысило 20 % т. а., в экспериментальных ТВС оно достигло 30 %, а в отдельных экспериментальных твэлах — 32,3 % т. а. при повреждающей дозе 90 сна. На типичных макро- и микроструктурах виброуплотнённого топлива ((U, Pu)O<sub>2</sub> + U) с различным содержанием плутония после испытаний в реакторе БОР-60 до выгорания 32 % т. а. полностью отсутствуют следы коррозионного повреждения внутренней поверхности оболочки в высокотемпературной части топливного сердечника.

Твэлы с виброуплотнённым урановым оксидным и МОКС-топливом прошли полный цикл дореакторных исследований, многолетние реакторные испытания и всесторонние послереакторные исследования. По их результатам виброуплотнённое оксидное топливо может уверенно претендовать на лидерство в комплектации активных зон реакторов на быстрых нейтронах. Это утверждение опирается на опыт испытаний и эксплуатации в реакторах БОР-60, БН-350, БН-600 и быстром физиче-

ском стенде (г. Обнинск) более 1 200 тепловыделяющих сборок (почти 47 000 твэлов), для которых на технологическом комплексе НИИАРа наработано более 7 300 кг виброуплотнённого оксидного топлива с использованием энергетического плутония (высокофонового), плутония оружейного качества (низкофонового) и продукта переработки отработавшего ядерного топлива на заводе регенерации топлива ПО «Маяк». Но безусловный приоритет имеет та научно-техническая база, на которую опираются все технологические решения по топливному циклу реакторов на быстрых нейтронах.

Одной из узловых проблем ядерной энергетики является обращение с отработавшим ядерным топливом. Из него следует вернуть в топливный цикл делящиеся материалы в форме, пригодной для повторного использования, а весь спектр продуктов деления привести в состояние, гарантирующее последующее безопасное обращение с ними. В мировой практике для этих целей преимущественно используются кислотное вскрытие топлива и разделение компонентов по водно-экстракционной схеме. В НИИАРе изначально не приняли такой подход для рецикла топлива реакторов на быстрых нейтронах прежде всего из-за несовместимости водно-органической среды с высокими радиационными полями, а, как было отмечено, взяли ориентацию на ионные жидкости. Уверенность в верности выбранного направления появилась после очередного посещения завода регенерации топлива производственного объединения «Маяк». Специалисты предприятия уверенно заявили, что отработавшее ядерное топливо реактора БОР-60 с высокой массовой долей делящихся материалов (9–30 %) и присущей ему удельной активностью (в  $10^3$  раз больше, чем у топлива реактора ВВЭР) можно перерабатывать только путём дозированной подпитки к топливу реактора ВВЭР. Поскольку необходимость в поиске вариантов способов регенерации отработавшего ядерного топлива реакторов на быстрых нейтронах отпала, в НИИАРе сочли нужным расширить систему изучения фундаментальных свойств солевых расплавов с получением количественных характеристик таких свойств, как плотность, мольный объём, вязкость, поверхностное натяжение, теплоёмкость, электропроводность, кинетика массопереноса и других. Одновременно расширились и углубились исследования поведения и свойств в расплавах всей гаммы элементов, сопутствующих рециклу ядерного топлива.

Подводя итоги деятельности, можно с удовлетворением отметить, что перейдя в область прикладных исследований, связанных с созданием конкретных технологий, в НИИАРе не испытывали недостатка в фундаментальной информации. Первой проверкой стало создание системы аттестации кристаллического диоксида урана в качестве топлива реакторов на быстрых нейтронах. Предстояло создать пилотную установку по производству достаточного объёма кристаллического диоксида урана, придать ему приемлемую для загрузки в твэлы форму, провести цикл реакторных испытаний и послереакторных исследований твэлов с виброуплотнённым кристаллическим оксидом урана  $UO_2$ , выйти на обоснованную конструкцию экспериментального виброуплотнённого твэла реактора БОР-60. Несмотря на то, что установка была предназначена для ре-

шения узкой задачи, при её создании предусмотрели постепенный переход к более масштабной наработке топлива и его регенерации. Следствием такого подхода явилось размещение оборудования комплекса в радиационно-защитной камере с дистанционным обслуживанием. Головной аппарат — хлоратор-электролизёр — был рассчитан на получение в одном цикле 6 кг топлива (кратно двум ТВС реактора БОР-60), предполагалось, что с этой отметки легче переходить на большую производительность. Изначально закладывалось требование простоты и надёжности конструкторских решений по основному и вспомогательному оборудованию.

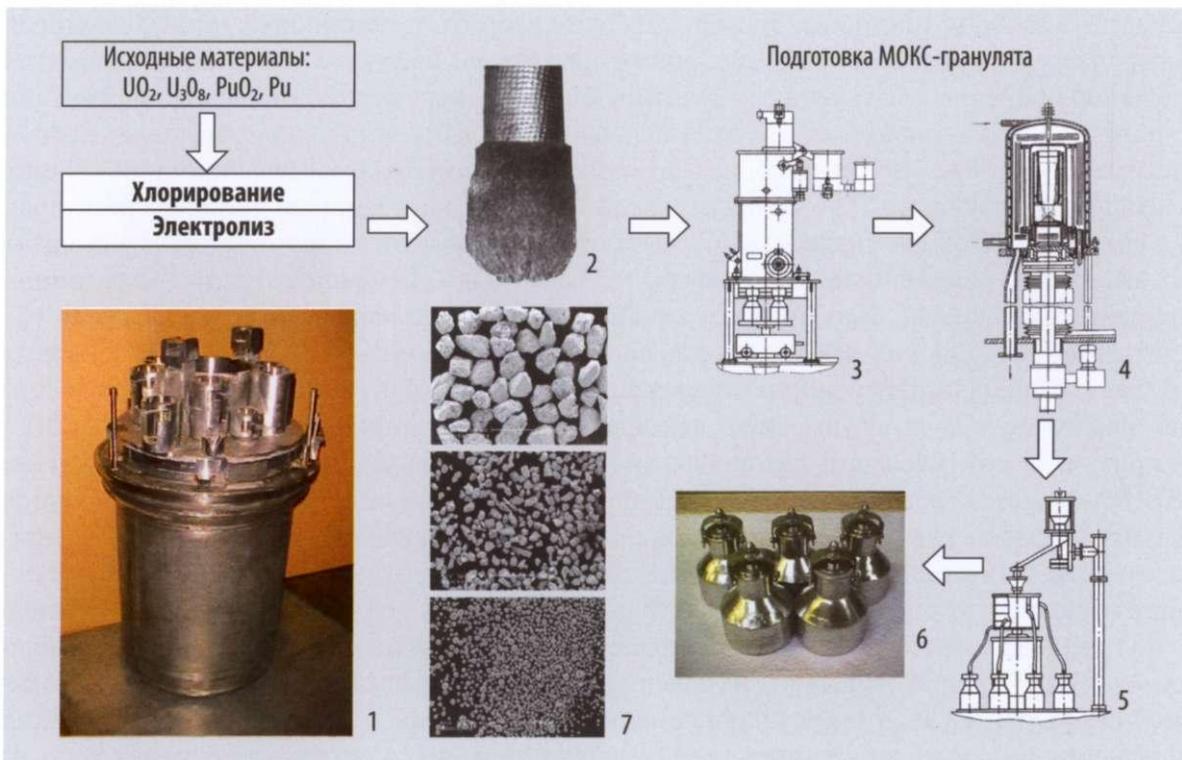


Схема производства гранулированного порошка из смеси диоксидов урана и плутония:

1 — хлоратор-электролизёр, в котором проводят стадии растворения исходных материалов урана и плутония в расплаве хлоридов щелочных металлов и электролиз; 2 — катодный осадок из смеси диоксидов урана и плутония; 3 — виброщепковой измельчитель; 4 — аппарат для вакуумно-термической очистки МОКС-гранулята от захваченных солей и примесей; 5 — классификатор для деления МОКС-гранулята на фракции; 6 — контейнеры с фракциями МОКС-гранулята для отправки на стадию изготовления твэлов методом виброснаряжения; 7 — крупная, средняя и мелкие фракции МОКС-гранулята

Это была новаторская работа. Хлоратор-электролизёр представлял собой ёмкость, изготовленную из пиролитического графита — пирографита. Ёмкость служила для под-

готовки расплавов, что на стадии хлорирования включало загрузку солей и исходных оксидов ядерных материалов, плавление солей и растворение оксидов воздействием газообразного хлора на расплав. При электролизе пирографитовая ёмкость являлась анодом. Массовая доля топливных материалов устанавливалась в пределах от 20 до 30 %. В подготовленный расплав вводили пирографитовый катод, и начинался электролиз, в ходе которого на катоде формировался сплошной катодный осадок диоксида урана. Катод извлекали из расплава и охлаждали. При охлаждении от катода самопроизвольно отделялся осадок, который направляли на операции, обеспечивающие получение топливного гранулята (дробление, измельчение, освобождение от захваченных солей и примесей, классификация). На выходе получали шесть фракций порошка гранулированного диоксида урана (с размером частиц от 20 до 1 000 мкм), каждая из которых сертифицировалась. От каждой фракции отбирали строго определённые порции, в сумме обеспечивающие топливную навеску на один твэл. Порции объединяли в смесителе, где гранулометрический состав навески усреднялся. Топливную навеску усреднённого гранулометрического состава загружали в оболочку твэла и уплотняли. После этого в оболочку устанавливали комплектующие детали, и твэл герметизировали. На стадии оптимизации гранулометрического состава топливной навески и параметров процесса виброуплотнения топливного сердечника проводили сквозной контроль эффективной плотности топливного сердечника и степени её отклонения от среднего значения. Подготовленные твэлы облучали в реакторе БОР-60 при заданной линейной плотности теплового потока и определённой температуре оболочки. Облучённые твэлы подвергали всесторонним материаловедческим исследованиям неразрушающими и разрушающими методами. Послереакторные исследования твэлов с виброуплотнённым кристаллическим диоксидом урана дали ожидаемые результаты. По работоспособности и степени взаимодействия между топливом и оболочкой они не уступали твэлам с таблеточным топливом.

Параллельно работам по аттестации топлива из виброуплотнённого кристаллического диоксида урана шли разработки технологии получения порошка кристаллического диоксида плутония с теоретической плотностью частиц, размер которых соответствовал шестой фракции уранового гранулята. Была изготовлена опытная партия твэлов, в которых часть шестой урановой фракции заменили диоксидом плутония. При облучении этих твэлов в реакторе БОР-60 было установлено, что структура топливного сердечника стабилизируется при выходе реактора на мощность, а далее твэл устойчиво работает весь период эксплуатации. Этим были начаты реакторные испытания виброуплотнённого МОКС-топлива на основе механической смеси диоксидов урана и плутония. Несколько позднее сформировался регламент электрохимического соосаждения кристаллических диоксидов урана и плутония из хлоридных расплавов. Началась работа по аттестации виброуплотнённого МОКС-топлива на основе электрохимически соосаждённой смеси диоксидов урана и плутония, ставшим позже штатным топливом реактора БОР-60. Под развивающиеся технологии производства гранулиро-

ванных оксидных топливных композиций специалистами Свердловского научно-исследовательского института химического машиностроения было разработано оборудование для дистанционного обслуживания в радиационно-защитных камерах. После того как технология производства гранулированного оксидного топлива вышла на постоянные показатели и стабилизировалось качество твэлов, сложились необходимые и достаточные предпосылки объединения всех установок в единый комплекс непосредственно при реакторе. Изначально предполагался комплекс их двух отделений: отделения регенерации и отделения рефабрикации топлива. По первому отделению было достаточно данных для формирования проекта, который представлялся как цепочка радиационно-защитных камер. В первую из них принимался исходный продукт, и там же проводилась его первичная подготовка. Следующая камера предназначалась для электрохимического процесса и очистки расплава. На завершающей стадии планировалось получение гранулированных композиций и их аттестация. За этими процедурами лежал опыт эксплуатации прототипа близкой конструкции. По второму отделению, конечным продуктом которого должна быть аттестованная тепловыделяющая сборка, такой целостной картины не было. Весь цикл был разобщён на отдельные стенды, и операции на них зачастую выполнялись персоналом вручную. Не исключалась возможность сборки твэлов в ТВС на участке производства тепловыделяющихборок на Электростальском машиностроительном заводе. Недостаточно было информации по дозиметрическим параметрам топлива в режиме его рецикла. На экспертном уровне было предложено процесс вести на автоматизированных линиях, размещённых в двух радиационно-защитных камерах. В первой из них работа начиналась с приёма гранулированных топливных композиций и завершилась герметизацией оболочки, а во второй предусматривался контроль качества твэлов, сборка и контроль ТВС. Предполагалось, что комплектующие детали твэлов и ТВС будут поступать на линию с Электростальского машиностроительного завода. Объём предстоящих работ был значительным. Кадровый и квалификационный ресурс НИИАРа его не перекрывал. Ситуация сложилась критическая, но благодаря стечению обстоятельств благополучно разрешилась: НИИАР посетил известный немецкий физик-ядерщик профессор К. Фукс в сопровождении заместителя председателя Госкомитета по атомной энергии Н.М. Синёва. Цель их визита заключалась в поиске возможных научно-технических направлений, где объединённый потенциал двух стран мог бы дать хорошую отдачу. Сотрудники НИИАРа изложили гостям планы по созданию замкнутого топливного цикла реакторов на быстрых нейтронах, и после короткой дискуссии о достигнутых результатах и предстоящих исследованиях все пришли к согласию: идею стоит поддержать. Идея перехода к стационарному топливообеспечению реактора БОР-60 и подключения к реализации специалистов и промышленной базы ГДР была одобрена и министром Е.П. Славским. Важным шагом на пути реализации проекта явилось создание постоянных рабочих групп из числа ведущих специалистов и представителей Министерства среднего машиностроения, объединённых

в последующем в международный коллектив специалистов. В рамках этого коллектива формировались базовые решения по концепции комплекса, взаимодействию партнёров по отдельным проблемам, готовились программы «холодных» испытаний оборудования, то есть испытаний без возникновения радиационных полей и радиоактивных загрязнений. Сначала были сформированы единые технические требования по составу и назначению технологического оборудования, общие подходы к радиационно-защитным камерам и комплексу в целом. Для повышения надёжности и ремонтпригодности оборудования договорились ограничить объём технологических операций, выполняемых на отдельных единицах оборудования (например, только засыпка топлива в оболочку). Роль связующего звена между единицами оборудования представлялась транспортной машине, работающей по принципу линейного двигателя. Её захваты принимали готовые изделия и устанавливали новые. Завершалась работа транспортной машины установкой твэла в промежуточный накопитель. Так сложилась общая технологическая линия производства, состоящая из четырех функциональных комплексов (от АК-I до АК-IV). На комплекс АК-I поступал контейнер с гранулированной топливной композицией полидисперсного состава. Продукт рассеивался на фракции, из которых формировалась навеска на один твэл. Навеска загружалась в смеситель, который транспортная машина передавала на стенд смешивания, а после на стенд засыпки топлива в оболочку, предварительно заполненную гелием. Затем топливный сердечник уплотнялся, в оболочку загружался верхний отражатель и верхняя заглушка твэла. В таком виде твэл устанавливался в магазин-накопитель. Основным назначением комплекса АК-II была герметизация твэла через приварку верхней заглушки к оболочке аргонно-дуговой сваркой. После её завершения проводили дезактивацию поверхности оболочек твэлов. Твэлы устанавливались в магазин-накопитель, который с помощью межкамерного транспортёра передавался на следующий комплекс. Комплекс АК-III, расположенный во второй камере, был предназначен для проведения комплексной аттестации твэлов (контроль герметичности, равномерности распределения плотности топливного сердечника, геометрических параметров и т.д.). По результатам контроля транспортная машина устанавливала твэлы в магазины либо для годных, либо для бракованных твэлов. На комплекс АК-IV поступал магазин с годными твэлами. Он устанавливался на ступень сборочной машины, захваты которой по заданной программе формировали пучок твэлов, а затем придавали ему шестигранную форму. На пучок твэлов надвигался чехол ТВС, затем к ней приваривался хвостик, и проводились штатные операции контроля качества ТВС: проверка герметичности твэлов, геометрических параметров ТВС и её гидравлического сопротивления. Вскоре после этого началось изготовление и испытание оборудования на стендах предприятий-изготовителей.

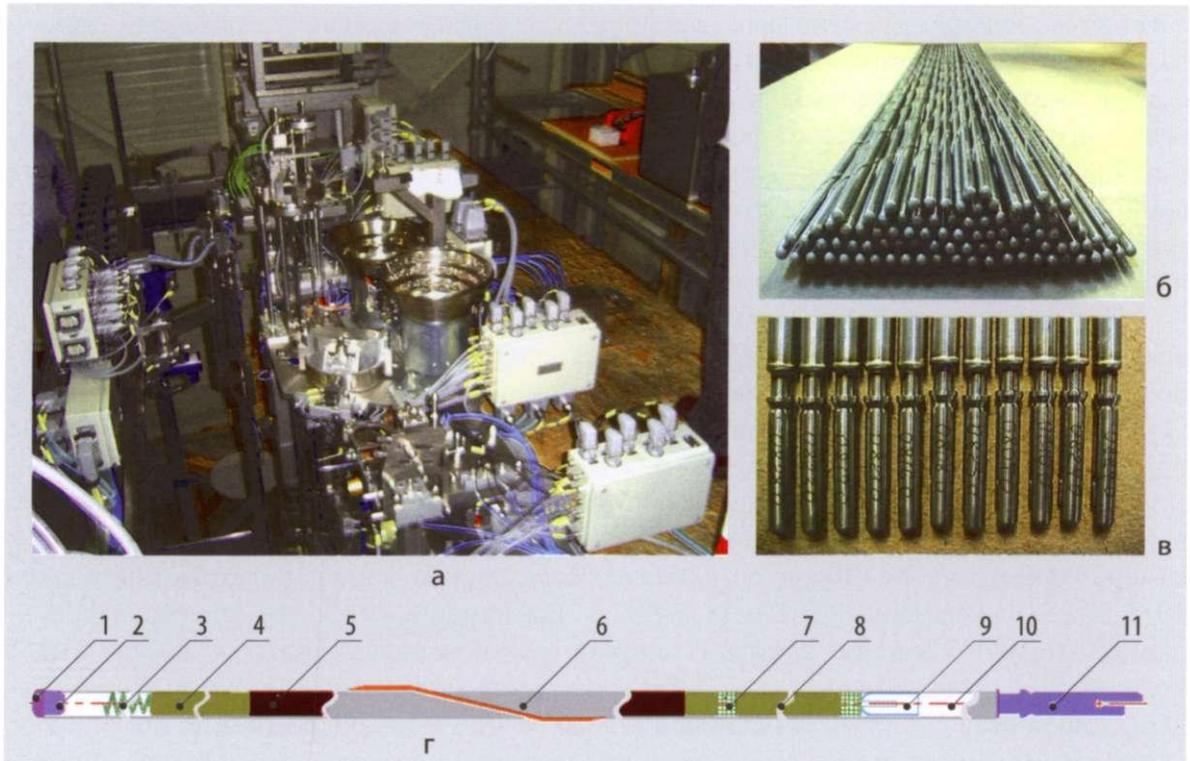
Дистанционное управление разрабатываемыми технологическими процессами предполагает высокий уровень автоматизации. Указанные особенности накладывают повышенные требования к надёжности системы управления. Технические средства

автоматизированных систем управления технологическими процессами должны были обеспечивать не только автоматический сбор и обработку информации, но и принятие решения и его реализацию. Основные функции операторов сводились к контролю функционирования системы и разрешению нестандартных ситуаций. Для этого были предусмотрены специальные средства ручного управления. После сравнения нескольких вариантов была выбрана система управления, элементной базой которой являются так называемые полуэлектронные логические блоки. Элементарные логические функции в таких блоках реализуются в основном с помощью герконовых реле, диодов и биполярных транзисторов. Подобные системы имели хороший опыт эксплуатации в ГДР на электростанциях и автоматизированных поточных линиях ряда заводов. Исполнительными органами в них чаще всего служили пневмоцилиндры, электродвигатели и электромагниты. Управление осуществлялось по конечным положениям, которые фиксировались выключателями. Каждый из четырех комплексов имел свою самостоятельную систему управления. Они включали по несколько функциональных подсистем управления, предназначенных для автоматизированного управления процессами. В подсистеме управления реализовывались все действия, необходимые для ведения технологического процесса. Она была построена таким образом, чтобы технологический процесс обрабатывался последовательно отдельными этапами программы — тактами. Такт — это группа команд, управляющая одним элементарным движением. Каждая подсистема имела пять режимов работы:

1. Выключено: в этом случае работа объекта управления заблокирована.
2. Ручное управление: управление процессом осуществляется оператором с передвижных пультов ручного управления, имеющих индикацию состояния датчиков.
3. Потактовое управление: алгоритм работы подсистемы управления таков, что при нажатии кнопки «Старт» выполняется очередной такт.
4. Автономное управление: в этом режиме подсистема управления выполняет весь алгоритм цикла установки от первого до последнего такта и останавливается в исходном состоянии.
5. Комплексное управление: в этом режиме подсистема управления обеспечивает циклическую работу установки.

Система управления всем комплексом — более высокий уровень, обеспечивающий согласование одновременной работы подсистем управления, включённых в комплекс, и обмен с другим комплексом. Исполнительные органы всей системы управления разрабатывались таким образом, чтобы при исчезновении электроснабжения или сжатого воздуха не совершались несанкционированные движения, а захваты удерживали изделия. При этом система управления должна была блокировать дальнейшее выполнение алгоритма. Для сохранения состояния выходных регистров и схемы логического управления в случае исчезновения электроснабжения применялось аварийное электроснабжение этой части оборудования и системы управления от аккумуляторов. Разработанная система управления весь период работала достаточно надёжно. Отказы

полуэлектронных блоков логики составили 3–4 % от всех электротехнических отказов, основная масса которых была связана с отказами специально разработанных измерительных устройств (измерение массы в камере, геометрических размеров и т.д.).



Внешний вид автоматизированной линии для изготовления твэлов с виброуплотнённым МОКС-топливом (а), пучка готовых твэлов реактора БН-600 (б), маркировки твэлов (в) и принципиальная схема твэла реактора БН-600 (г):

- 1 — сварной шов; 2 — верхняя заглушка; 3 — фиксатор; 4 — таблетка верхней зоны воспроизводства; 5 — виброуплотнённое топливо; 6 — оболочка с дистанционирующей проволокой; 7 — газопроницаемая пробка; 8 — таблетка нижней зоны воспроизводства; 9 — стакан; 10 — газовая полость; 11 — нижняя заглушка

После приёмки от изготовителей оборудование было поставлено на испытания в составе разработанных комплексов по программе, максимально приближенной к режиму штатной эксплуатации в условиях ограниченного вмешательства персонала. Заключительный этап испытания включал демонстрацию работы цикла в течение одного месяца. И вот наступил момент, когда Г.С. Афонин, заместитель председателя Госкомитета по атомной энергии СССР, и представители ГДР скрепили своими подписями акт о передаче оборудования для установки «Орёл». За этим — автоколонна по маршруту Дрезден — Димитровград и прибытие в НИИАР отряда немец-

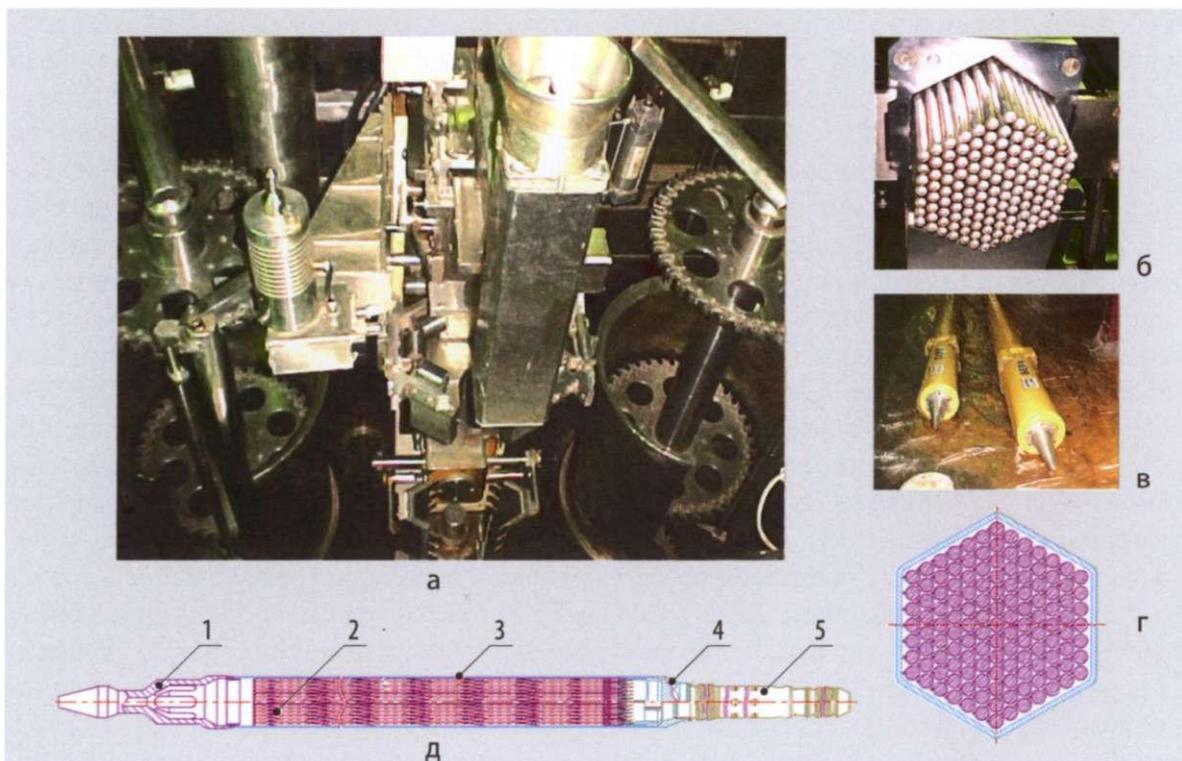
ких специалистов (до 80 человек) для проведения монтажных, пусконаладочных работ и ввода установки. Им же предстояло обучить будущий эксплуатационный персонал. Этот важнейший этап завершился комплексным испытанием установки на грануляте из естественного урана с выходом на коэффициент использования оборудования (отношение времени работы к общему, с учётом времени устранения отказов), равный 0,93. При этом основная доля отказов приходилась на нарушения в системах подачи сжатого воздуха либо энергопитания. В итоге было принято решение о переводе всего комплекса в режим формирования активной зоны реактора БОР-60 твэлами с виброуплотнённым топливом на основе обогащённого урана. Возникает естественный вопрос: почему уран, а не плутоний? Надо отметить, что на момент подписания соглашения и всего периода совместной работы использование плутония (оружейного качества и соответствующего назначения) для энергетики не предполагалось.

Но надёжность отдельных единиц оборудования, включая технологические комплексы АК-I, II, III, IV, еще не является критерием надёжности установки в целом. Её необходимо рассматривать в совокупности с системой жизнеобеспечения, заложенной в конструкцию радиационно-защитных камер, в которых смонтировано оборудование. Безусловно, это уникальное сооружение, не имеющее мировых аналогов. Кроме технологического обеспечения конструкция комплексов должна гарантировать высокий уровень радиационной безопасности. Размеры радиационно-защитных камер, зависевшие от габаритов размещаемого оборудования, в метрах составляли  $30 \times 6,8 \times 2,5$  для камеры РФ-1 и  $38 \times 6,8 \times 2,5$  для камеры РФ-2, где первая цифра — длина, вторая — высота, третья — ширина соответственно. Каждая камера имела подкамерное помещение высотой 2,5 м. Передняя стенка камер, на которой установлены смотровые системы, выходила в операторские и подоператорские помещения, где размещены щиты и пульты управления, а задняя — в ремонтный коридор. Последняя была оснащена спаренными герметичными защитными дверями. Верхняя часть камер заканчивалась монтажным залом, в котором находилась система радиационно-защитных боксов для подготовки узлов оборудования к загрузке в камеру либо их приёма из камеры. Соответственно в верхнем перекрытии камер были установлены приборные и поворотные шлюзы. Монтажный зал имел выход в транспортный въезд, что обеспечивало вывоз из радиационно-защитных камер готовой продукции и контейнеров с отходами. Каждая радиационно-защитная камера имела горизонтальный транспортёр, выходивший в бокс загрузки. Он обеспечивал доставку в камеру необходимых комплектующих. Связь между радиационно-защитными камерами осуществлялась межкамерным транспортёром. Камеры были оснащены автономной системой приточно-вытяжной вентиляции. Автономность была обусловлена тем обстоятельством, что в камеру РФ-1 подавался воздух, предварительно очищенный от влаги. Выходящий из камер воздух проходил две ступени очистки: на фильтрах внутри камеры и на общем воздушном коллекторе. А в местах возможного образования радиоактивных аэрозолей устанавливалась локальная система предварительной

очистки воздуха. Камеры имели принципиальное отличие: поскольку их столешница и задняя стенка должны отвечать машиностроительным нормам, так как на них монтируется оборудование, работающее в условиях жёстких допусков, то для погашения механической вибрации столешница опиралась на рёбра жёсткости. При эксплуатации автоматизированной линии в штатном режиме не требовалось оперативного вмешательства в её работу, а достаточно было поддерживать в заданном режиме энергосистему и параметры сжатого воздуха для пневмоприводов. Режим устойчивой эксплуатации любого комплекса требует проведения плановых ремонтно-профилактических работ. Кроме того, бывают внеплановые работы, возникающие либо по техническим причинам, либо из-за ошибок персонала. Для этого использовалась специальная ремонтная оснастка, но главная нагрузка ложилась на средства дистанционного обслуживания: силовые и копирующие манипуляторы, камерные краны. Размещение технологического оборудования в одной радиационно-защитной камере открывало возможность рационального и эффективного использования её объёма.

Обобщая итоги пройденного пути, можно уверенно сказать, что в НИИАРе «положили в копилку знаний» по ядерной энергетике новый тип твэла и автоматизированное, дистанционно управляемое производство топливных сборок для активных зон реакторов на быстрых нейтронах — необходимый элемент замкнутого топливного цикла. В НИИАРе с первых же дней организации профильной лаборатории приступили к аттестации поведения плутония в солевых расплавленных системах с целью получения фундаментальных знаний и их приложения к конкретным проблемам получения топливных композиций. В результате были разработаны технологии получения кристаллических порошков диоксида плутония и смеси диоксидов урана и плутония. На основе этих технологий были изготовлены и испытаны в реакторе БОР-60 экспериментальные твэлы с уран-плутониевым оксидным топливом. Так была подготовлена почва для внедрения «Комплексной программы по разработке технологии получения гранулированного оксидного топлива, изготовления и испытания виброуплотненных твэлов и ТВС в реакторах на быстрых и тепловых нейтронах» от 4 декабря 1978 года № 208 непосредственно на установке «Орёл». Хотя официально программа разрабатывалась для уранового топлива, рассматривался вариант и для рецикла топлива. Поэтому решение о переходе к плутониевой программе было для специалистов НИИАРа ожидаемым. Для стабильной работы с плутонием, продуктом нового качества, предстояло внести некоторые изменения и дополнения в оборудование и системы управления. Основное изменение претерпел стенд сварки. Аргонно-дуговая сварка с расходным вольфрамовым электродом давала высокий процент брака, поэтому она была заменена новой разработкой Научно-исследовательского и конструкторского института монтажной технологии — дугой, управляемой магнитным полем. Комплекс АК-III был дополнен системой контроля распределения плутония в твэле по его собственному излучению, фиксируемому германийтитиевым детектором. Признаком брака считалось отклонение от среднего значения, превышающее 10 %.

Естественно, главной заботой при переходе в плутониевый режим была радиационно-экологическая безопасность. Безопасность работы с материалом, генерирующим радиоактивные аэрозоли, обеспечивалась физическими барьерами между ним и окружающей средой, но в основе её лежали свойства обрабатываемого объекта. Для плутония прежде всего это аэрозольная активность, генерируемая частицами субмикронных размеров. Для предлагаемого технологического цикла выход аэрозолей плутония практически был исключён. При растворении в расплаве плутоний находился в форме ионных комплексов с нулевым выходом аэрозолей, а готовая продукция была представлена кристаллами, минимальный размер которых превышал 20 мкм. Важно отметить, что при измельчении катодного осадка происходило разрушение межкристаллитных связей. В итоге свойства обрабатываемого объекта и трехступенчатая система очистки воздуха на установке обеспечивали содержание радиоактивных аэрозолей в воздухе ниже 5 % предельно допустимого уровня при переработке более 500 кг преимущественно высокофонового плутония.



Внешний вид автоматизированной машины для изготовления ТВС с виброуплотнённым топливом (а), процесса втягивания пучка твэлов в чехловую трубу ТВС (б), контейнеров для отправки готовых ТВС потребителю (в), а также поперечное сечение (г) и принципиальная схема (д) ТВС реактора БН-600:

1 — головка; 2 — пучок твэлов; 3 — чехол; 4 — переходник; 5 — хвостовик

Технологический комплекс «Орёл» начал функционировать в режиме наработки смешанного уран-плутониевого оксидного топлива, и в 1981 году активная зона реактора БОР-60 приобрела плутониевый «облик». Привлекательной стороной цикла производства твэлов явился балансовый показатель. Он был зафиксирован после прохождения через установки 816 кг топлива и изготовления около 9 000 твэлов. Разница между входной массой топливных компонентов и массой топлива в твэлах составила 0,36 % или 2,953 кг. При этом с мест дозирования гранулята было собрано 2,61 кг топлива. Таким образом, разбаланс по ядерным материалам составил 0,042 %. Это, несомненно, гражданский подвиг коллектива исполнителей, загоревшихся идеей замкнутого топливного цикла и пришедших к ней не по принуждению, а по убеждению, прошедших дистанцию от нулевой отметки до реакторного воплощения. Весь цикл: от изготовления исходных компонентов топлива до готовой ТВС — был максимально приближен к условиям замкнутого топливного цикла реакторов на быстрых нейтронах, контур которого достаточно ясно обозначился в ходе выполнения этой большой работы. Топливный цикл включал в себя следующие составляющие:

- 1) приёмка отработавших ТВС, отделение топлива от металла чехла и оболочки;
- 2) переработка отработавшего топлива, включая растворение топлива в расплаве солей и штатный режим получения гранулированных топливных композиций различного состава в зависимости от условий потребителя топлива, с добавлением двух новых по значению, но типичных по использованию операций, таких как:
  - электрохимическая очистка расплава от электроположительных продуктов деления: элементов платиновой группы (рутения, родия, палладия), циркония, ниобия и других (проводится перед выделением топливных композиций);
  - электрохимическая (для последующего использования солей) или фосфатная (для захоронения солей и продуктов деления) очистка расплава от электроотрицательных продуктов деления — группы редкоземельных элементов (проводится после серии процессов получения топливных композиций);
- 3) подготовка гранулированных порошков топливных композиций (проводится на дистанционно обслуживаемом оборудовании);
- 4) автоматизированный процесс виброснаряжения тепловыделяющих элементов;
- 5) автоматическая сборка ТВС.

Были проведены демонстрационные эксперименты по переработке отработавшего МОКС-топлива реактора БН-350 с выгоранием топлива, равным 4,5 % т. а., и двух ТВС, облучённых в реакторе БОР-60 до выгорания 21,4 и 24,4 % т. а., с возвратом регенерированного топлива в реактор. Опираясь на опыт эксплуатации всей установки в дистанционных условиях и результаты системных исследований по регенерации отработавшего ядерного топлива, специалисты НИИАРа были готовы к демонстрации замкнутого топливного цикла и обоснованию топливно-энергетических комплексов. К этому времени обозначились более актуальные задачи. В долгосрочной программе развития ядерной энергетики значительное место уделялось реакторам на быстрых

нейтронах: начиная с головного энергоблока БН-800 и заканчивая переходом к серийным реакторам большой мощности типа реактора БН-1600. Задача сводилась только к плутониевым активным зонам. Отечественный опыт использования плутония в атомной энергетике ограничивался работой (с 1981 года) в плутониевом режиме реактора БОР-60, а нужны были аттестованные ТВС энергетических реакторов на быстрых нейтронах. В этой связи руководство Министерства среднего машиностроения приняло решение о создании на базе установки «Орёл» опытно-исследовательского комплекса по производству уран-плутониевого оксидного топлива, твэлов и ТВС для испытаний в действующем реакторе БН-600. Этот реактор был рассчитан на урановую активную зону. Из-за условий безопасности можно было перевести на плутоний только его зону большого обогащения, в которой размещалось 98 сборок, а ежегодная подпитка составляла 50 тепловыделяющих сборок или 6 350 твэлов. Эти величины обеспечивались при производительности установки 10 твэлов в час, близкой к производительности установки «Орёл». Требовалось создать новую линию и вписать её в существующие габариты радиационно-защитных камер при увеличении размеров твэлов и ТВС в 2,5 раза. Но наши партнёры из ГДР отказались участвовать в решении этой проблемы. Статус главного конструктора оборудования сохранился за Свердловским химмашем. Коллектив специалистов работал под непосредственным руководством Г.И. Чечётина. Главным конструктором ТВС было назначено Опытное конструкторское бюро машиностроения, технологом-разработчиком твэла — НИИАР. Конструктором и изготовителем одного из сложнейших комплексов — установки для сборки ТВС — было назначено Центральное конструкторское бюро машиностроения. Создание комплекса по дезактивации твэлов поручено Всероссийскому научно-исследовательскому институту радиотехники. Предметно изменилась и роль НИИАРа: из ведущих технологов установки и специалистов института был сформирован объединённый коллектив, в задачу которого входила разработка технической документации на комплекс основных установок и систему управления комплексом. Создание технологии, разработка проектов и изготовление оборудования по сварке твэлов и ТВС были поручены Научно-исследовательскому и конструкторскому институту монтажной технологии. Управление проектом и координацию работ на всех этапах его реализации возложили на координационный совет. Руководил советом заместитель министра среднего машиностроения Л.Д. Рябев. Высокий профессионализм исполнителей, чёткая организация и координация работ позволили выполнить весь комплекс работ в период с 1987 по 1991 год, ввести установку в опытную эксплуатацию и приступить к фазе создания оборудования, ставя перед собой следующие базовые задачи:

- развитие технологических и проектно-конструкторских решений установки «Орёл» — основы топливообеспечения энергетических реакторов на быстрых нейтронах — до опытно-промышленного уровня;
- комплексное обоснование в реакторе БН-600 работоспособности тепловыделяющих сборок с виброуплотнённым МОКС-топливом;

- отработку оборудования по производству гранулированных топливных композиций, тепловыделяющих элементов и сборок в условиях дистанционной эксплуатации, максимально приближенных к последующему рециклу топлива.

Для того чтобы выполнить условие создания комплекса — рационально использовать радиационно-защитные камеры, инженерные системы здания 180 и элементы оборудования установки «Орел», требовались максимальная концентрация сил и активное использование предшествующего опыта. Первым значимым результатом этих усилий явилась идея промежуточного транспортного устройства. В его функции входил приём оболочки из захватов транспортной машины твэлов, доставка оболочки к стенду, опускание в приямок столешницы камеры до уровня рабочего механизма, а также возврат твэла транспортной машине после выполнения соответствующего технологического цикла. При этом транспортная машина не изменялась, менялось только расположение захвата рук. Важным результатом такого решения явилось сохранение вертикального расположения твэла, установка его верхней части в зоне осмотра через смотровые системы и эффективное использование технологических проходов в столешнице и стенах камеры, а в ряде случаев — использование исполнительных механизмов предыдущих стендов. Далее шло обычное оснащение установки рабочими органами. Переход на втором комплексе на сварку дугой, управляемой магнитным полем, позволил перейти от индивидуального к групповому контролю твэлов на герметичность.

Магазины с твэлами камерным краном передавались на комплекс сборки и контроля ТВС. Этот комплекс, по сравнению со своим предшественником в составе установки «Орёл», претерпел наибольшие изменения как по принципам монтажа ТВС, так и по объёму и содержанию контрольных операций. Оригинальной частью комплекса является разработанная в Центральном конструкторском бюро машиностроения машина сборки ТВС. Её основные элементы — автоматический сборочный манипулятор, предназначенный для дистанционной сборки пучка твэлов по специальной программе на пластины переходников тепловыделяющей сборки, и полуавтоматическая сборочная машина для сборки ТВС в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах. В состав автоматического сборочного манипулятора входили: манипулятор автоматический для нанизывания твэлов на пластины внутреннего переходника ТВС по программе в автоматическом режиме (со своей транспортной системой); два штатных магазина твэлов для размещения в каждом по 40 твэлов (в одну ТВС устанавливается всего 127 твэлов: 91 центральный и 36 периферийных); два устройства шаговой подачи (механизмы поворота магазинов с твэлами на 9°) на координату приёма твэла манипулятором (одно устройство для периферийных, другое — для центральных твэлов). В состав полуавтоматической сборочной машины входили: траверса, позволявшая вертикально вытягивать шток с переходником из чехла ТВС и втягивать собранный пучок твэлов (127 штук) внутрь чехла; гайковёрт, служивший для отвинчивания и завинчивания гайки хвостовика ТВС; захваты переходника и чехла; пульт управления. Автоматический сборочный ма-

нипулятор и полуавтоматическая сборочная машина последовательно выполняли следующие функции. Магазины с центральными и периферийными твэлами (по 40 штук в каждом) камерным краном транспортировались на место сборочной машины ТВС. Шестигранная чехловая труба в сборе перемещалась камерным краном за хвостовик на место сборочной машины и устанавливалась в упор чехла. Включалась в работу сборочная машина ТВС, при этом гайковерт и траверса сборочной машины поднимались вверх до крайнего положения. Включался в работу автоматический сборочный манипулятор, который измерял координаты пластин переходника и заносил данные в запоминающее устройство с целью точного нанизывания каждого твэла на определённую пластину переходника в соответствии с программой. Затем манипулятор по установленной программе подъезжал к магазинам твэлов, забирал твэл из магазина и транспортировал его на пластину переходника, а далее — на позицию нанизывания в соответствии с программой. Эти операции повторялась 127 раз до тех пор, пока не был нанизан пучок из 127 твэлов. Далее закрывались формователи полуавтоматической сборочной машины для придания собранному пучку твэлов шестигранной формы, захват переходника открывался. Траверса с захватом штока переходника поднималась вверх, при этом происходило втягивание пучка твэлов внутрь чехловой трубы ТВС с контролируемым усилием до 9 810 Н. Втягивание происходило до упора штока переходника, открывалась траверса, и гайковерт поднимался в крайнее верхнее положение, упор чехла с собранной ТВС выдвигался, гайковерт и траверса опускались в исходное положение, происходила сборка ТВС. Собранная (но без сварки) ТВС транспортировалась к кантователю с установленным в нём контейнером, верхний зажим кантователя открывался, камерным краном ТВС устанавливалась в контейнер кантователя хвостовиком вверх, верхний зажим кантователя закрывался, кантователь поворачивался на  $180^\circ$  (хвостовиком вниз, а торцом шестигранной трубы вверх). Нижний зажим кантователя открывался, и контейнер с установленной в нём ТВС транспортировался на установку сварки ТВС. Контейнер с ТВС опускался в приёмное гнездо установки сварки, включая в работу подъёмник ТВС, при этом торцом шестигранной трубы поднимался на позицию сварки, контейнер оставался на месте, с помощью зажимов ТВС фиксировалась. Силовым манипулятором на торец шестигранной трубы устанавливалась головка ТВС, поворачивалось поджимное устройство, и головка ТВС сварочным буртиком поджималась к шестигранной трубе, подводя горелки, которые с помощью телевизионных камер настраивались на позицию сварки, включалась продувка аргона, а через 90 с — сварка в импульсном режиме и привод вращения ТВС, при этом сварочные горелки по копирующему устройству с постоянным зазором проводили сварку ТВС. Поворот ТВС продолжался  $210^\circ$ , что позволяло делать перекрытие сварного шва на  $30^\circ$ , затем с помощью подъёмного устройства «заваренная» ТВС поднималась для последующей транспортировки. Установка сварки ТВС позволяла проводить автоматическую импульсную аргонно-дуговую сварку двумя осесимметричными дугами переходников с чехловыми трубами ТВС при изготовлении сборочной единицы «труба в сборе» и транспортных головок с чехловыми трубами ТВС. Размер

шестигранных чехловых труб под ключ — 94,5 и 96 мм с толщиной стенок 2,5 и 2,0 мм соответственно. Установка включала в себя: устройство перемещения сварочных головок по вертикали и горизонтали; устройство вращения контейнера с ТВС во время сварки; две телекамеры, позволявшие настраивать электроды на позицию сварки; механизм измерения биения головки относительно чехловой трубы после сварки. Контроль качества основных параметров ТВС проводился в автоматическом режиме на соответствующих стендах комплекса АК-IV. Тепловыделяющая сборка подвергалась таким контрольным операциям, как:

- определение гидравлических характеристик ТВС на установке газовой продувки посредством измерения расхода воздуха через ТВС и перепада давления;
- групповой контроль герметичности твэлов в составе ТВС в испытательной вакуумной реторте с помощью гелиевого течеискателя;
- контроль геометрии ТВС (три раза с поворотом ТВС на 120°);
- радиографический контроль сварного шва «головка — чехол»;
- цветная дефектоскопия после термообработки сварного шва ТВС с помощью индукционного нагрева в среде инертного газа (аргона) с выдержкой при этой температуре в течение 20 мин.

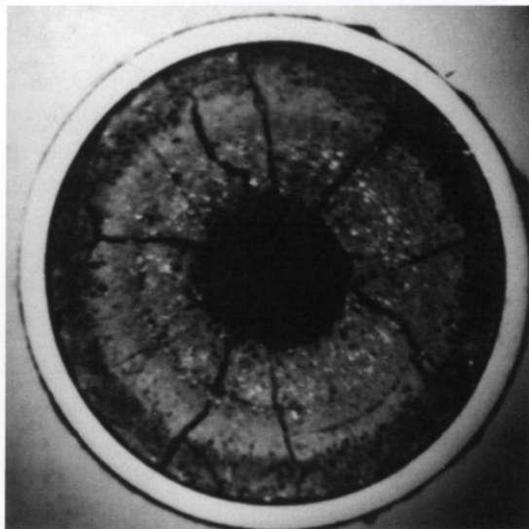
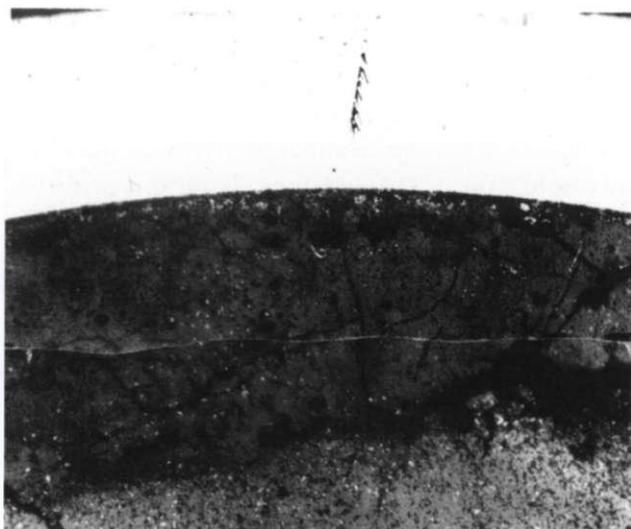
Если на какой-то из контрольных операций ТВС браковалась, то она передавалась на установку демонтажа, откуда твэлы отправлялись на повторный контроль. Сложнейший цикл работ, включавший демонтаж технологического оборудования, дезактивацию радиационно-защитных камер большой протяжённости (78 м) и объёма (1 169 м<sup>3</sup>), их реконструкцию, создание уникального автоматизированного оборудования по сборке и контролю твэлов и ТВС энергетических реакторов, был выполнен в период с 1987 по 1990 год. Объекты приняты государственной комиссией в опытную эксплуатацию. Программа испытаний комплекса включала функциональное взаимодействие систем установки, предпроизводственные испытания на гранулированном диоксиде урана, устранение замечаний, выявленных на этом этапе, и переход к эксплуатации на гранулированном оксидном уран-плутониевом топливе. Качество изготавливаемых твэлов и ТВС целиком соответствовало технической документации. В результате был достигнут высокий уровень надёжности оборудования и системы управления, превосходящий предшествующую установку.

Итоги эксплуатации опытного исследовательского комплекса и направления его дальнейшего использования в энергетической стратегии отрасли рассматривались на заседании научно-технического совета Министерства среднего машиностроения и его секций. Для понимания действий руководства министерства необходимо принять во внимание, что, кроме опытного исследовательского комплекса, на химическом комбинате производственного объединения «Маяк» велось строительство промышленной установки для обеспечения плутониевым топливом серийных энергетических реакторов на быстрых нейтронах. В отличие от опытного исследовательского комплекса на установке планировалось изготовление твэлов из таблетированного топлива. Поэто-

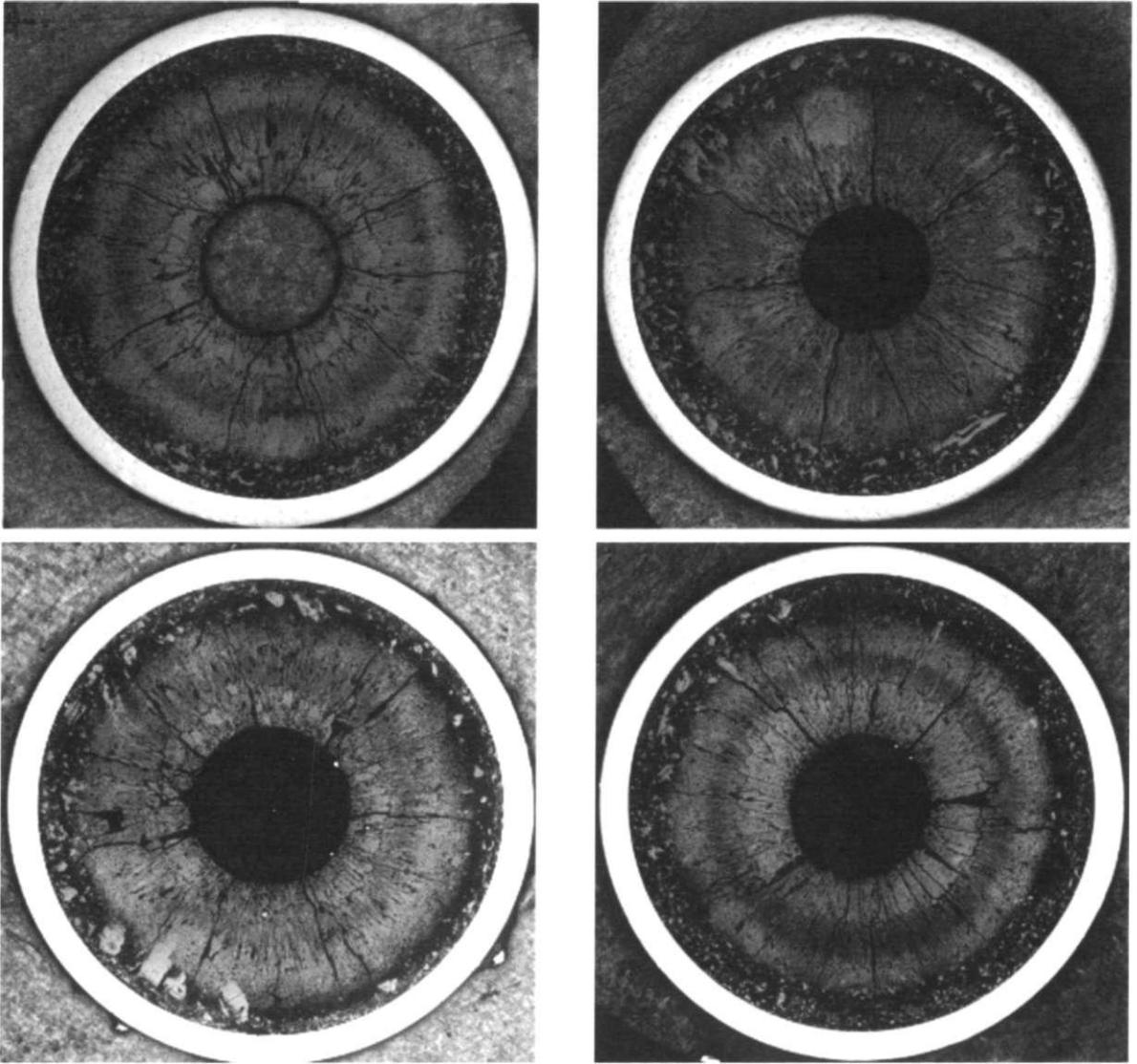
му сравнение уровня работоспособности двух типов твэлов на этапе, предшествующем промышленному производству, представлялось крайне необходимым. К тому же на химическом комбинате ПО «Маяк» работали пилотные установки «Гранат» и «Пакет», на которых изготавливались твэлы для испытания в реакторе БН-600. Это явилось основанием для разработки «Комплексной программы работ по переводу реактора БН-600 на гибридную активную зону с таблеточным и виброуплотнённым уран-плутониевым оксидным топливом». Результаты материаловедческих исследований твэлов с выгоранием 10,5 % т.а. позволили установить, что при штатных режимах облучения общее состояние всех компонентов ТВС и твэлов удовлетворительное, а нарушений сплошности, то есть полного и равномерного заполнения, топливного сердечника и осевого массопереноса топлива не обнаружено.

### Коэффициент надёжности работы оборудования автоматизированных установок в разные годы

Комплекс	Название установки и используемое топливо						
	Орёл					Опытный исследовательский комплекс	
	UO <sub>2</sub>		PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>			UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub>
1978 г.	1979 г.	1980 г.	1981 г.	1986 г.	1990 г.	1993 г.	
АК-I	0,74	0,75	0,78	0,93	0,90	0,70	0,95
АК-II	0,93	0,91	0,99	0,99	0,80	0,80	0,99
АК-III	0,91	0,87	0,86	0,85	0,90	0,90	0,95
АК-IV	0,91	0,89	0,95	0,98	0,91	0,91	0,97



Микро- (слева) и макроструктура (справа) сечения твэла,  
облучённого в центре активной зоны реакторе БОР-60 до выгорания 32 % т. а.



Типичная макроструктура поперечных сечений твэла  
в различных плоскостях по высоте активной зоны реактора БН-600 при штатном выгорании топлива

К сожалению, высокие научно-технические достижения пришлось на время, которое характеризовалось падением интереса общественности к ядерной энергетике, в том числе из-за событий на Чернобыльской АЭС. На смену оптимистическим прогнозам развития ядерной энергетике пришли пессимистические. В итоге уникальный технологический комплекс, не имеющий аналогов, перешёл в категорию демонстрационного объекта. Некоторое оживление в его работу вносили иностран-

ные инвесторы. По контракту с японской энергетической компанией «ТЕРСО» для испытания в реакторе БН-600 была изготовлена 21 тепловыделяющая сборка, в том числе три ТВС из плутония оружейного качества. Периодически поступали заказы от концерна «Росэнергоатом». Ожидалось, что с принятием решения о строительстве энергоблока с реактором БН-800 будет реанимирован комплекс топливообеспечения, а опыт эксплуатации реактора БОР-60 на уран-плутониевом топливе (с 1981 года и до настоящего времени) будет максимально востребован.

По уровню знаний, опыту создания и эксплуатации технологических комплексов специалисты НИИАР превзошли задачу, ранее считавшейся главной, — обеспечение плутониевым топливом активных зон реакторов на быстрых нейтронах, вплотную подойдя к решению стратегической проблемы по созданию топливно-энергетических комплексов на базе реакторов на быстрых нейтронах с пристанционной установкой по рециклу делящихся материалов и автоматизированному, дистанционно управляемому процессу изготовления твэлов и ТВС. Все составляющие замкнутого топливного цикла прошли комплексную аттестацию на базе реактора БОР-60. Найдены оптимальные решения по рециклу делящихся ядерных материалов с выделением продуктов деления в компактной форме, пригодной для хранения и захоронения. Были созданы необходимые предпосылки для постепенного перевода реактора БН-800 с открытого на закрытый топливный цикл на базе пирозлектрохимической технологии обращения с отработавшим ядерным топливом и технологии изготовления тепловыделяющих элементов методом виброуплотнения.

В работах по созданию и освоению технологии производства и переработки виброуплотнённого МОКС-топлива для реакторов на быстрых нейтронах принимал участие большой коллектив научных и инженерно-технических сотрудников НИИАРа: О.В. Скиба, П.Т. Породнов, Ю.П. Савочкин, Ю.С. Соколовский, Л.Г. Бабиков, Г.Н. Казанцев, В.И. Силин, Т.Ф. Бабикова, М.П. Воробей, С.К. Вавилов, О.В. Шишалов, Ю.Г. Лавринович, А.Г. Осипенко, М.В. Кормилицын, В.С. Ишунин (производство гранулированных МОКС-топливных композиций и переработка отработавшего оксидного топлива); А.А. Маёршин, В.А. Цыканов, В.Н. Голованов, В.Д. Грачёв, А.А. Петухов, Ф.Н. Крюков, А.В. Повстянко, В.А. Карлов, В.А. Макаров, О.В. Петрушкин, В.А. Кислый, О.В. Шишалов, А.Н. Колесников, И.С. Голубенко, М.М. Антипина, Н.В. Боброва, Н.В. Бергалина (разработка, изготовление и обоснование работоспособности твэла с вибронасыпным оксидным топливным сердечником); Ю.И. Грызин, Г.А. Тимофеев, И.И. Капшуков, Н.Д. Кондаков, В.Б. Мишенёв, Е.А. Ерин, В.М. Баринов, В.А. Габескирия, А.П. Четвериков, В.М. Чистяков, Н.И. Крошкин, В.И. Назаренко, В.И. Коновалов, В.Д. Гаврилов, И.В. Целищев, В.И. Грызина, Г.А. Симакин, Ю.В. Ефремов, В.В. Тихомиров, Б.И. Леваков, Ю.Ф. Волков, С.В. Томилин, В.М. Прокопьев, В.В. Певцов, Ю.С. Попов, Н.И. Кийко, Д.И. Старожуков, В.П. Колесников (аналитическое обеспечение исследований и сопровождение производства в целом); В.А. Карлов, В.А. Макаров, Ю.Ф. Овсянников, О.В. Петрушкин,

И.И. Пугачёв, С.Д. Беляков, А.Н. Цыганов, Г.П. Попков, А.К. Правдин, В.А. Васянин, С.А. Редькин, В.А. Бретцер-Портнов, И.Н. Андрейчук, В.Г. Кудинов, В.А. Ефимов, В.Г. Кулаков, Д.А. Бобров, В.Г. Гурьянов, В.Г. Митин, В.В. Юдов, А.И. Пастухов, А.И. Федотов, В.Я. Подлабошников, С.И. Мамонтов, В.И. Воронин, В.В. Певцов, И.А. Трошин, А.П. Кириллович (создание, освоение и эксплуатация лабораторных стендов и технологических комплексов) и ещё многие другие специалисты.

### **3.7. Испытания и исследования материалов и элементов транспортных реакторов**

*Наука требует всего человека, без задних мыслей,  
с готовностью всё отдать и в награду получить  
тяжёлый крест трезвого знания.*

А.И. Герцен

Среди крупнейших отечественных научно-технических достижений послевоенных лет важное место занимают разработка, создание, освоение в серийном производстве и эксплуатация ядерных энергетических установок для атомных подводных лодок и кораблей Военно-Морского Флота СССР и судов гражданского назначения. Опыт применения ядерных энергетических установок на подводных лодках коренным образом изменил их тактико-технические данные, обеспечив некоторыми уникальными качествами: практически неограниченной по времени длительностью плавания без дозаправки топливом, возможностью продолжительного нахождения под водой без всплытия, многократно увеличенной энерговооруженностью, повышенной скоростью и незаметностью для потенциального противника. Атомные подводные лодки, снабжённые ядерным оружием, стали основной ударной силой военных флотов стран, обладающих подобным оружием, определив соответствующие изменения военно-политических доктрин этих стран. Появление мощных атомных ледоколов сделало реальностью круглогодичную навигацию по Северному морскому пути, что было крайне важно для надёжного функционирования увеличивающихся грузопотоков, освоения Арктики и развития производительных сил Севера.

В сентябре 1952 года И.В. Курчатов, А.П. Александров и Н.А. Доллежалъ подготовили документы о необходимости и практической осуществимости создания подводной лодки с ядерной силовой установкой. Подготовленные документы были

представлены И.В. Сталину. И.В. Курчатов рекомендовал назначить А.П. Александрова научным руководителем работ по созданию реактора для атомной подводной лодки. В 1953 году И.В. Курчатов и А.П. Александров выступили с предложением начать строительство атомных ледоколов. Перед научно-исследовательскими, конструкторскими и промышленными предприятиями страны была поставлена задача создать корабельную ядерную энергетику, и уже через несколько лет появились первые ядерные энергетические установки морского назначения. В 1956 году был введён в строй наземный стенд 27/ВМ в Обнинске, в 1958 году вышла в море первая советская атомная подводная лодка К-3 (с 1962 года названа «Ленинский комсомол»), а в 1959 году приняты в опытную эксплуатацию первый в мире атомный ледокол «Ленин» и наземный стенд 27/ВТ с жидкометаллическим теплоносителем (г. Обнинск).

Всего было создано несколько поколений атомных подводных лодок. Первое поколение продемонстрировало саму техническую возможность создания мощных компактных реакторных установок, их достаточную безопасность и надёжность. Реакторные установки второго поколения отличались более высокой надёжностью за счёт увеличения резервирования оборудования и упрощения первого контура. Первые атомные подводные лодки этого поколения были введены в эксплуатацию в 1967 году. Кроме атомных подводных лодок, имеющих реакторы с водяным теплоносителем, были созданы лодки с реакторами с жидкометаллическим (свинцово-висмутовым) теплоносителем. Такая подводная лодка первого поколения (проект 645) была построена только одна и сдана флоту в 1963 году. Лодок второго поколения такого типа (проекты 705 и 705К) было построено несколько. Благодаря компактности мощной силовой установки эти атомные подводные лодки имели минимальное водоизмещение и скорость подводного хода, равную примерно 41 узлу (мировой рекорд скорости — 44,7 узла — установила подводная лодка проекта 661). Достижения в области создания лодок с жидкометаллическим теплоносителем стимулировали работы по совершенствованию реакторных установок с водяным теплоносителем. Было создано третье поколение лодок, в которых без изменения размеров реакторов были вдвое повышены мощность и энергозапас активных зон, а также увеличен ресурс всего оборудования, введена комплексная автоматизация. Атомные подводные лодки этого поколения начали вступать в строй с 1980 года. Практически одновременно с первыми лодками третьего поколения был введён в эксплуатацию первый тяжёлый атомный крейсер с установками КН-3. В настоящее время создаётся уже четвёртое поколение установок и закончено строительство головных кораблей типа «Борей» и «Ясень». За более чем пятидесятилетний период развития корабельной ядерной энергетики в России накоплен огромный опыт создания морских реакторных установок. Всего было построено свыше 450 реакторных установок для боевых кораблей, изготовлено более 1 000 активных зон более чем 30 типов, а общая наработка морских реакторных установок составила более 9 000 реакторолет! Одновременно с созданием первых боевых кораблей был построен первый в мире атомный ледокол «Ленин», который имел мощ-

ность 32,363 МВт (44 000 л. с.) и водоизмещение 17 800 т. Реакторная установка второго поколения на этом ледоколе была установлена в 1970 году, успешная эксплуатация подтвердила правильность выбранных решений. Было построено ещё пять ледоколов большой мощности (55,163 МВт (75 000 л. с.)) с двумя реакторными установками на каждом: «Арктика», «Сибирь», «Россия», «Советский Союз», «Ямал», а в дальнейшем — два однореакторных ледокола, «Таймыр» и «Вайгач», и лихтеровоз «Севморпуть», достроен и введён в эксплуатацию ещё один мощный ледокол «50 лет Победы».

Наиболее сложные научно-технические проблемы при создании корабельных ядерных энергетических установок возникали в процессе разработки активных зон, поскольку условия эксплуатации материалов и изделий ранее не реализовались в других установках. Из-за многорежимного и манёвренного характера работы установок транспортного назначения особо остро стояла проблема фактического подтверждения ресурсных характеристик, показателей долговечности и надёжности. Самые сложные проблемы касались и создания тепловыделяющих элементов, потому что именно у этих элементов самые тяжёлые условия эксплуатации. Большой объём научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для обоснования решений сложных научно-технических проблем морской энергетики потребовал мощной экспериментальной базы. Первоначально твэлы испытывали в физико-техническом реакторе РФТ, а с декабря 1963 года — в материаловедческом реакторе МР. Послереакторные исследования проводили в «горячих» лабораториях Института атомной энергии.

С самого начала НИИАР создавался как единая база реакторного материаловедения, которая включала в себя не только реакторы, но и материаловедческий комплекс, поскольку без проведения послереакторных исследований реакторные испытания теряют большую часть своей информативности. Именно поэтому проведение послереакторных исследований является обязательным этапом программы обоснования работоспособности новых элементов. Именно в НИИАРе были сосредоточены основные экспериментальные работы, которые проводились в процессе создания и обоснования работоспособности новых топливных, конструкционных и поглощающих материалов, новых конструкций тепловыделяющих сборок и их элементов. В силу закрытости тематики до сих пор не все знают о реальных достижениях сотрудников НИИАРа в этой области, об атмосфере, которая царила в научных кругах, на заводах-изготовителях, в руководстве Министерства среднего машиностроения, а также в профильных институтах Министерства обороны и его технических управлениях.

Сначала в НИИАРе имелась только одна радиационно-защитная камера в здании реактора СМ. Для проведения испытаний необходимо было привезти отработавшее топливо в НИИАР и перегрузить его из контейнера типа ТК-11 («бутылка с рогами») в радиационно-защитную камеру, что было не так просто. «Железнодорожную» часть проблемы решали Л.М. Тучнин и И.И. Скорняков. Это дало возможность привезти сборки через модернизированный въезд здания 106, а чуть позже организовать приём

контейнеров на зданиях 170 и 101. Сейчас железнодорожные ветви Север — Димитровград, Дальний Восток — Димитровград функционируют без проблем, а тогда всё было по-другому. К примеру, зафиксирован случай, когда вагон сопровождения, в контейнер которого были загружены сборки атомного ледокола «Арктика» после их длительной эксплуатации в условиях Северного Ледовитого океана, перевернулся на «горке» сортировочной станции. Но безопасности и тогда уделяли большое значение: твэлы не повредились от падения, в чём лично смогли убедиться Е.П. Славский и А.Г. Мешков.

За первые десять-пятнадцать лет эксплуатации не удавалось решить проблемы, связанные с конструкцией твэла, и радиационная обстановка почти на всех объектах оставалась тревожной. Был непонятен механизм разрушения оболочек твэлов. Научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, заводы-изготовители и предприятия, эксплуатирующие изделия, вину перекладывали друг на друга. Досталось и НИИАРу: академик А.А. Бочвар обвинил сотрудников института в нарушении водно-химического режима воды первого контура при испытании ТВС в петлевых установках реактора МИР. Непонимание процессов, происходящих внутри твэла, привело к большому числу версий о причинах разгерметизации оболочек. Потребовались бы годы и огромные финансовые вложения для проверки всех гипотез. Это обстоятельство предопределило появление разборного облучательного устройства, которому впоследствии дали название «Гирлянда». Академика А.А. Бочвара настолько поразило это конструктивное решение, что он предоставил одному из создателей конструкции — Е.В. Коршунову — квартиру вне очереди. К концу 1976 года среди множества предложенных способов устранения причин разгерметизации твэлов взяла верх идея компенсации твёрдого распухания топлива путём размещения в твэле компенсатора. З.И. Чечёткина предложила, среди прочего, циркониевый компенсатор. И специалистам завода в Глазове пришлось поломать голову, потому что технически трудно было получить профильную трубку диаметром 2 мм для предложенного компенсатора.

Картина разрушения твэлов продолжала ужасать своими масштабами. Из-за режима секретности обмен опытом и знаниями между конструкторами, технологами, испытателями топлива и сотрудниками «горячих» лабораторий был затруднён. Но всё же и в таких условиях находили возможность для обмена мнениями, и в жарких спорах рождались новые идеи и важные решения. Подчас эти собрания учёных проходили в непринуждённой обстановке и носили неформальный характер: сотрудники НИИАРа — Л.М. Тучнин, З.И. Чечёткина, В.И. Прохоров, Е.П. Клочкин и другие — часто собирались в кабинете академика А.П. Александрова для обсуждения фотоснимков, например, поперечного сечения твэлов, а так как снимки были огромного размера, то для детального рассмотрения их приходилось выкладывать на полу! Ещё одним психологически важным фактором, стимулирующим быстрый поиск решений, являлась радиационная обстановка при петлевых испытаниях: удельная активность воды была в диапазоне от 0,037 до 3,7 ГБк/л (от  $10^{-3}$  до  $10^{-1}$  Ки/л)! И отбор проб воды, и посещение

петлевых боксов были связаны с радиационной опасностью. Сотрудникам, задействованным в работах со свинцово-висмутовым теплоносителем на петлевых установках ПМ-3, ПМ-4 реактора МИР, приходилось по три-четыре раза переодеваться в специальные пневмокостюмы, предназначенные для работы в условиях сильной загрязнённости атмосферы и оборудования радиоактивными веществами, значительно превышающей предельно допустимые нормы. Но всем сотрудникам лаборатории петлевых испытаний и служб эксплуатации реакторов СМ и МИР удалось избежать переоблучения, хотя аварийные ситуации возникали.

Первыми специалистами по расчётам режимов облучения стали сотрудники созданной в 1963 году химико-технологической службы реактора СМ, преобразованной в 1967 году в лабораторию петлевых испытаний. Для реакторных испытаний лаборатория использовала три петлевые установки с водяным теплоносителем и три — с гелиевым, а также радиационно-защитную камеру реактора СМ. Первыми расчётчиками были Н.П. Матвеев, Р.А. Тимченко, Б.Н. Гордеев, П.С. Смирнов. С 1967 года на реакторе МИР начались испытания изделий для второго поколения активных зон реакторов морских судов. Для этого были пущены в эксплуатацию две петлевые установки с водяным теплоносителем и две — со свинцово-висмутовым. В этих работах основную роль сыграли Ю.И. Цветков, В.А. Куприенко, Ю.Г. Симонов, Л.И. Вороховов, С.Н. Ворохобова, Н.Б. Клинова, Ю.Ф. Кулешова, В.И. Ларин, В.А. Овчинников. Руководил службой, а затем, с 1967 года, лабораторией петлевых испытаний Е.П. Клочков. Материаловедческий комплекс располагал тремя зданиями, в которых размещались 64 радиационно-защитные камеры. Они позволяли работать со сборками реакторов всех типов и изделиями активностью до 18 500 ТБк (500 000 Ки). Для проведения послереакторных исследований материалов и изделий была разработана типовая программа работ, которая с конца семидесятых годов приобрела статус отраслевого стандарта. Для решения поставленных задач использовали как методики, которые входили в типовую программу, так и специальные методики, например:

- неразрушающего контроля (гамма-сканирование и определение выгорания, вихре-токовый контроль, измерение размеров и т.д.);
- исследования структуры изделий и материалов (металлография, рентгеноструктурный анализ, просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия и т.д.);
- исследования механических характеристик материалов (методики испытаний на растяжение, сжатие, ударный изгиб, ползучесть, определения статистической и циклической трещиностойкости, модуля Юнга и т.д.);
- исследования элементного состава (микрорентгеноспектральный анализ, масс-спектрометрия, Оже-спектроскопия, оптическая спектрометрия, химический анализ, анализ газов в материалах и т.д.);
- исследования теплофизических свойств (теплопроводность, теплоёмкость, плотность, температурный коэффициент линейного расширения, температура фазовых переходов и т.д.).

Все эти методики испытаний и исследований являются официальными и входят в реестр методик НИИАРа.

Первые ТВС с атомного ледокола «Ленин» были доставлены в НИИАР в 1964 году, а с атомной подводной лодки первого поколения — в 1965 году. Это были первые отработавшие в активных зонах реальных объектов изделия, которые детально исследовали отечественные специалисты. Всего в этот период было исследовано около 30 тепловыделяющих сборок, отработавших в реакторах атомных подводных лодок, ледоколов и на стенде 27/ВМ. Впервые были получены и данные об изменениях свойств конструкционных и топливных материалов в условиях эксплуатации, установлены предельные значения выгорания топлива и другие характеристики активных зон типа ВМ-А, ВМ-1А, ВМ-1АМ, ВМ-4А-1.



Юрий Васильевич Чушкин принимает контейнер с первыми ТВС атомного ледокола «Ленин» (4 марта 1964 года)

Первыми специалистами НИИАРа, которым было доверено выполнять послереакторные материаловедческие исследования ТВС морских реакторов, были Е.Ф. Давыдов, В.В. Колесов, Л.М. Тучнин, В.Н. Сюзёв, З.И. Чечёткина; несколько позже к исследованиям были подключены Г.Л. Тебелева и Л.И. Зайцева.

С вводом в эксплуатацию ректора МИР начались петлевые ресурсные испытания тепловыделяющих сборок. С 1967 по 1974 годы испытания проводили в шести каналах двух петлевых установок с водным теплоносителем. Для решения проблемы обоснования ресурса твэлов для активных зон с жидкометаллическим теплоносителем на основе сплава свинца и висмута на реакторе МИР были созданы самые мощные

в СССР петлевые установки ПМ-3 и ПМ-4, и с 1970 года начаты испытания опытных твэлов. Эти испытания проводили В.К. Засуха, Ю.Г. Симонов, В.Н. Сахаров, В.Ш. Сулаберидзе, Н.Б. Клинова. Впервые в мировой практике сотрудниками НИИАРа совместно со специалистами Физико-энергетического института было разработано разборное облучательное устройство применительно к условиям работы в свинцово-висмутовом теплоносителе, но главным достижением НИИАРа в этом направлении было обоснование ресурса изделий проекта 705. Тесное сотрудничество со специалистами Физико-энергетического института и Института атомной энергии во многом облегчало решение возникавших проблем, связанных с отсутствием опыта работы с этим оборудованием и недостаточной информацией по теплофизике топлива и физико-химическим процессам, протекающим в свинцово-висмутовом теплоносителе. Всего в этот период в каналах петлевых установок реактора были испытаны девять сборок, в одной из которых был достигнут ресурс, в 1,5 раза превышающий проектное значение!



Евгений Петрович Клочков (крайний справа) с коллегами у штурвала атомного ледокола «Ленин» (30-летие пуска ледокола)

После реконструкции ректора МИР, проведённой в 1974 году под руководством В.А. Цыканова, В.А. Куприенко и Б.А. Залётных, экспериментальные возможности НИИАРа существенно возросли, и с 1975 года испытания проводились в восьми каналах четырёх петлевых установок с водным теплоносителем и одним каналом петлевой установки с паровым теплоносителем. Эти работы вели Е.П. Клочков, В.А. Куприенко, Н.П. Матвеев, П.С. Смирнов, Ю.И. Цветков, В.А. Овчинников, В.И. Ларин, Л.И. Вороховов, С.Н. Ворохобова, В.Н. Сахаров, В.Ш. Сулаберидзе, Н.Б. Клинова.

После испытаний все сборки осматривали и разбирали в радиационно-защитных камерах реактора МИР, затем перевозили в камеры материаловедческого комплекса НИИАРа. В камерах реактора МИР проводили разборку всех ТВС, доставлявшихся в институт с объектов Военно-Морского Флота, наземных стендов и атомных ледоколов. Так продолжалось до пуска в 1987 году нового комплекса радиационно-защитных камер, предназначенных для неразрушающих исследований. Значительный вклад в развитие методик неразрушающих исследований внесли П.С. Смирнов, В.А. Овчинников, Г.Д. Лядов, А.Л. Ижutow.

В те времена многие специалисты не имели представления о процессах, происходящих в материалах в столь сложных условиях эксплуатации, и поэтому при разработке активных зон второго поколения, которые должны были отличаться существенно более высокими ресурсными характеристиками и показателями энергонапряжённости, первоначальные решения были приняты без достаточно глубокого анализа возможных материаловедческих проблем. Результат не замедлил сказаться: при эксплуатации первых активных зон второго поколения выход продуктов деления из топлива в теплоноситель фиксировался при значениях энерговыработки существенно меньших, чем закладывались в технических проектах, а далее наблюдалось достаточно быстрое увеличение активности теплоносителя. Поэтому приходилось преждевременно прекращать эксплуатацию многих активных зон, что, безусловно, отрицательно сказывалось на боеготовности флота. Эта проблема рассматривалась на самом высоком уровне, поскольку в этот период США существенно увеличили свои ядерные силы морского базирования. Для установления причин ранней разгерметизации элементов была реализована масштабная программа научных и технологических работ, среди которых особое место занимали послереакторные исследования штатных ТВС. Большинство сборок исследовали в НИИАРе, а некоторая их часть после предварительной разборки переправлялась в «горячие» лаборатории Физико-энергетического института и Института атомной энергии. При исследовании первых же привезённых на исследования в НИИАР тепловыделяющих сборок из аварийных активных зон была обнаружена впечатляющая картина разрушений, которым подверглись твэлы. Для основного количества штатных ТВС, которые отработали в активных зонах транспортных реакторов, вид разгерметизации был практически одинаков, различия заключались лишь в масштабах развития дефектов. Встречались сборки, где доля дефектных элементов достигала почти 100%! В тот период были получены данные об изменениях свойств конструкционных и топливных материалов в более жёстких условиях эксплуатации, определены причины и механизмы повреждения новых материалов и твэлов, установлены предельные значения выгорания топлива и другие ресурсные характеристики изделий. Для анализа всего комплекса полученных данных была создана специальная рабочая группа из представителей различных предприятий Министерства среднего машиностроения, Военно-Морского Флота и других ведомств СССР. Председателем группы стал О.Б. Самойлов (ОКБМ). НИИАР в этой группе представляли Е.Ф. Давыдов и Е.П. Клочков, хотя в работе группы принимали участие и другие специалисты института. Основной вывод

группы заключался в том, что во время эксплуатации под действием облучения происходит распухание топлива и охрупчивание конструкционных материалов, а распухание топлива вызывает появление растягивающих напряжений и деформаций оболочек твэлов и ведёт к разгерметизации последних. Массовость разрушения элементов при достижении определённых значений энерговыработки активной зоны указывала на то, что повреждения связаны с исчерпанием ресурсных возможностей материалов и конструкций вследствие их износа. Поэтому конструктивно вернулись к варианту, разработанному для первого поколения активных зон, и существенно улучшили качество всех технологических операций, особенно контрольных. В области материаловедения предпринятые шаги были направлены на повышение чистоты материала оболочки. В конечном итоге новые активные зоны вполне успешно эксплуатировались и эксплуатируются в ядерных энергетических установках атомных подводных лодок, не только отработывая назначенный энергоресурс, но и превышая его.

Требований к элементам третьего поколения старые конструкции обеспечить не могли. Были предложены новые варианты, однако проблема заключалась в фундаментальных свойствах материала оболочки, обладавшего недостаточной деформационной способностью в условиях облучения, и именно это явление существенно ограничивало работоспособность всех активных зон. Причины и механизмы разрушения оболочек твэлов явились полем основных научных споров в среде специалистов на протяжении почти двух десятилетий. Не вдаваясь в детали предложенных гипотез, следует отметить, что наиболее активное участие в изучении этих явлений приняли специалисты, непосредственно занимавшиеся исследованиями тепловыделяющих элементов. В НИИАРе это материаловеды: Е.Ф. Давыдов, Л.М. Тучнин, П.П. Гринчук, В.И. Прохоров, З.И. Чечёткина, В.Ю. Шишин, А.Е. Новосёлов, А.А. Худяков, В.В. Александров, А.Н. Колесников — и реакторщики-петлевики: Е.В. Ключков, В.А. Куприенко, Ю.И. Цветков, Ю.Г. Симонов, В.И. Ларин, В.К. Засуха. Разработка элементов активных зон третьего поколения велась в двух основных направлениях: первое — создание новой конструкции твэлов; второе — создание нового оболочечного материала. Первое направление удалось реализовать быстро. В середине семидесятых годов для активных зон третьего поколения группой специалистов Всероссийского научно-исследовательского института неорганических материалов была предложена оригинальная конструкция тепловыделяющих элементов. После двух удачных экспериментов (испытания макетов твэлов в реакторе МИР и на атомном ледоколе) было принято решение об испытании опытных активных зон на атомных ледоколах, результаты которого также оказались обнадеживающими: активные зоны, несмотря на случаи разгерметизации элементов, демонстрировали существенно более высокие ресурсные характеристики, чем раньше. Однако при эксплуатации первых комплектов активных зон на объектах Военно-Морского Флота требуемых показателей достичь не удалось. Поэтому была разработана программа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленная на поиск и устранение причин преждевременной разгерметизации элементов и выяснение причин различия между итогами петлевых

реакторных испытаний и опытной эксплуатации в атомных ледоколах и результатами реальной эксплуатации.

Были организованы массовые исследования сборок, отработавших в атомных ледоколах, наземных стендах и реальных объектах, и петлевые реакторные испытания различных вариантов ТВС с модернизированными твэлами. Одновременно продолжались работы над новыми оболочечными материалами. По времени это совпало с началом работы реактора МИР после модернизации и вводом в строй одного за другим новых больших двухреакторных ледоколов: «Арктика», «Россия», «Сибирь». Объём реакторных испытаний, а особенно послереакторных исследований, рос скачкообразно. Непрерывно работал железнодорожный маршрут Мурманск — Димитровград по транспортировке сборок на исследования с помощью двух контейнеров ТК-11 и вагона с сопровождением. Сопровождающих для этих вагонов набирали из лаборантов и операторов радиационно-защитных камер отдела материаловедения (Е.А. Мордвинов, В.Н. Белоус, В.А. Кокин, Н.М. Кухарский, П.П. Канашенков, В.А. Якушев).

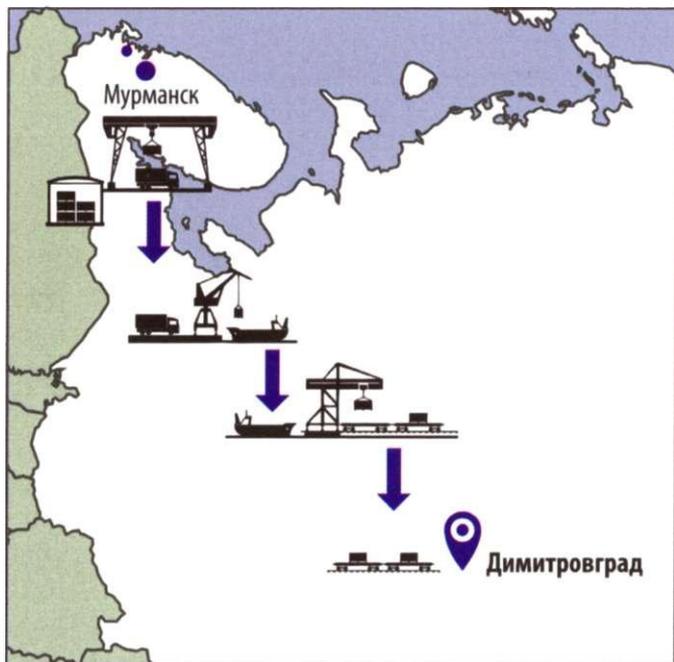


Схема транспортировки ТВС в НИИАР

Основной вклад в исследование ТВС активных зон третьего поколения внесли сотрудни-

ники лаборатории во главе с З.И. Чечёткиной: Л.М. Тучнин, В.В. Александров, П.П. Гринчук, Г.Л. Тебелева, Л.И. Зайцева. В НИИАРе исследовали и другие элементы ТВС и реакторных установок: чехлы (А.Е. Новосёлов, Г.Л. Тебелева), вытеснители (А.Е. Новосёлов, П.П. Гринчук), направляющие каналы (Т.М. Гусева, А.Е. Новосёлов, А.В. Захаров) и прочие. Безусловно, значительный вклад в достижение полученного результата внесли исследователи-методисты отдела материаловедения (З.Е. Островский, Т.А. Назаренко, Ф.Н. Крюков, Г.В. Шишалова, В.М. Косенков, В.Н. Голованов, С.В. Кузьмин, В.Д. Шушаков и др.), инженерно-технические сотрудники, операторы радиационно-защитных камер и лаборанты (В.Ф. Портнов, Ю.Н. Лузин, Н.Ф. Шипигин, Н.Г. Китченко, Д.Ш. Валиахметов, Ю.В. Художиллов, Г.И. Мавзютов, С.Н. Фролов, Д.А. Данилов, Н.А. Басков, В.В. Худяков, О.А. Попова, А.И. Баскова, Л.В. Новосёлова, К.В. Богданова). В результате сложились чёткие, статистически обоснованные представления о состоянии активных зон после эксплуатации в различных условиях, роли

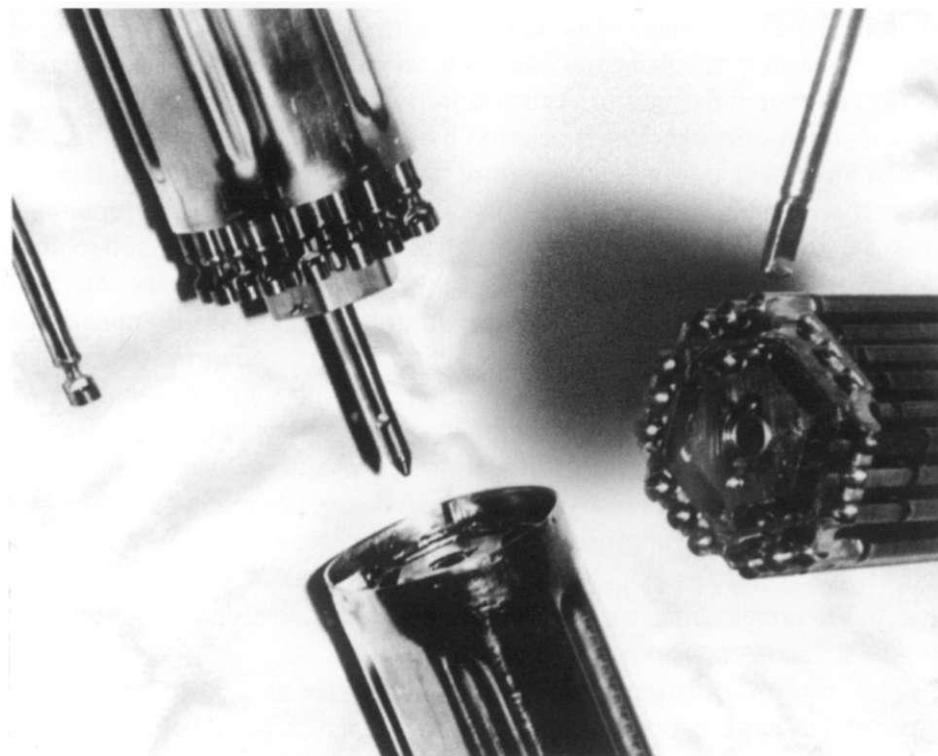
отдельных факторов, причинах и механизмах повреждения изделий, процессах, происходящих в топливных, конструкционных и поглощающих материалах; установлены предельные значения выгорания топлива и другие ресурсные характеристики; получены данные для создания и верификации расчётных кодов. Всего было исследовано более ста ТВС, эксплуатировавшихся в ректорах атомных ледоколов, подводных лодок и наземных стендах. Одновременно проводили испытания полномасштабных ТВС в петлевых установках реактора МИР. Петлевыми реакторными испытаниями полномасштабных ТВС занимались специалисты-реакторщики: П.С. Смирнов, А.Л. Ижутов, В.А. Лебедев, М.Н. Святкин, А.В. Смольников, С.В. Лобин, В.Г. Топорова, послереакторными исследованиями элементов — специалисты-материаловеды: А.А. Худяков, А.Е. Новосёлов, В.В. Александров. Как и в случае активных зон второго поколения, для анализа полученных результатов и принятия научно обоснованных рекомендаций была создана межведомственная рабочая группа, от НИИАРа в неё входили З.И. Чечёткина и Е.П. Клочков.

В полной мере ведущая роль специалистов НИИАРа проявилась при работе над активными зонами четвёртого поколения и новейшими активными зонами атомных ледоколов. На современном этапе развития активных зон судовых ядерных ректоров в целях безусловного обеспечения высоких значений выгорания топлива, надёжности и безопасности предъявляются повышенные требования на всех стадиях разработки новой элементной базы: начиная от выбора конструкции и материалов изделий и заканчивая расчётно-экспериментальным обоснованием их работоспособности. В конечном итоге всестороннее рассмотрение наиболее важных явлений, объём и достоверность полученных результатов существенным образом влияют на надёжность, безопасность и экономическую эффективность энергетической установки, и в этой связи экспериментальные исследования закономерностей поведения материалов и элементов под облучением приобретают особую актуальность. Предъявляемые чрезвычайно высокие требования к современным активным зонам делали поиск новых решений невозможным без систематических и глубоких исследований. И уже при работе над активными зонами четвёртого поколения сотрудники НИИАРа выполняли такие работы, как:

- исследования и аттестация свойств конструкционных, топливных и поглощающих материалов в условиях реакторного облучения;
- проверка и выбор оптимальных конструкторских и технологических решений на основе петлевых реакторных испытаний и послереакторных исследований;
- проверка и обоснование на основе послереакторных исследований работоспособности ТВС и их элементов, прошедших испытания в реакторах наземных стендов и атомных ледоколов;
- проведение специальных реакторных и послереакторных испытаний изделий и материалов, получение экспериментальных данных для верификации различных расчётных кодов: теплогидравлических, расчёта напряжённо-деформированного состояния и т.д.;

- выявление причин разрушения изделий, отработавших в штатных условиях;
- изучение и обоснование поведения элементов в различных аварийных ситуациях с потерей теплоносителя, при ударных нагрузках, затоплении и т.д.

Для выбора и оптимизации материалов и конструкций твэлов в середине семидесятых годов специалистами Всероссийского научно-исследовательского института неорганических материалов и Научно-исследовательского института атомных реакторов были созданы методики и разборные облучательные устройства семейства «Гирлянда», предназначенные для сравнительных испытаний укороченных макетов твэлов. При разработке конструкции этих устройств были реализованы оригинальные идеи и конструкторские решения, предложенные В.П. Костомаровым, Е.В. Коршуновым (ВНИИНМ) и Е.П. Клочковым, Ю.И. Цветковым (НИИАР), а современная «Гирлянда» — результат дополнительных усилий В.А. Овчинникова. Четвёртого июня 1974 года первые облучательные устройства были загружены в реактор МИР.



Внешний вид разборного облучательного устройства «Гирлянда»

С этого времени в течение 30 лет в петлевых каналах реактора МИР проводились массовые испытания макетов твэлов. Всего было испытано более 1 500 твэлов нескольких десятков модификаций, различающихся не только конструкцией,

но и материалами топлива и оболочек. И на этом этапе развития твэлостроения результаты петлевых испытаний подтвердили необходимость внедрения новых конструктивных решений для повышения ресурсных характеристик твэлов. Реакторные испытания элементов в устройствах «Гирлянда» проводили сотрудники лаборатории Е.П. Ключкова: В.А. Овчинников и А.А. Меркулов. А материаловедческие исследования выполняли А.Е. Новосёлов, В.Ю. Шишин, А.А. Худяков, В.И. Прохоров, А.Н. Колесников.

На основе многочисленных испытаний в устройствах «Гирлянда» были разработаны три принципиально новых конструкции твэлов для усовершенствования активных зон атомных ледоколов и подводных лодок четвёртого поколения. Петлевые испытания твэлов различных модификаций позволили оптимизировать их конструкцию. Была разработана и внедрена последовательность этапов испытаний элементов активных зон: первый этап включал испытания макетов твэлов в разборном облучательном устройстве «Гирлянда»; второй — полномасштабных сборок в петлевом канале. После окончания испытаний на каждом этапе проводили послереакторные материаловедческие исследования. Все это обеспечивало надёжность и качество разработанных в НИИАРе рекомендаций.

В процессе работы над активными зонами третьего поколения были выявлены некоторые недостатки петлевых испытаний по сравнению с прототипными и штатными испытаниями, а именно: невозможность полного моделирования таких параметров испытаний, как жёсткость спектра, уровень и график изменения мощности, длительность испытаний. Однако у петлевых испытаний были и существенные преимущества, такие как:

- работа на максимальном уровне мощности и многократное сокращение времени достижения максимального значения выгорания топлива;
- возможность контроля, поддержания и регулирования эксплуатационных характеристик: плотности энерговыделения, термодинамических параметров теплоносителя и показателей его качества;
- отсутствие ограничений в выборе момента начала и завершения испытаний;
- индивидуальный контроль герметичности оболочек твэлов в каждом петлевом канале и получение экспериментальных данных по кинетике выхода продуктов деления на ранней стадии деградации твэлов;
- возможность оснащения твэлов и ТВС специальными датчиками контроля;
- минимальный период времени между испытаниями и послереакторными исследованиями, обусловленный только необходимым временем расхолаживания.

Несмотря на имеющиеся отличия в условиях работы в петлевых установках и штатных активных зонах, результаты петлевых испытаний с учётом факторов отличий использовались для прогнозирования ресурсных характеристик разрабатываемых реакторов, в целом позволив существенно сократить сроки и затраты, необходимые для достижения конечной цели. Наибольшую значимость эти результаты имели

для выбора и оптимизации конструкций твэлов и других элементов ТВС путём сравнительного анализа их работоспособности в петлевых условиях. Только для выбора оптимального материала оболочки были испытаны десятки вариантов изделий. Проверялись материалы принципиально различных классов. Для реализации аналогичной испытательной программы на ледоколах и наземных стендах потребовалось бы во много раз больше времени и средств.

Наиболее заметным является вклад специалистов института в создание, обоснование работоспособности и аттестацию новых оболочечных материалов. Предварительный отбор был сделан по результатам испытаний и послереакторных исследований твэлов в разборном облучательном устройстве «Гирлянда». Кроме реактора МИР для аттестации свойств выбранных оболочечных материалов широко использовали и другие реакторы НИИАРа. Была разработана серия методик для различных реакторных испытаний материалов. Например, в реакторе БОР-60 облучали материалovedческие пакеты как с образцами конструкционных материалов для механических испытаний и исследования теплопроводности, так и с газонаполненными образцами и макетами, в которых осуществляли мягкое или твёрдое нагружение оболочек, тем самым имитируя условия эксплуатации материала в реальном элементе. Использование высокопоточного реактора позволило за относительно короткое время исследовать изменение свойств конструкционных материалов, облучённых до флюенса нейтронов около  $10^{27} \text{ м}^{-2}$ . В исследования радиационной стойкости конструкционных материалов для морских реакторов наибольший вклад внесли П.П. Гринчук, В.И. Прохоров, А.Е. Новосёлов, З.И. Чечёткина. Для исследования поведения материалов при одновременном воздействии теплоносителя и потока нейтронов использовали облучение в петлевых каналах высокопоточного реактора СМ. Сотрудники института П.П. Гринчук и В.В. Александров разработали методику имитационных экспериментов, позволивших получить новые данные о радиационной стойкости конструкционных материалов и создать новый оболочечный сплав с уникальными свойствами.

Внутри реакторов проводили и активные эксперименты. Например, на установках типа «Нейтрон» осуществляли механические испытания, в том числе длительные, которые позволили создать модели ползучести различных конструкционных материалов (А.Я. Рогозянов, В.К. Горбатов). Основная цель этих работ заключалась в исследованиях изменений свойств материалов в процессе облучения, определении причин и механизмов их деградации, оценке работоспособности и остаточного ресурса. Существенный вклад в достижение этой цели внесли сотрудники НИИАРа П.П. Гринчук и А.Е. Новосёлов, при непосредственном участии которых были созданы новые оболочечные материалы для современных активных зон ядерных энергетических установок атомных подводных лодок и ледоколов. Именно эти сотрудники работали в комиссиях по аттестации конструкционных материалов и участвовали в экспертизах технических проектов активных зон.

Для достижения общей цели по созданию новой элементной базы активной зоны в рамках каждой возникшей проблемы (по оболочкам, поглощающим материалам, топливу, конструкции твэла и т.д.) создавалась своя программа работ. Наибольшие

методические трудности возникали при совершенствовании топливных материалов. При изучении таких материалов основное внимание было уделено тем их характеристикам, которые являются важнейшими для выяснения радиационной стойкости топливного сердечника и работоспособности твэлов: плотности, типу и параметрам кристаллической структуры, механическим и основным физическим свойствам, коррозионно-эрозионной стойкости материала. Плотность сердечника при разных значениях выгорания топлива (накоплении продуктов деления) непосредственно свидетельствует об увеличении его удельного объёма под облучением — распухании. Изменение кристаллической структуры говорит о той или иной степени радиационной и термической стабильности топлива. Уровень значений физических и механических свойств сердечника, а также его распухание определяют то или иное поле напряжений и температуру внутри твэла. Коррозионные и эрозионные свойства материала облучённого сердечника влияют на поведение твэла после его разгерметизации.

Разработчиками топливных материалов были специалисты Всероссийского научно-исследовательского института неорганических материалов и Физико-энергетического института. Там были получены первые данные о свойствах топлива в необлучённом состоянии. А первые результаты по распуханию топлива и твэлов, общей оценке состояния структуры, газовыделению из топлива при разной температуре были получены в НИИАРе — Е.Ф. Давыдовым и В.В. Колесовым. В середине семидесятых годов там же были получены и первые экспериментальные данные по теплопроводности облучённого топлива в реальных твэлах транспортных реакторов (П.С. Гордиенко, В.Ю. Шишин). Следующий этап исследований топлива начался в институте в восьмидесятые годы, когда были решены многие методические и технические вопросы, вообще свойственные экспериментальному изучению облучённых материалов, а особенно — облучённого топлива (В.Ю. Шишин, З.И. Чечёткина, А.Е. Новосёлов). Именно в это время получены первые результаты прямого измерения распухания топливных материалов с помощью образцов, изготовленных из реальных твэлов, в том числе сложных конструкций. Эти измерения позволили получить данные по объективно наиболее правильной оценке распухания топлива. Примерно в то же время была создана методика экспериментального определения количественных характеристик взаимодействия топлива в негерметичных твэлах с теплоносителем высоких параметров: скорости размывания топлива теплоносителем через дефект в оболочке, площади контакта теплоносителя с поверхностью топлива, выхода осколков деления (В.Ю. Шишин, А.К. Фрей).

Работы по экспериментальному определению характеристик топлива в последнее время особенно актуальны в связи с проведением аттестации топливных материалов применительно к использованию их в твэлах новых активных зон. А большинство из значений аттестационных характеристик и величин было получено в НИИАРе в результате исследований: к настоящему времени имеются многочисленные данные по распуханию топлива и твэлов из ледокольных и петлевых сборок, получены характеристики прочности, пластичности и ползучести топливных материалов при различном накоплении продуктов деления (В.Ю. Шишин, А.Е. Новосёлов). В рамках программы

аттестации получены также уникальные данные по температуре плавления и других фазовых переходов в облучённом топливе. В НИИАРе же впервые получены экспериментальные данные по изменению структуры топлива. Эти изменения оценены количественно на каждой стадии облучения. Исследования таких структурных изменений проводили в разных аспектах с применением активационного и рентгеноструктурного анализа, количественной металлографии. Механизм такого структурного превращения, признанный на сегодняшний день, сформирован в результате работ, проведённых с участием исследователей НИИАРа: В.Ю. Шишина, А.Е. Новосёлова, А.Я. Рогозянова.

Следующим крупным этапом при разработке новой элементной базы являлось обоснование безопасности действующих и разрабатываемых реакторных установок. Следует отметить, что, несмотря на имевшиеся случаи аварий, ничего близкого к Чернобыльской аварии на транспортных установках не было: внутренняя самозащитённость реакторов велика. А атомная подводная лодка «Курск» — яркий пример того, что ядерные энергетические установки исключительно хорошо защищены от внешних воздействий (в условиях боевого поражения реакторная установка и активная зона оказались сверхнадёжными), тем не менее в середине восьмидесятых годов задача обоснования безопасности реакторных установок транспортного назначения была поставлена в отрасли как одна из основных. Для её решения необходимо было экспериментально изучить поведение элементов активных зон на различных стадиях аварийных ситуаций. Технические трудности и радиационная опасность при экспериментах долгое время являлись сдерживающим фактором для моделирования аварий с потерей теплообмена на полномасштабных отработавших твэлах. Эту проблему удалось успешно решить путём создания специальных электронагревательных испытательных стендов в радиационно-защитных камерах и комплекса методик и установок для различных аварийных и высокотемпературных испытаний на уникальной петлевой установке ПВП-2 реактора МИР. Эта петлевая установка для экспериментов по безопасности атомной энергетики сооружалась специалистами созданной для этих целей лаборатории под руководством А.Ф. Грачёва. Первый этап исследований на созданной в 1989 году петлевой установке реактора МИР был осложнён необходимостью решать одновременно две задачи. Во-первых, во вновь созданной петлевой установке надо было научиться моделировать режимы работы твэлов при проектных и запроектных авариях в ядерных энергетических установках, характеризующиеся изменениями фазового состояния воды и термодинамической неустойчивостью потока теплоносителя, охлаждающего твэлы, что в свою очередь вызывает недопустимые возмущения реактивности исследовательского реактора. Во-вторых, надо было решать задачи испытаний в этих режимах образцов опытных твэлов и ТВС с целью экспериментального подтверждения безопасности их эксплуатации, обоснования выбора конструкции, материалов и технологий изготовления. Учитывая жесткие условия нагружения твэлов, программами их испытаний предусматривалась возможность потери герметичности оболочек твэлов и выход в первый контур высокоактивных продуктов деления топлива. Потому обеспечение радиационной безопасности испытаний было дополнительной трудной задачей,

решить которую предстояло при освоении петлевой установки. В этот период была выполнена большая программа исследований по расчётному и экспериментальному определению теплогидравлических характеристик контура циркуляции петлевой установки ПВП-2, результаты которых легли в основу разработанных методов управления петлевой установкой, позволивших исключить режимы неустойчивого течения теплоносителя. Экспериментальные исследования на критическом стенде реактора МИР и многовариантные нейтронно-физические расчёты позволили определить методы снижения до допустимого уровня эффектов реактивности при сменах фаз теплоносителя в петлевом канале и обеспечения ядерной безопасности испытаний в петлевой установке ПВП-2. Эти работы, а также большой ряд других экспериментальных исследований характеристик систем этой петлевой установки позволили разработать и научно обосновать комплекс требований к проведению испытаний, благодаря которым впоследствии был выполнен большой объём экспериментальных исследований по изучению поведения топлива в нештатных режимах его эксплуатации в ядерных реакторах. Моделирование аварийных режимов работы твэлов ядерной энергетической установки со сменой в петлевом канале реактора МИР агрегатного состояния теплоносителя от жидкости до перегретого пара — сложная научно-техническая задача. Значимость её решения, объём проведённых исследований отразились в защите двух диссертационных работ на соискание ученых степеней: доктора технических наук (А.Ф. Грачёв) и кандидата технических наук (В.А. Лебедев). Большой творческий вклад в решение поставленной задачи также внесли сотрудники Н.П. Матвеев, И.С. Поляков, А.С. Ещеркин. Не менее значим вклад сотрудников критического стенда реактора МИР: В.В. Калыгина и А.П. Малкова, технологов: Г.Ф. Коренева, А.А. Подкопаева, Н.Д. Виноградова, сотрудников химической лаборатории: О.С. Бендерской, О.Н. Владимировой. Все работы по созданию, вводу в эксплуатацию и организации испытаний на петлевой установке ПВП-2 проведены под научным руководством В.А. Куприенко.

Оборудование стендов в радиационно-защитных камерах института позволяет проводить термические испытания полномасштабных отработавших твэлов, моделирующие высокотемпературные процессы в оболочках и топливе на различных стадиях аварий в диапазоне температуры от 450 до 1400 °С при контролируемых параметрах и технических условиях: скорости нагрева, составляющей 0,1–10 °С/с; среде испытаний (инертный газ, пар — газ); внешнем давлении от 0,1 до 15 МПа. В процессе этих экспериментов (В.П. Смирнов, Ю.Ю. Косвинцев, В.Г. Дворецкий) были изучены такие характеристики, как температурный порог разгерметизации оболочек твэла, окисление оболочки в парогазовой смеси, структурные изменения в топливном сердечнике и оболочке, формоизменение твэла, его несущая способность как конструкции и прочее. Результаты этих экспериментов использованы для обоснования безопасности как уже существующих, так и вновь спроектированных активных зон (З.И. Чечёткина, Ю.Ю. Косвинцев, В.Ю. Шишин, В.В. Александров, А.Е. Новосёлов, С.Р. Фридман, В.В. Сидоров). В результате проведения около восьмидесяти экспериментов, моделирующих различные аварийные ситуации, были определены и изучены:

- кинетика выхода осколков деления из открытого топлива на фрагментах твэлов и выхода осколков деления после разрушения твэлов практически всех конструкций;
- влияние облучения на поведение твэлов в сравнении с необлучёнными;
- нижний температурный порог разрушения твэлов разных конструкций и разгерметизации оболочки твэла;
- влияние наружного давления, а также скорости нагрева на температуру разрушения;
- причины и механизмы разрушения твэлов разных конструкций;
- окисление оболочки твэла в парогазовой смеси.

Эксперименты с ядерным разогревом позволили получить сравнительные данные о поведении необлучённых и облучённых твэлов при работе в реакторе в составе ТВС в модельных температурных условиях, характерных для аварии с некомпенсированной утечкой теплоносителя (В.А. Куприенко, В.М. Махин, В.Н. Шулимов, А.Е. Новосёлов, В.В. Александров, Т.А. Маслова). Кроме этих испытаний проведён эксперимент по моделированию более поздней стадии развивающейся запроектной аварии, характеризующейся расплавлением элементов активной зоны с образованием кориума и его взаимодействием с корпусом реактора. В результате эксперимента получены данные о возможности удержания кориума в корпусе реактора при тяжёлых авариях с плавлением активной зоны (Ю.Ю. Косвинцев, В.Г. Дворецкий, З.И. Чечёткина, В.В. Александров, Л.М. Тучнин).

В реальных условиях эксплуатации морского реактора вследствие отказов оборудования конденсатно-питательной системы и в возможных аварийных ситуациях (вплоть до непреднамеренного затопления корабля) может происходить засоление среды первого контура и охлаждение активной зоны морской или разбавленной морской водой. При возможных сквозных повреждениях оболочек твэлов будет происходить интенсивное коррозионное воздействие на топливо с выходом активных продуктов деления в первый контур. Интенсивность процессов определяется типом твэла, его состоянием (герметичностью) и внешними параметрами среды: температурой, солёностью, содержанием кислорода. Экспериментальное моделирование аварийного затопления активной зоны морской водой проведено как на герметичных отработавших твэлах, так и на твэлах с естественными и искусственными дефектами (В.А. Овчинников, В.Ю. Шишин, В.В. Александров). В испытаниях с герметичными твэлами имитировали различные аварийные ситуации, изменение температуры, сброс давления до атмосферного. Было показано, что при аварийных ситуациях, характеризующихся контактом твэлов с морской водой, радиационная обстановка будет в основном обусловлена степенью негерметичности твэлов и коррозионной стойкостью топлива. Испытания были проведены на твэлах различных конструкций и с разными оболочками

в широком диапазоне температуры при солёности воды от 0,1 до 35 %. В таких условиях была изучена кинетика выхода продуктов деления.

В НИИАРе были проведены испытания и исследования динамической прочности герметичных и негерметичных ТВС третьего поколения. Моделирование ударных нагрузок проведено на специальном стенде в условиях радиационно-защитных камер (Л.М. Тучнин, В.В. Александров, В.Г. Дворецкий). В результате испытаний показана высокая стойкость герметичных элементов активной зоны к воздействию ударных нагрузок. Правильность полученных выводов была подтверждена при выгрузке активной зоны трагически погибшей атомной подводной лодки «Курск».

В НИИАРе было выполнено большое количество и других экспериментов по транспортной тематике. Петлевые установки реакторов МИР и СМ широко использовали для отработки водно-химического режима теплоносителя первого контура. В петлевых установках были апробированы различные водно-химические режимы. В частности, были проведены специальные испытания с отклонениями параметров водно-химического режима от нормативных, в числе которых уникальный эксперимент с водой, концентрация соли в которой составляла до 2 г/л. В 1974 году была введена в строй специальная петлевая установка для отработки водно-химических режимов, техническое задание на проектирование которой составили Е.П. Ключков и В.Г. Топорова. Эта установка является универсальной как в плане соответствия материалам, используемым в паропроизводящих установках атомных судов, так и в плане проведения теплофизических экспериментов с твэлами. В 1972–1982 годах на двух петлевых установках реактора СМ и в двух петлевых каналах реактора МИР были проведены эксперименты, для того чтобы изучить, как влияет на стойкость оболочек твэлов содержание различных присадок в воде первого контура в разных режимах эксплуатации активных зон и какова динамика образования отложений на оболочках твэлов в режимах пристеночного и объёмного кипения воды. Были поставлены специальные опыты по дезактивации оборудования для обоснования его применения перед началом ремонтных работ на атомных судах. В этих работах наиболее активное участие приняли Ю.И. Цветков, Ю.Ф. Кулешова, В.И. Ларин, В.Г. Топорова. На реакторе РБТ-10/1 сотрудниками института В.И. Лариным, М.Н. Святкиным, П.С. Смирновым, С.В. Осиповым совместно со специалистами Опытного конструкторского бюро машиностроения была создана петлевая установка и проведены исследования водно-химического режима с естественной циркуляцией теплоносителя. В результате испытаний инструментированных термометрированных ТВС в петлевых установках реактора МИР были уточнены параметры, необходимые для теплогидравлического расчёта: коэффициенты перемешивания теплоносителя и теплопередачи, термическое сопротивление твэлов (П.С. Смирнов, А.Л. Ижutow). На петлевой установке ПВП-1 М.Н. Святкиным и В.А. Лебедевым отработывались режимы работы твэлов в условиях перегрева пара. В петлевых установках реактора СМ были проведены эксперименты по определению влияния циклического изменения мощности на работоспособность

твэлов и выполнена широкая программа экспериментов по испытанию негерметичных твэлов; реакторные испытания курировал А.К. Фрей, а материаловедческие исследования — В.Ю. Шишин.

С первых лет существования НИИАРа одним из важнейших направлений работ в области транспортных реакторов были исследования поглощающих материалов и органов регулирования, функционально отвечающих за пуск, плановую и аварийную остановки ядерных реакторов, регулирование мощности, выравнивание нейтронных и температурных полей по объёму активной зоны. В отличие от тепловыделяющих сборок стержни регулирования перемещаются в активной зоне, что накладывает дополнительные требования к надёжности их эксплуатации. Стержни выгорающего поглотителя, являясь элементами ТВС, испытывают характерные для твэлов нагрузки и в значительной мере определяют работоспособность топливных сборок.

Начинались работы в области поглощающих материалов в семидесятые годы с реакторных испытаний и послереакторных исследований мало изученных к тому времени поглощающих композиций для транспортных активных зон второго поколения. Проводили исследования в отделении материаловедения, в лаборатории под руководством В.П. Гольцева, в тесном сотрудничестве со специалистами Московского завода полиметаллов. В реактор СМ, а позже и в реакторы МИР, БОР-60 и ВК-50 были поставлены на облучение образцы с различными видами поглощающих материалов и макеты изделий на их основе. Были определены значения относительной физической эффективности широкого круга поглощающих композиций, получены сведения об их распухании под воздействием облучения, обоснованы существующие конструкции стержней аварийной защиты, автоматического регулирования, компенсирующих групп и стержней выгорающего поглотителя. В работах того периода принимали активное участие научные сотрудники: Т.М. Гусева, В.В. Чёсанов, В.М. Бойцов, В.И. Пономарёв, В.Р. Золотухин, В.А. Ольховиков, Г.А. Серняев, В.Ю. Шишин, Г.И. Гаджиев, А.А. Тейковцев, С.Н. Ворохобова, В.М. Косенков, а также лаборанты: Е.И. Жуков, В.А. Кокин, Е.А. Мордвинов, В.А. Ефимов.

Работы по изучению поглощающих материалов и органов регулирования для транспортных реакторов продолжились в лаборатории, которую возглавила З.И. Чечёткина. В составе лаборатории была сформирована группа по исследованию поглощающих материалов под руководством Т.М. Гусевой. В группу вошли и активно занимались материаловедческими исследованиями В.В. Чёсанов, В.М. Бойцов, В.И. Пономарёв, В.Р. Золотухин, В.А. Ольховиков, В.Ю. Шишин, а несколько позже — В.Д. Рисованный и А.В. Захаров. Организацией испытаний поглощающих материалов по транспортной тематике в исследовательском ядерном реакторе МИР занималась лаборатория под руководством Е.П. Ключкова при активном участии П.С. Смирнова, Ю.Г. Симонова, В.А. Овчинникова, испытания в реакторе БОР-60 курировали Г.И. Гаджиев, А.А. Тейковцев, Н.И. Широкова, а в реакторе СМ — В.Г. Топорова, С.В. Серёдкин, Ю.Н. Исаев, В.Н. Баландин.

В конце семидесятых годов работы по поглощающим материалам в институте приобрели особую актуальность, что было связано с выявленными недостаточными ресурсными возможностями стержней выгорающего поглотителя. В нескольких активных зонах был зафиксирован их массовый выход из строя. Сопровождалось это быстрым увеличением радиоактивности теплоносителя, загрязнённого изотопами гадолиния, использующегося в стержнях в качестве выгорающего поглотителя. Некоторые активные зоны по этой причине были преждевременно выведены из эксплуатации. Из-за обширной разгерметизации оболочек стержней выгорающего поглотителя и их распухания при взаимодействии сердечника с теплоносителем в ряде случаев происходила деформация и разрушение оболочек тепловыделяющих элементов в ТВС. Исследования разрушенных стержней из нескольких отработавших ТВС, которые в то время проводились при участии Л.М. Тучнина, Г.Л. Тебелевой, Л.И. Зайцевой, П.П. Гринчука, позволили сделать вывод, что ресурс существующей конструкции стержней выгорающего поглотителя и используемых в них материалов исчерпан. Необходимо было за короткое время найти способ его значительного увеличения. Иначе под вопросом оказывались новые технические проекты активных зон с большим сроком службы. Для радикального решения проблемы ресурса стержней выгорающего поглотителя необходимо было найти и освоить альтернативный поглощающий материал, обладающий высокой радиационной стойкостью и одновременно стойкостью к взаимодействию с водой и водяным паром. Проблема была настолько серьёзной, что сделалась в тот период одной из самых обсуждаемых на многочисленных совещаниях с участием высшего научного руководства страны, включая и президента Российской академии наук, руководителя работ по направлению транспортных установок в стране, академика А.П. Александрова, его заместителя академика Н.С. Хлопкина (ИАЭ), главного конструктора активных зон О.Б. Самойлова (ОКБМ) и других. К решению проблемы были подключены многие научные и производственные организации. Основным разработчиком и технологом новых материалов для стержней выгорающего поглотителя стал Московский завод полиметаллов — фактический монопольный конструктор, технолог и изготовитель таких стержней. К разработке новых материалов подключились также НИКИЭТ, ВНИИНМ и ХФТИ. Радиационные испытания и материаловедческие исследования было поручено проводить НИИАРу и частично ИАЭ.

В НИИАРе работы по решению проблемы ресурса стержней выгорающего поглотителя были развернуты широким фронтом и находились под пристальным вниманием научного руководства института по транспортной тематике: В.А. Цыканова, Е.П. Давыдова, Е.П. Клочкова, А.В. Куприенко. Сосредоточены работы были в лаборатории З.И. Чечёткиной — в группе по изучению поглощающих материалов под руководством Т.М. Гусевой. Ответственным исполнителем всех научно-исследовательских работ по этой тематике был назначен А.В. Захаров. В короткое время в реакторе СМ были организованы испытания большого количества различных поглощающих композиций, изготовленных на Московском заводе полиметаллов. В водяных петлях испытывали

множество вариантов герметичных и негерметичных макетов стержней выгорающего поглотителя с различными сердечниками. Для обеспечения реакторных испытаний с периодической инспекцией состояния макетов в процессе облучения были созданы разборные облучательные устройства, которые дали возможность оперативно сравнивать и выбирать наиболее перспективные варианты материалов и конструкций стержней выгорающего поглотителя. Для ускорения процесса накопления повреждающей дозы при облучении макетов были реализованы последовательные испытания их сначала в реакторе БОР-60, а затем в реакторе СМ. Одновременно в реакторе МИР в составе устройства «Гирлянда» и опытных ТВС проводили испытания макетов и полномасштабных стержней с альтернативным выгорающим поглотителем. Для проведения послереакторных исследований в институт в большом количестве поступали отработавшие ТВС с ледоколов, подводных лодок, наземных стендов, и исследованиям стержней выгорающего поглотителя из них уделялось особое внимание. Основную массу исследований проводили А.В. Захаров, Н.В. Судакова, А.В. Улитин. Результаты оперативно обсуждались с коллегами из МЗП, ВНИИНМ, ОКБМ, ИАЭ на совещаниях, которые в то время проводились ежеквартально или даже чаще.

В тот период были сделаны попытки решить проблему ресурса стержней выгорающего поглотителя, не дожидаясь результатов реакторных испытаний нескольких альтернативных вариантов выгорающих поглотителей. Основываясь на результатах коррозионных автоклавных испытаний и немногочисленных литературных данных, предложили композицию на основе сложного кислородного соединения — алюмината гадолиния. Были изготовлены опытные партии стержней выгорающего поглотителя с таким сердечником и поставлены в ТВС реакторов атомных ледоколов. К сожалению, ресурс таких стержней не оправдал ожиданий: после эксплуатации в реакторе отмечалось их распухание и разрушение. Поэтому масштабные исследования, направленные на поиск нового выгорающего поглотителя, продолжились. В результате анализа большого количества проведённых реакторных экспериментов и послереакторных исследований во второй половине восьмидесятых годов прошлого века проблема была успешно решена: был найден альтернативный выгорающий поглотитель, обеспечивающий повышенные требования к ресурсу стержней выгорающего поглотителя, — цирконат гадолиния. В активных зонах третьего и следующего поколений реакторов были внедрены и по настоящее время используются стержни на основе этого радиационно и коррозионно-стойкого выгорающего поглотителя. Экспериментальные результаты, полученные в НИИАРе, вошли в качестве радиационного обоснования в несколько новых технических проектов транспортных активных зон. Основной вклад в получение и анализ данных по влиянию облучения на различные выгорающие поглотители внесли А.В. Захаров и специалисты группы рентгеноструктурного анализа под руководством В.М. Косенкова.

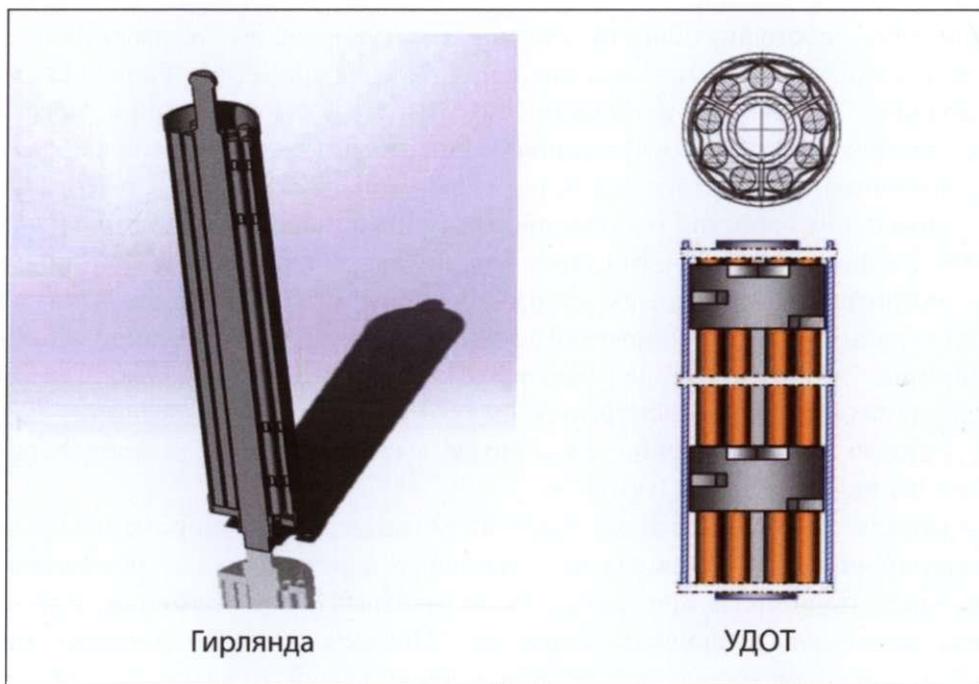
Помимо решения проблемы со стержнями выгорающего поглотителя в группе по изучению поглощающих материалов решали и проблемы увеличения ресурса

и надёжности стержней регулирования. Уникальными были проводимые в институте работы по радиационному обоснованию продления ресурса (с восьми до двадцати лет) стержней компенсирующих групп транспортных установок на основе европия. В работах принимали участие В.Д. Рисованный, А.В. Захаров, Т.М. Гусева, В.А. Кокин, Е.А. Мордвинов и многие другие специалисты материаловедческого отдела. В реакторах СМ и МИР были испытаны новые конструкции стержней на основе металлического гафния, диспрозия, самария. Полученные результаты дали возможность усовершенствовать конструкции стержней компенсирующих групп и аварийной защиты и увеличить их надёжность.

Развитие и расширение исследований по поглощающим материалам для транспортных, водо-водяных энергетических реакторов и реакторов на быстрых нейтронах привело в начале восьмидесятых годов прошлого столетия к созданию самостоятельной лаборатории поглощающих материалов и органов регулирования, которую возглавил В.Д. Рисованный, а позже, в девяностых годах, — А.В. Захаров. Большой объём проводимых в эти годы в НИИАРе исследований, направленных на экспериментальное обоснование разработки и совершенствования органов регулирования транспортных реакторов, позволил головным предприятиям отрасли решить ряд актуальных задач по обоснованию работоспособности стержней регулирования и аварийной защиты и расширить возможности использования в них перспективных поглощающих материалов, выполнить работы по аттестации поглотителей. Исследования поглотителей для транспортных реакторов послужили источником многих разработок в области органов регулирования для энергетических реакторов типа ВВЭР, РБМК и БН. Например, идея об уникальном свойстве неограниченной радиационной стойкости кислородных соединений с флюоритоподобными структурами, сформировавшаяся при поиске выгодного поглотителя для новых стержней, получила своё развитие в создании уникального радиационно стойкого поглотителя для стержней регулирования — гафната диспрозия. Этот же материал был рекомендован для использования в стержнях компенсирующих групп транспортных реакторов взамен композиции на основе европия, которая при облучении становится высокоактивной за счёт образования долгоживущих радиоактивных изотопов.

В семидесятых-восьмидесятых годах атомные ледоколы широко использовались для испытаний опытных активных зон, основные конструктивные решения которых предполагалось применять при создании элементной базы активных зон атомных подводных лодок и надводных кораблей. Поскольку сроки службы активных зон атомных ледоколов короче, чем активных зон кораблей, то возникла необходимость для этих специфических условий разработать собственную активную зону со своей элементной базой. С начала девяностых годов экономичность активных зон стала одним из основных критериев их выбора при использовании в атомных ледоколах. Специалистам отрасли удалось быстро решить эту проблему благодаря тому, что ранее в разборном облучательном устройстве «Гирлянда» и реакторе МИР было испытано

и исследовано большое количество вариантов твэлов и полномасштабных ТВС. Также было исследовано более ста сборок, отработавших в реакторах различных атомных ледоколов. Полученные результаты позволили проверить перспективные конструкции твэлов, обосновать их ресурсные характеристики, разработать и аттестовать новые оболочечные материалы, получить данные для создания и верификации расчётных кодов, обосновать поведение элементов в аварийных ситуациях, определить причины и механизмы их разрушения. Результаты последующей работы активных зон атомных ледоколов и материаловедческих исследований подтвердили правильность выбранных решений. В настоящее время специальные зоны для атомных ледоколов вырабатывают в два-три раза больше энергии, чем двадцать лет назад, причём все зоны достигают заданного ресурса без признаков разгерметизации. Кроме того, самые перспективные варианты готовы обеспечивать ещё более высокие ресурсные характеристики. Всего было исследовано около двадцати ТВС, отработавших в составе современных активных зон атомных ледоколов. В исследовании этих ТВС активное участие принимали А.Е. Новосёлов, В.В. Александров, В.Ю. Шишин, Т.А. Маслова, А.А. Шельдяков, И.А. Миндукшева.



а б  
 Схема и сечения облучательных устройств типа «Гирлянда»,  
 применяемых для облучения (а) и дооблучения (б) твэлов

До 1991 года работы по тематике транспортных реакторов занимали значительное место в деятельности института: в семидесятых-восьмидесятых годах объём реакторных испытаний и материаловедческих исследований составлял 15–25 % от общего объёма научно-исследовательских и опытно-конструкторских в НИИАРе, а объём исследований в институте — более 80 % от ежегодного объёма исследований таких ТВС во всех материаловедческих комплексах СССР. Начиная с этого периода в институте исследовали по 10–20 сборок в год! Научное руководство исследованиями по направлению транспортных реакторов до 1978 года осуществлял В.А. Цыканов. Реакторные испытания проводили специалисты из лаборатории С-3 под руководством Е.П. Клочкова, послереакторные исследования — специалисты лаборатории М-5 под руководством Е.Ф. Давыдова и лаборатории М-6 под руководством В.П. Гольцева и З.И. Чечёткиной. С 1984 года в отделе материаловедения функционировала объединённая лаборатория петлевых испытаний и материаловедческих исследований материалов и элементов транспортного назначения под руководством З.И. Чечёткиной. Начальником отдела в этот период был Е.П. Клочков, а директором отделения реакторного материаловедения — В.А. Куприенко. Проведённые объединённым коллективом реакторщиков и материаловедов испытания и исследования, в том числе и эксперименты, моделирующие аварийные ситуации, явились основой для обоснования безопасной эксплуатации и создания новой элементной базы активных зон третьего и четвертого поколений. В дальнейшем в институте восстановили две самостоятельные лаборатории: петлевых испытаний (А.Ф. Грачёв) и исследований топлива и твэлов (А.Е. Новосёлов). В настоящее время этими работами руководят В.А. Овчинников и В.Ю. Шишин.

Результаты и объём пятидесятилетней работы по морской тематике представлены далее в таблицах.

### Результаты исследований стержней системы управления и защиты

Параметр	Название ледокольного судна				
	Ленин		Арктика		Севморпуть
Год исследования	1977	1981	1994	1994	2002
Энерговыработка, млн МВт·ч	1,22	1,80	0,74	0,89	2,36
Время работы на мощности, ч	17 500	26 470	13 600	16 200	46 690
Тип поглотителя в нижней оболочке	На основе бора		На основе европия		
Флюенс быстрых нейтронов (с энергией более 0,5 МэВ) на конце стержня, $\times 10^{20} \text{см}^{-2}$	1,0	1,5	0,6	0,8	2,0
Состояние сердечника	Без изменений		Распухание		Без изменений

## Объём и результаты исследований активных зон транспортных реакторов

Наименование работы	Объём испытаний	Результаты исследований
<b>РЕАКТОРЫ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ</b>		
Послереакторные исследования ТВС стенда 27/ВМ и аварийных активных зон	30 ТВС	Впервые получены данные об изменениях свойств конструкционных и топливных материалов в условиях эксплуатации; установлены предельные значения выгорания топлива в активных зонах типа ВМ-1А, ВМ-1АМ, ВМ-4А-1
<b>РЕАКТОРЫ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ</b>		
Послереакторные исследования ТВС стенда 27/ВМ и штатных активных зон	35 ТВС	Получены данные об изменениях свойств конструкционных и топливных материалов в более жёстких условиях эксплуатации; определены причины и механизмы повреждения новых материалов и твэлов; установлены предельные значения выгорания топлива и другие ресурсные характеристики
Петлевые испытания в реакторе МИР и послереакторные исследования ТВС	4 ТВС	
Послереакторные исследования стержней компенсирующих групп и направляющих гильз стержней аварийной защиты активных зон	10 стержней	
<b>РЕАКТОРЫ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ</b>		
Петлевые ресурсные испытания в реакторе МИР и послереакторные материаловедческие исследования петлевых ТВС с элементами десяти конструктивных вариантов перспективных конструкций, дооблучение элементов	15 ТВС	Определены причины и механизмы повреждения материалов и твэлов; установлены предельные значения выгорания топлива и другие ресурсные характеристики; получены данные для создания и верификации расчётных кодов
Послереакторные исследования ТВС опытных и штатных активных зон атомных ледоколов	88 ТВС	
Послереакторные исследования ТВС, испытанных на стенде КВ-1	12 ТВС	
Послереакторные исследования ТВС, испытанных на стенде 27/ВМ, с различными оболочечными материалами	13 ТВС	Получены данные для создания и верификации расчётных кодов
Термические испытания облучённых элементов на внутрикамерных стендах, посттестовые исследования	40 экспериментов	Обосновано поведение твэлов в аварийных ситуациях, взаимодействие продуктов деградации ТВС с корпусом
Динамические испытания ТВС при различных ударных нагрузках	4 ТВС	Обосновано поведение ТВС, твэлов и стержней выгорающего поглотителя при динамических нагрузках
Исследования стойкости элементов в морской воде в различных режимах: герметичных твэлов и твэлов с искусственными и естественными дефектами	–	Обосновано поведение ТВС при заполнении активной зоны морской водой

## Продолжение таблицы

Наименование работы <small>Результаты работы</small>	Объём испытаний	Результаты исследований <small>Результаты работы</small>
Испытания в реакторах СМ, БОР-60 и МИР и послереакторные исследования макетов и образцов с перспективными поглощающими материалами для стержней аварийной защиты и компенсирующих групп	200 макетов и 1 000 образцов	Обосновано использование новых поглощающих материалов и конструкций стержней выгорающего поглотителя нового поколения; проведена аттестация поглотителей типа В <sub>4</sub> С, ПЕ-8, Еu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , БС-15-3; обоснована возможность использования в стержнях регулирования перспективных активных зон гафната и титаната диспрозия
<b>РЕАКТОРЫ ЧЕТВЁРТОГО ПОКОЛЕНИЯ</b>		
Исследования твэлов с различными топливными композициями	—	Выбрана и аттестована топливная композиция
Исследования в реакторах БОР-60 и СМ материалов различного класса и макетов с оболочками из них	30 материалов и 1 500 макетов	Разработаны и аттестованы новые оболочечные материалы
Испытания в реакторе МИР и исследования твэлов и макетов твэлов нескольких десятков конструктивных вариантов	2 000 твэлов и макетов	Разработаны новые конструкции твэлов
Петлевые ресурсные испытания петлевых ТВС с элементами пяти перспективных конструкций	10 ТВС	Обоснованы ресурсные характеристики твэлов новых конструкций; получены данные для создания и верификации расчётных кодов
Послереакторные испытания ТВС из опытных активных зон атомных ледоколов	18 ТВС	Проверены и обоснованы перспективные конструкции твэлов; получены данные для создания и верификации кодов
Термические испытания облучённых элементов на внутрикамерных стендах, посттестовые исследования	20 экспериментов	Обосновано поведение твэлов в аварийных ситуациях; определены причины и механизмы разрушения твэлов
Испытания твэлов с различным выгоранием топлива и искусственными дефектами	—	Исследована работоспособность негерметичных твэлов разных типов
Реакторные испытания в петлевой установке ПВП-2 фрагментов ТВС в режимах с частичной потерей теплоносителя вследствие повторного залива: необлучённых и одного облучённого твэла	1 ТВС	Обосновано поведение твэлов с различным выгоранием топлива при авариях с частичной потерей теплоносителя ТВС и повторным заливом

Специалисты института принимали участие в проводимых выдающимися учёными, создателями отечественного атомного флота (например, академиками А.П. Александровым, А.А. Бочваром, Н.С. Хлопкиным, Ф.М. Митенковым и др). научных семинарах и конференциях, посвящённых проблемам транспортных ядерных энергетических установок. Организаторами нескольких таких конференций выступал и сам НИИАР (1980, 1988, 1992, 1996, 2004, 2008, 2014 гг.). Членами секций научно-технических советов Министерства среднего машиностроения, Министерства Российской Федерации по атомной энергии и Государственной корпорации «Росатом» были Е.Ф. Давыдов, В.А. Куприенко, Е.П. Клочков, А.Е. Новосёлов и др. Специалисты НИИАРа принимали участие в организации и проведении многих торжественных мероприятий, посвящённых 300-летию Российского флота, 50-летию атомного подводного флота, 50-летию атомного ледокола «Ленин», в том числе в школах и вузах Димитровграда.



Участники торжественного мероприятия,  
посвящённого 50-летию атомного ледокола «Ленин» (г. Мурманск, 17 августа 2002 года)

Более пятидесяти сотрудников НИИАРа были отмечены орденами и медалями за достижения в обосновании активных зон морских реакторов. Военный совет Балтийского флота, учитывая вклад НИИАРа, присвоил наименование «Димитровград» одному из ракетных катеров Балтийского флота. За пятидесятилетний период участия НИИАР в работах по морской тематике создана уникальная экспериментальная база по реакторному материаловедению, накоплен большой опыт испытаний и исследований материалов и элементов активных зон морских реакторов, внесён существенный вклад в создание элементной базы для объектов Военно-Морского Флота и атомных ледоколов. Активные зоны, созданные на основе современной элементной базы, в реакторах атомных ледоколов демонстрируют уникальные ресурсные характеристики: энергонаработка превышает в несколько раз значение, достигнутое в активных зонах

реакторов предыдущих поколений, при этом элементы сохраняют герметичность. Обоснована радиационная стойкость новых оболочечных материалов, новых конструкций твэлов, поглощающих материалов на основе европия. Свою ценность результаты работы продолжают сохранять и в настоящее время: они используются при разработке новых активных зон. Совершенствование элементной базы активных зон атомных ледоколов продолжается и по сей день, развиваясь в трёх направлениях, как-то:

- переход на ураноёмкое топливо с меньшим обогащением;
- создание оболочечных материалов с ультрадисперсными системами;
- внедрение в стержнях регулирования поглощающих композиций на основе гафната диспрозия, для того чтобы отказаться от поглотителей на основе европия.

### 3.8. Институт и космос

*Границ научному познанию и предсказанию  
предвидеть невозможно.*

Д.И. Менделеев

Многолетнее участие Научно-исследовательского института атомных реакторов в освоении космоса можно разделить на два направления работ и два связанных с ними периода. В первый период, с 1963 по 1983 год, в НИИАРе поставлена серия реакторных экспериментов по изучению свойств конструкционных и топливных материалов, определению работоспособности отдельных элементов и узлов активных зон ядерных реакторов, которые планировалось применять в космических аппаратах. Во второй период, с конца восьмидесятых годов и до настоящего времени, специалисты НИИАР сосредоточились на решении проблемы изготовления бортовых источников питания для оснащения ими отечественных и зарубежных космических аппаратов.

В середине семидесятых годов перед учёными, конструкторами и технологами была поставлена задача создать источники электрической энергии для космических аппаратов, которые должны были обеспечить его длительный автономный полёт. Наиболее полно всем требованиям отвечал ядерный источник энергии, который являлся бы полностью автономным и практически был бы не ограничен по времени непрерывной работы на расчётных режимах. Выбор ядерного источника энергии продиктован и тем, что к этому времени была освоена технология отвода большого количества тепла так называемыми тепловыми трубами, а для производства непосредственно электрического тока широко применялся метод прямого преобразования из тепловой энергии.

Обеспечение надёжной работы бортового оборудования предполагает обязательное изучение работоспособности отдельных элементов и узлов в реальных условиях эксплуатации при моделировании определяющих параметров — температуры и интенсивности нейтронного и гамма-полей. Сложность выполнения этой задачи заключается в том, что условия работы оборудования для производства электрической энергии различного применения принципиально отличаются друг от друга по тепловой нагрузке, температуре, интенсивности радиационного поля, дозовым нагрузкам. Для успешного решения задачи необходима была экспериментальная база, которая включала бы исследовательские ядерные реакторы с набором необходимых физических характеристик и технологических возможностей. Такая экспериментальная база в отрасли появилась с пуском в НИИАРе исследовательского реактора РБТ-6. С вводом его в строй значительно расширились возможности НИИАРа по моделированию расчётных условий испытания как топливных материалов и твэлов, так и конструкционных материалов. Появилась возможность испытания образцов больших размеров и отдельных узлов конструкций в сборе, увеличилась номенклатура механических испытаний. Даже простой анализ физических характеристик испытательных каналов реакторного комплекса СМ — РБТ-6 убеждал разработчиков бортового оборудования в возможности воссоздания практически полного спектра требуемых режимов испытания отдельных материалов и узлов по всем важным параметрам. Вот почему решение сложной многоплановой задачи по радиационному обоснованию проектных решений бортовых энергоустановок было поручено именно НИИАРу.

Для решения проблемы в подразделении, которым в то время руководил В.А. Цыканов, были созданы три исследовательских группы. Каждой группой руководил специалист, ко времени начала проекта имевший определённый опыт разработки методологии и проведения испытаний различных материалов в реакторе СМ. Все группы были созданы на базе лаборатории, возглавляемой Б.В. Самсоновым. Коллектив учёных и инженеров, призванный заниматься решением этой проблемы, справился с поставленными задачами, и весь объём научных исследований был проведён на достаточно высоком уровне и в установленные сроки. Эти исследовательские группы возглавляли:

- Н.А. Асеев, специалист по постановке реакторных экспериментов, в которых электрофизические измерения с анализом изменения свойств изучаемых объектов под действием ионизирующих излучений требовалось проводить в онлайн-режиме. Под его руководством и при непосредственном участии были изучены свойства целого ряда электротехнических материалов и измерительных схем, что особенно актуально было при обосновании работоспособности установки прямого преобразования тепловой энергии в электрическую;
- Г.И. Социлин, специалист, обладающий конкретными знаниями по радиационному материаловедению, владеющий техникой реакторного эксперимента по испытанию сложных систем. Поэтому ему было поручено испытание коллекторных пакетов,

входящих в узел прямого преобразования тепловой энергии в электрическую, разработка рекомендаций по конструкции пакетов и прогнозирование ресурса;

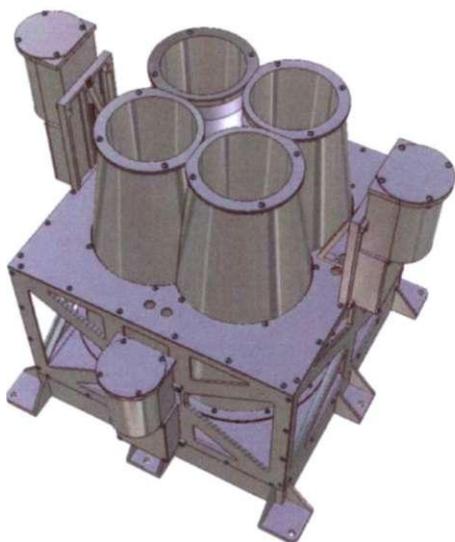
- В.Н. Шулимов, инженер-теплофизик, специалист в области испытания реакторных материалов широкого класса (конструкционных, топливных композиций и твэлов) в заданных условиях как в стационарных, так и в динамических режимах. Основная проблема таких испытаний состоит в обеспечении заданной температуры на экспериментальных образцах в условиях интенсивного и неравномерного по объёму энерговыделения в канале высокопоточного исследовательского реактора. Задачи, которые решала данная группа, касались облучения до проектного значения выгорания топлива как одиночных твэлов бортовых реакторов, так твэлов в составе тепловыделяющих сборок. Конечный результат выявлялся в процессе посттестовых исследований облучённых объектов в радиационно-защитных камерах.

Опыта проведения таких разноплановых экспериментов в каналах высокопоточных реакторов на момент начала выполнения проекта в НИИАРе не было. Эксперименты, в которых предмет изучения проявлялся только во время действия ионизирующего излучения и пропадал с его исчезновением, вообще планировались впервые. Учитывая временной фактор, не было возможности создавать специализированную экспериментальную базу для решения поставленных задач. Испытания необходимо было провести на существующем оборудовании. Это было выполнено путём создания многочисленных ампульных устройств для проведения конкретных видов испытаний. Впервые Н.А. Асеевым было проведено испытание образцов в реакторных условиях в атмосфере цезия, который, как известно, уменьшает работу выхода носителей заряда из термоэлектрических преобразователей. Тепло от деления урана или поглощения гамма-излучения снималось теплоносителем первого контура реактора или существующих петлевых установок. Впервые в практике проведения реакторного эксперимента были применены так называемые ампулы-петли с автономными контурами циркуляции теплоносителя.

В результате научно-практической деятельности обосновано применение предложенных конструктором твэлов двух типов реакторов; изучены характеристики и рекомендованы к применению намеченные электротехнические материалы и схемы; изучены также свойства электрокерамики, входящей в качестве изоляционного материала в конструкцию коллекторного пакета, измерена величина электрической изоляции этого пакета, являющейся основным показателем работоспособности изделия; получена динамика изменения электрической изоляции с набором дозы ионизирующих излучений. Результаты этих исследований были использованы при создании ядерных энергетических установок для космических аппаратов, в частности для аппаратов типа «Тополь», «Бук». На реакторе РБТ-6 создан электрогенерирующий канал электрической мощностью около 5 Вт. За участие в обосновании изделий для аппаратов типа «Тополь», «Бук» Е.П. Клочков и В.Н. Шулимов отмечены Почётной грамотой Государственной корпорации «Роскосмос».

Государственная корпорация «Роскосмос» является заказчиком и опытно-конструкторской работы по изготовлению аппаратуры для российского прибора

«ЛЕНД»\* на борту космического аппарата ЛРО\*\* Национального управления по воздухоплаванию и исследованию космического пространства. Участие НИИАРа заключалось в изготовлении элементов этого аппарата, которые обеспечивали бы защиту от нейтронного излучения космического пространства. В 2005–2009 годах В.Д. Рисованный осуществлял в институте научно-техническое руководство работами по проектированию и созданию коллиматоров с бором-10 для телескопа «ЛЕНД», изготовленного в Институте космических исследований Российской академии наук. Им предложено использование спрессованного порошка кристаллического бора с массовой долей изотопа бора-10 свыше 95 %, получаемого из аморфного бора. Л.Л. Казаков являлся главным ответственным исполнителем при разработке, проектировании и изготовлении трёх комплектов коллиматора телескопа «ЛЕНД». Под его руководством разработаны технологии перевода порошка аморфного бора с бором-10 в кристаллический бор необходимого фракционного состава, отработаны технологии заполнения корпусов коллиматоров порошком, проведены приёмсдаточные испытания.



а



б

Технический эскиз (а) и внешний вид (б) прибора «ЛЕНД»  
без слоя экранно-вакуумной термоизоляции

В настоящий момент прибор функционирует в космосе без аварий и отказов и получил высокую оценку зарубежных специалистов. Например, Л.Л. Казаков награждён за выполненные работы именованным сертификатом Национального управ-

\* Lunar exploration neutron detector (англ.) — лунный исследовательский нейтронный детектор. — Прим. ред.

\*\* Lunar reconnaissance orbiter (англ.) — лунный разведывательный орбитер. — Прим. ред.

ления по воздухоплаванию и исследованию космического пространства (США). С помощью установленного на борту аппарата ЛРО российского нейтронного телескопа «ЛЕНД» была добыта ценная научная информация. По данным, полученным в ходе измерений, появилась возможность оценить наличие водорода в поверхностном слое Луны. Результаты работы прибора «ЛЕНД» повлияли на концепцию российской программы лунного проекта «Луна-Глоб».

К началу восьмидесятых годов лаборатория под руководством А.Г. Рыкова добилась немало признания в мировой науке, разработав методики получения интерметаллидов, сплавов и соединений трансплутониевых элементов. Затем группа единомышленников во главе с В.М. Радченко приступила к разработке технологии изготовления ионизирующих источников, которая позволила получить экспериментальные образцы сплавов, одновременно обладающих высокой химической устойчивостью, пластичностью и другими редкими характеристиками. Эти уникальные свойства открывали широкие возможности использования интерметаллидов не только на Земле, но и в космическом пространстве.

В НИИАРе был разработан новый тип источника ионизирующего излучения на основе юрия-244. Источник был предназначен для определения состава поверхностных пород космических объектов. Было изготовлено более пятидесяти таких источников, которыми оснащались альфа-протонно-рентгеновские спектрометры для экспедиции «Спирит»\* Национального управления по воздухоплаванию и исследованию космического пространства, станции «Оппортьюнити»\*\*, автоматических межпланетных станций «Розетта», «Феникс» и «БеппиКоломбо»\*\*\*. Важная роль в разработке и проектировании таких источников принадлежит В.М. Радченко, М.А. Рябинину, Н.Н. Андрейчуку. Марсоходы «Спирит» и «Оппортьюнити», достигнув поверхности Марса, исследовали планету с помощью произведённых в НИИАРе источников альфа-излучения. За время их работы на Землю было передано огромное количество высококачественных снимков, гигабайты ценной научной информации об элементном составе поверхностного слоя Красной планеты. Эти два марсохода как памятники человеческому гению навсегда остались на планете Марс. На них закреплены пластины с фамилиями людей со всего мира, которые внесли наибольший вклад в проектирование, сооружение, испытание и подготовку этих космических аппаратов. Среди шестидесяти землян, удостоенных такой чести, и имя сотрудника НИИАРа, доктора химических наук В.М. Радченко. Поэтому ниияровцы могут с гордостью заявлять, что и на Марсе есть их имена!

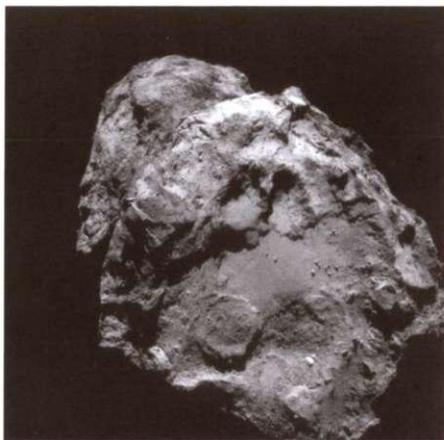
Участие НИИАРа в космических программах с каждым годом расширялось. В марте 2004 года европейский исследовательский аппарат «Розетта» с тем же альфа-протонно-рентгеновским спектрометром APXS, в состав которого входили произведённые в НИИАРе источники альфа-излучения, на борту отправился на ко-

\* Spirit (англ.) — дух. — Прим. ред.

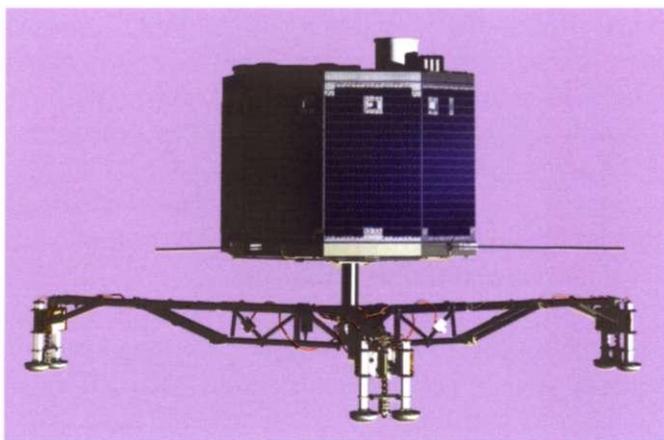
\*\* Opportunity (англ.) — благоприятная возможность. — Прим. ред.

\*\*\* В честь итальянского математика и инженера Джузеппе Коломбо (Giuseppe (Beppi) Colombo). — Прим. ред.

мету 67P/ Чурюмова — Герасименко\*. Он состоял из двух частей: собственно зонда «Розетта»\*\* и спускаемого аппарата «Филы»\*\*\*. В программу уникального проекта входило изучение пояса астероидов между Марсом и Юпитером, определение параметров ядра кометы, исследование химического состава и изучение изменения активности кометы со временем. Аппарат выполнил свои основные научные задачи, на Землю было передано большое количество ценной научной информации.



а



б

Внешний вид кометы Чурюмова — Герасименко (а) и посадочного модуля «Филы» (б)

Сегодня НИИАР наряду с другими предприятиями отрасли продолжает участвовать в проектах по исследованию и освоению космического пространства, обеспечивая лидирующую роль России в перспективных масштабных международных проектах. Нет сомнений, что накопленный за многие годы опыт исследований, а также творческий потенциал специалистов института позволят НИИАРу внести достойный вклад в изучение космических объектов.

\* Комета Чурюмова — Герасименко была открыта 23 октября 1969 года советским астрономом К.И. Чурюмовым на фотопластинках другой кометы, снятых астрономом С.И. Герасименко. Клим Иванович Чурюмов (1937 — 2016) — советский астроном, член Нью-Йоркской академии наук, популяризатор науки, детский писатель. Светлана Ивановна Герасименко (род. в 1945 г.) — советский астроном. — Прим. ред.

\*\* Rosetta space probe (англ.) — название происходит от знаменитого Розеттского камня — каменной плиты с выбитыми на ней тремя идентичными по смыслу текстами, два из которых написаны на древнеегипетском языке, а третий — на древнегреческом языке. Сравнивая эти тексты, учёные смогли расшифровать древнеегипетские иероглифы; с помощью космического аппарата «Розетта» учёные хотели узнать, как выглядела Солнечная система до того, как сформировались планеты. — Прим. ред.

\*\*\* Philae lander (англ.) — название спускаемого аппарата также связано с расшифровкой древнеегипетских надписей: на острове Филы был найден обелиск с иероглифической надписью, которая помогла учёным расшифровать древнеегипетские иероглифы. — Прим. ред.

## Глава 4



# НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

*Кто учит своего учителя, как не его ученики?*

П.Л. Капица

*Студент — это не сосуд,  
который надо заполнить знаниями,  
а факел, который нужно зажечь.*

Л.А. Арцимович

Со дня основания и до наших дней значимым направлением деятельности института является кадровая политика. В те далекие годы, когда институт только зарождался, образовательный уровень населения территории Средней Волги был невысок. Для организации учебной работы в августе 1959 года был создан методический совет под председательством М.И. Ермолаева, исполняющего обязанности главного инженера НИИАРа. В декабре 1961 года в институте открылся учебно-консультационный пункт Ульяновского политехнического института, а чуть позже — Московского политехнического техникума.



ЕРМОЛАЕВ  
Михаил Иванович

После пуска реактора СМ и других объектов института появилась возможность для проведения под руководством ведущих специалистов НИИАРа преддипломной и курсовой практики для студентов различных вузов. Число таких студентов-практикантов велико. Только за последние пять лет около 2 000 студентов вузов прошли курсовую и преддипломную практики в институте, впервые попробовав себя в профессии. Фамилии многих студентов-практикантов стали знаковыми для отрасли: В.А. Межуев,



ГРИЦУН  
Александр Григорьевич



КУЗИН  
Александр Викторович



БОГАТОВА  
Татьяна Виллиевна

Д.Л. Зверев, А.Ф. Грачёв. Сегодня НИИАР — одна из базовых площадок для подготовки студентов и преподавателей атомной отрасли: ежегодно практику и стажировки проходят 350–500 человек. Большое внимание кадровому вопросу уделяли А.Г. Грицун, А.В. Кузин, Т.В. Богатова.

В сентябре 1960 года были набраны первые группы по изучению философии, английского и других иностранных языков. В марте 1959 года был создан научно-технический совет предприятия, а в марте 1961 года — две его секции: научно-техническая и производственно-техническая. С июля 1962 года действовала комиссия по замещению должностей руководителей и ведущих научных сотрудников лабораторий по конкурсу.

Первый состав совета молодых учёных НИИАРа был утверждён 31 декабря 1969 года. Председателем был избран П.Г. Крутиков, в дальнейшем совет возглавлял В.М. Раецкий. В настоящее время молодыми учёными руководит М.А. Соловьёв.

В 1964 году в НИИАРе открылась заочная аспирантура, которая функционировала до 2006 года. С 2011 года достигнуто соглашение о приёме сотрудников НИИАР в аспирантуру УлГУ, а с 2012 года — в аспирантуру ДИТИ НИЯУ МИФИ. В ноябре 1962 года введена должность учёного секретаря, на которую была назначена В.М. Гордина. После её отъезда, с июля 1969 года, учёным секретарем стал А.П. Феофанов. С мая 1973 года на эту должность назначена И.И. Назарова, с 1977 по 2011 год секретарём работал А.П. Платонов. В настоящее время учёным секретарём института является Ю.А. Валиков.



РАЕЦКИЙ  
Виталий Михайлович



СОЛОВЬЁВ  
Максим Анатольевич



ГОРДИНА  
Вера Михайловна



ФЕОФАНОВ  
Анатолий Павлович



НАЗАРОВА  
Ирина Ивановна



ПЛАТОНОВ  
Арий Прокопьевич



ВАЛИКОВ  
Юрий Александрович

С ноября 1963 года функционировали экзаменационные комиссии из специалистов НИИАРа по приёму аспирантских и кандидатских экзаменов и защите дипломных проектов. Работники НИИАРа, являясь преподавателями вузов, и сейчас принимают участие в деятельности комиссий по защите дипломных проектов студентами УлГУ, УлГТУ и ДИТИ НИЯУ МИФИ. Например, Е.П. Клочкин является председателем госкомиссии по приёму дипломных работ у студентов кафедры «Ядерные реакторы и материалы» ДИТИ НИЯУ МИФИ.



На защите дипломных проектов

Приказом министра высшего и среднего специального образования СССР 19 октября 1963 года утверждён состав диссертационного совета по присуждению учёных степеней. В НИИАРе стало возможным присвоение учёных степеней кандидатов наук по трём направлениям: физико-математические, технические и химические науки. После отъезда О.Д. Казачковского диссертационный совет НИИАРа в 1973 году прекратил свое существование, а ведущие специалисты В.А. Цыканов,



**КРАСНОСЁЛОВ**  
Василий Аркадьевич



**КОЛЕСНИКОВ**  
Александр Николаевич



**КУЗНЕЦОВ**  
Ростислав Александрович

В.Б. Иванов, Е.П. Клочков были включены в состав диссертационных советов при НГТУ, ВНИИТФА, ИАЭ, НИКИЭТ. В настоящее время членами диссертационных советов ОКБМ и УлГУ являются Е.П. Клочков, В.С. Неустроев, В.Д. Рисованный, Р.С. Макин, Ф.Н. Крюков, В.М. Косенков.



**ПАВЛОВ**  
Сергей Владленович



**РИСОВАННЫЙ**  
Владимир Дмитриевич



**КАЛЫГИН**  
Владимир Валентинович

Сотрудники НИИАРа ведут большую научно-педагогическую работу в Димитровградском технологическом институте (ДИТИ НИЯУ МИФИ) и Ульяновском государственном университете, где заведуют (или заведовали) кафедрами В.А. Красносёлов, Р.А. Кузнецов, С.В. Павлов, В.В. Калыгин, В.Д. Рисованный, А.Н. Колесников.

В декабре 1966 года В.Н. Нефёдовым защищена первая кандидатская диссертация, в 1972 году А.Г. Рыковым — первая докторская. На рубеже шестидесятых — семидесятых годов прошлого века резкий скачок защит кандидатских диссертаций был вызван рядом обстоятельств, главным из которых было завершение к указанному времени становления молодого научного коллектива института, активно работавшего в области основных направлений атомной науки и техники и получившего значительные научные результаты как в области реакторного материаловедения, радиохимии, исследований далеких трансурановых элементов и их использования для научных целей и народного хозяйства страны, так и освоения основной исследовательской базы института. В это время в институте вводятся в строй материаловедческая и радиохимическая лаборатории, сооружаются исследовательский реактор МИР и реактор на быстрых нейтронах БОР-60, начинаются широкомасштабные исследования по тематике транспортных ядерных энергетических установок, создаётся уникальная установка «Орёл» для технологических исследований ядерного топливного цикла реакторов на быстрых нейтронах. К середине восьмидесятых годов количество защит снова возросло, но уже за счёт подготовки диссертаций по тематике реконструкции основных ядерных установок института и опыта их эксплуатации, обобщения полученных научных результатов. Постепенно увеличивалось и число подготавливаемых и защищаемых докторских диссертаций. К 1990 году количество специалистов высшей квалификации в институте достигло 160 человек, что удовлетворяло потребности того времени.

Около пятидесяти сотрудников НИИАРа защитили докторские диссертации, около трёхсот человек — кандидатские. В функционирование аспирантуры и подготовку кадров высшей квалификации внесли свой весомый вклад Н.Н. Зинковская, Л.А. Старкова, О.А. Егорова, Л.Ю. Беляева.

Создание научно-образовательных центров — эффективный путь для решения поставленных задач кадровой политики. Привлечение докторов и кандидатов наук из НИИАРа к чтению лекций, проведению практических занятий, руководству дипломными работами помогает студентам и аспирантам раскрыть перспективы своей

карьеры после окончания учебного заведения. Научно-образовательные центры были созданы совместно с Ульяновским государственным университетом, Ульяновским государственным техническим университетом, Национальным исследовательским ядерным университетом «МИФИ», Димитровградским инженерно-технологическим



ЗИНКОВСКАЯ  
Нина Николаевна



СТАРКОВА  
Людмила Анатольевна



ЕГОРОВА  
Ольга Александровна



БЕЛЯЕВА  
Людмила Юрьевна

институтом, Самарским государственным университетом, Государственной морской академией имени адмирала С.О. Макарова. Главными целями соглашений о сотрудничестве являются совершенствование подготовки кадров и развитие совместных научных исследований по следующим направлениям: техника радиационного эксперимента, создание информационно-измерительных систем контроля и диагностики, реакторное материаловедение, управление качеством для обеспечения технической безопасности объектов, фундаментальные свойства трансураниевых элементов; а также совместная организация научных конференций, семинаров, школ для студентов и аспирантов; корректировка существующих и разработка новых программ подготовки специалистов. По состоянию на 1 января 2014 года общее число участников вышеупомянутых научно-образовательных центров составило 120 человек, в том числе 40 докторов и кандидатов наук и 50 студентов и аспирантов. Как показывает опыт, создание таких центров положительно влияет на решение проблемы подготовки кадров. За период действия научно-образовательных центров защищено четыре докторских и пять кандидатских диссертаций, подготовлено множество докладов на международные конференции, большое количество студентов и аспирантов приняло участие в отраслевых и региональных молодёжных семинарах и конференциях, и их работы были отмечены различными дипломами. Особо следует отметить работу консорциума НИИАР — УлГУ, который функционирует более десяти лет. Регулярно (не реже двух раз в год)



ГОЛОВАНОВ  
Виктор Николаевич



ПЛОТЦЕВ  
Владимир Михайлович

проводятся заседания его исполнительного органа. Большой вклад в дело развития сотрудничества НИИАР — УлГУ внёс В.М. Плотцев. За период действия консорциума состоялось несколько выпусков по специальностям «Физика металлов» и «Физика» (заведующий кафедрой В.Н. Голованов). С 2004 по 2011 год из дмитровградского филиала УлГУ на работу в НИИАР было принято 107 выпускников по специальностям: «Физика», «Физика металлов», «Радиационная безопасность человека и окружающей среды», «Финансы и кредит», «Менеджмент организации». В дальнейшем многие из них стали призёрами и лауреатами федеральных и отраслевых конкурсов, успешно продолжили обучение в аспирантуре по полученным специальностям. В 2012 году в структуре базовой кафедры «Радиационные технологии» (заведующий кафедрой В.Д. Рисованый) созданы две лаборатории: учебно-научная производственная (заведующий Д.К. Рязанов) и математического моделирования (заведующий Д.А. Корнилов). Деятельность кафедры в 2012 году была отмечена дипломом «Золотая кафедра России» Российской академии естествознания и дипломом качества Европейской научно-промышленной палаты. За высокий профессионализм и ответственное отношение к работе в 2013 году В.Д. Рисованый награждён дипломом качества и медалью Европейской научно-промышленной палаты.

Начиная с 2001 года успешно работает и кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки» (ныне «Ядерные реакторы и материалы») при димитровградском филиале УлГТУ, который с 2011 года вошёл в состав димитровградского филиала НИЯУ «МИФИ». Эту кафедру закончили более семидесяти выпускников, большинство из которых были приняты на работу в НИИАР.

Выпуск научной литературы — важный вид деятельности для любого научно-исследовательского института. В НИИАРе всегда уделяли большое внимание этому направлению: сотрудниками института подготовлено около 80 монографий и учебных пособий. Вот некоторые из них:

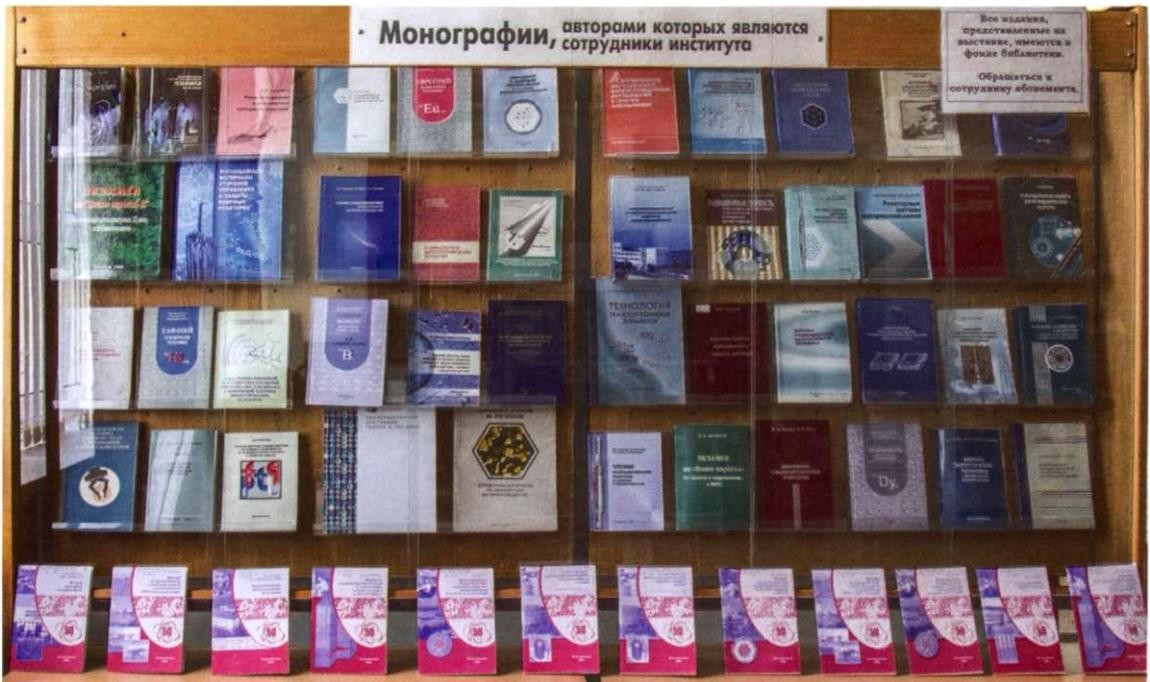
- Волков Ю.Ф., Орлова А.И. Систематика и кристаллохимические аспекты неорганических соединений с одноядерными тетраэдрическими оксоанионами. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2004. — 286 с.
- Вотинов С.Н., Прохоров В.И., Островский З.Е. Облучённые нержавеющие стали. — М.: Наука, 1987. — 128 с.
- Голованов В.Н., Крюков Ф.Н., Кузьмин С.В., Никитин О.Н. Электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ топливных композиций ядерных энергетических реакторов. — Ульяновск: Ульяновский государственный университет, 2006. — 143 с.
- Гольцев В.П., Серняев Г.А., Чечёткина З.И. Радиационное материаловедение бериллия. — Минск: Наука и техника, 1977. — 96 с.
- Иванов В.Б., Басова Б.Г., Дворецкий В.Г., Ходырев Ю.П. Автоматизация дистанционных материаловедческих исследований в горячих лабораториях. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 153 с.
- Исследовательские ядерные установки России: сборник / под ред. В.Н. Федулина, И.Т. Третьякова, Н.В. Архангельского. — М.: ОАО «НИКИЭТ», 2012. — 328 с.
- Исследовательские ядерные установки государств — участников Содружества Независимых Государств: сборник / ред.-сост.: М. К. Виноградов, В. Н. Федулин. — М.: Издательство «Гелиос АРВ», 2016. — 480 с.
- Кобылянский Г.П., Новосёлов А.Е. Радиационная стойкость циркония и сплавов на его основе. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 1996. — 176 с.
- Косенков В.М. Рентгенография в реакторном материаловедении. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 104 с. (и 2-е изд., перераб. и доп. — Ульяновск: Ульяновский государственный университет, 2006. — 168 с.).
- Красносёлов В.А., Грачёв А.Ф. Введение в атомную энергетику. — Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2004. — 204 с.
- Крюков Ф.Н., Голованов В.Н., Шамардин В.К. Коррозия оболочек твэлов реакторов на быстрых нейтронах в результате физико-химического взаимодействия с топливом и продуктами деления. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2006. — 229 с.
- Кушнир Ю.А. Прикладная метрология в ядерных исследованиях и технологиях. — Димитровград: АО «ГНЦ НИИАР», 2014. — 183 с.

- Маёршин А.А. Тепловыделяющие элементы с виброуплотнённым оксидным топливом. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2007. — 327 с.
- Макин В.С., Макин Р.С. Основы взаимодействия ультракороткого лазерного излучения с конденсированными средами. — Димитровград: ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2013. Ч. 1. — 236 с.
- Макин Р.С. Введение в динамическую теорию бифуркаций. — Димитровград: ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2013. — 145 с.
- Макин Р.С. Введение в теорию нелинейных диссипативных динамических систем: учебное пособие. — Димитровград: Димитровградский институт технологии, управления и дизайна (Ульяновский государственный технический университет), 2006. — 420 с.
- Макин Р.С. Избранные задачи математической физики: учебное пособие. — Димитровград: Димитровградский институт технологии, управления и дизайна (Ульяновский государственный технический университет), 2005. — 62 с.
- Макин Р.С. Математические задачи нелинейной теории переноса (газокинетическая теория). — Димитровград: Димитровградский институт технологии, управления и дизайна (Ульяновский государственный технический университет), 2006. — 268 с.
- Макин Р.С. Методы качественного спектрального анализа дифференциальных операторов и их приложения. — Димитровград: ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2014. — 360 с.
- Макин Р.С. Нелинейные задачи теории реакторов. Газокинетическое уравнение. — Димитровград: Димитровградский институт технологии, управления и дизайна (Ульяновский государственный технический университет), 2008. — 186 с.
- Моделирование поведения реакторных материалов под облучением / под ред. В.В. Светухина, В.Н. Голованова, В.Д. Рисованого. — Ульяновск: Ульяновский государственный университет, 2007. — 205 с.
- Николаев В.М., Карелин Е.А., Кузнецов Р.А., Топоров Ю.Г. Технология трансплутониевых элементов. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2000. — 359 с.
- Павлов С.В. Неразрушающие ультразвуковые методы исследований облучённого топлива ядерных реакторов. — Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2013. — 256 с.
- Павлов С.В., Сухих А.В., Сагалов С.С. Вихрековые методы контроля в реакторном материаловедении. — Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2010. — 216 с.
- Павлов С.В., Сухих А.В., Сагалов С.С. Гамма-спектрометрия в реакторном материаловедении. — Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2012. — 314 с.
- Поляков В.И. Экзамен на «homo sapiens» (от экологии и макроэкологии... к МИРУ). — Саранск: Издательство Мордовского государственного университета, 2004. — 496 с.
- Радиационная физика твёрдого тела и реакторное материаловедение / под ред. С.Н. Вотинова, В.П. Гольцева, Е.Ф. Давыдова и др. — М.: Атомиздат, 1970. — 264 с.

- Радченко В.М., Рябинин М.А., Кузнецов Р.А. Источники ионизирующих излучений на основе трансплутониевых элементов. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2008. — 164 с.
- Радченко В.М., Рябинин М.А., Топоров Ю.Г. Источники альфа-излучения на основе кюрия-244 для космических исследований. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2004. — 80 с.
- Радченко В.М., Рябинин М.А., Топоров Ю.Г. Металловедение трансплутониевых металлов. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2009. — 200 с.
- Рисованный В.Д., Захаров А.В., Гусева Т.М., Клочков Е.П., Муралёва Е.М. Поглощающие материалы стержней управления и защиты ядерных реакторов. — Ульяновск: Ульяновский государственный университет, 2012. — 442 с.
- Рисованный В.Д., Захаров А.В., Клочков Е.П., Светухин В.В. Поглощающие материалы для атомных реакторов: учебно-методический комплекс. — Ульяновск: Ульяновский государственный университет, 2006. — 113 с.
- Рисованный В.Д., Захаров А.В., Клочков Е.П. Поглощающие материалы и органы регулирования ядерных реакторов: учебное пособие для студентов вузов. — М.: Московский энергетический институт, 2012. — 390 с.
- Рисованный В.Д., Захаров А.В., Клочков Е.П. Органы регулирования ядерных реакторов: учебное пособие по специальности «Атомные электростанции и установки». — Ульяновск: Ульяновский государственный университет, 2006. — 124 с.
- Рисованный В.Д., Захаров А.В., Клочков Е.П., Гусева Т.М., Пономаренко В.Б. Бор в ядерной технике. *Boron in nuclear engineering* (на рус. и англ. яз.). — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2010. — 672 с.
- Рисованный В.Д., Захаров А.В., Клочков Е.П., Гусева Т.М., Пономаренко В.Б. Бор в ядерной технике. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2003. — 344 с. (и 2-е изд., перераб.— Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2004. — 304 с.).
- Рисованный В.Д., Захаров А.В., Клочков Е.П., Пономаренко В.Б. Европий в ядерной технике. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 1998. — 148 с. (и 2-е изд., перераб. и доп. (на рус. и англ. яз.).— Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2004. — 306 с.).
- Рисованный В.Д., Захаров А.В., Клочков Е.П., Пономаренко В.Б., Муралёва Е.М. Диспрозий в ядерной технике. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2011. — 224 с. (и 2-е изд., перераб. и доп. (на рус. и англ. яз.). — Ульяновск: Ульяновский государственный университет, 2013. — 435 с.).
- Рисованный В.Д., Клочков Е.П., Пономаренко В.Б. Гафний в ядерной технике. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 1993. — 141 с.
- Рогозянов А.Я. Термическая и радиационно-термическая ползучесть оболочечных труб из циркониевых сплавов. — Димитровград: Димитровградский институт технологии, управления и дизайна (Ульяновский государственный технический университет), 2010. — 358 с.

- Рогозянов А.Я. Технические средства и методики исследования механических свойств конструкционных материалов в процессе реакторного облучения. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2006. — 212 с.
- Рязанов Д.К. Спектрометрия и дозиметрия нейтронов на исследовательских реакторах. — Димитровград: ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2013. — 294 с.
- Самсонов Б.В., Цыканов В.А. Реакторные методы материаловедения. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 243 с.
- Светухин В.В. Кинетика распада пересыщенного твёрдого раствора. — Ульяновск: Ульяновский государственный университет, 2005. — 208 с.
- Скиба О.В., Кислый В.А., Савочкин Ю.П., Вавилов С.К. Пироэлектрoхимические процессы в топливном цикле реакторов на быстрых нейтронах. — Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2012. — 348 с.
- Соколовский Ю.С. Разработка газофторидной технологии переработки отработавшего ядерного топлива. — Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2011. — 116 с.
- Старков В.А., Красносёлов В.А. Основы анализа ядерного топливного цикла (внутренний топливный цикл). — Димитровград: Димитровградский институт технологии, управления и дизайна (Ульяновский государственный технический университет), 2007. — 125 с.
- Сулаберидзе В.Ш. Средства контроля условий испытаний материалов в экспериментах на исследовательских реакторах и в защитных камерах. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 1997. — 208 с.
- Сулаберидзе В.Ш., Чернобровкин Ю.В., Валиуллин Ф.В., Котов Н.П. Дифференциально-трансформаторные преобразователи линейных перемещений для реакторных экспериментов. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 1999. — 118 с.
- Сюзёв В.Н. Реакторные мишени для накопления трансплутониевых элементов. — Димитровград: ОАО «ГНЦ РФ НИИАР», 1911. — 208 с.
- Токарев Ю.И., Чечёткин Ю.В., Гаврилин А.И. Ядерные энергетические установки с органическим теплоносителем. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 224 с.
- Цыканов В.А. О необходимости и путях развития ядерной энергетики. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2007. — 96 с.
- Цыканов В.А. Пути преодоления современного энерго-экологического кризиса. — Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2013. — 156 с.
- Цыканов В.А. Тепловыделяющие элементы для исследовательских реакторов. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2001. — 249 с.
- Цыканов В.А., Давыдов Е.Ф. Радиационная стойкость тепловыделяющих элементов ядерных реакторов. — М.: Атомиздат, 1977. — 136 с.
- Цыканов В.А., Самсонов Б.В. Техника облучения материалов в реакторах с высоким нейтронным потоком. — М.: Атомиздат, 1973. — 264 с.
- Чечёткин Ю.В. Вывод ядерных и радиационно-опасных объектов из эксплуатации. — Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2013. — 392 с.

- Чечёткин Ю.В. Основы радиационной безопасности человека. — Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2008. — 384 с.
- Чечёткин Ю.В., Грачёв А.Ф. Обращение с радиоактивными отходами. — Самара: Самарский Дом печати, 2000. — 248 с.
- Чечёткин Ю.В., Кизин В.Д., Поляков В.И.. Радиационная безопасность АЭС с быстрым реактором и натриевым теплоносителем. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 128 с.
- Чечёткин Ю.В., Новосёлов А.Е., Чечёткина З.И. Обращение с ядерным топливом АЭС в условиях эксплуатации и хранения. — Димитровград: Димитровградский институт технологии, управления и дизайна (Ульяновский государственный технический университет), 2005.— 245 с.
- Чечёткин Ю.В., Чечёткина З.И., Грачёв А.Ф., Новосёлов А.Е. Топливо исследовательских реакторов, его хранение и транспортирование. — Димитровград: Димитровградский институт технологии, управления и дизайна (Ульяновский государственный технический университет), 2005. — 221 с.



Информационный стенд научно-технической библиотеки НИИАРа

Статьи сотрудников НИИАРа включены в энциклопедию «Машиностроение» (Т. IV–25 «Машиностроение ядерной техники»), книги «Атомная наука и техника СССР» и «Ядерная индустрия России» и др., переведены на разные языки. Работы

сотрудников отражены в многочисленных сборниках статей и докладов и отчётах. Кроме сборников конференций и семинаров, книг и брошюр, на протяжении многих лет в НИИАРе выпускаются ежегодные издания: сборник трудов и научный годовой отчёт (отчёт об основных исследовательских работах, выполненных в отчётном году).



Внешний вид научных годовых отчётов и сборника трудов

НИИАР стремится к тому, чтобы все издания института являлись официальными, то есть им присваиваются номер ISBN и индексы УДК, ГРНТИ, ББК, материалы проходят обязательную редакционно-издательскую подготовку, что гарантирует высокое качество публикуемого материала и соблюдение всех стандартов в сфере редакционно-издательской деятельности. Издания института можно найти в городских, региональных и ведущих библиотеках страны. В НИИАРе большое внимание уделялось и уделяется редакционно-издательской деятельности. Функционируют редсовет и редколлегии, в задачи которых входит организация, координация, развитие и совершенствование редакционно-издательской деятельности в институте, определение приоритетной тематики учебных, методических, научных и других видов изданий, рассмотрение научных материалов, их рецензирование и оценка.



Заседание редакционно-издательского совета

## Кандидаты технических наук:

Аверьянов Пётр Григорьевич; Адаев Владимир Александрович; Адамовский Леонид Антонович; Александров Константин Александрович; Алексеев Александр Вениаминович; Андрейчук Игорь Николаевич; Анохин Юрий Петрович; Антипин Геннадий Кузьмич; Антонов Станислав Николаевич; Асеев Николай Алексеевич; Афанасьев Владимир Александрович; Афонин Владимир Константинович; Бабилов Леонид Георгиевич; Барков Владимир Андреевич; Басова Бэлла Григорьевна; Бендерская Ольга Сергеевна; Бобров Сергей Николаевич; Бойцов Александр Алексеевич; Бровко Виктор Васильевич; Бурукин Андрей Валентинович; Бычков Александр Викторович; Вавилов Сергей Константинович; Ваганов Илларию Васильевич; Валиков Юрий Александрович; Валиуллин Фаат Хабибуллович; Валишин Марат Фаритович; Варлашова Елена Евстигнеевна; Владимирова Ольга Николаевна; Воробей Михаил Петрович; Гаврилин Алексей Иванович; Гаджиев Гаджи Исмаилович; Голованов Василий Васильевич; Голушко Вячеслав Васильевич; Горбатов Владимир Константинович; Грачёв Валерий Дмитриевич; Гремячкин Владимир Анатольевич; Грязев Владимир Михайлович; Давыдов Евгений Фёдорович; Демченко Николай Фёдорович; Демьянович Михаил Антонович; Дорофеев Александр Николаевич; Дунаев Владимир Сергеевич; Дунаев Евгений Сергеевич; Ефимов Владимир Николаевич; Ещенко Сергей Николаевич; Ещеркин Виктор Маркович; Жителев Владимир Алексеевич; Заиженный Анатолий Михайлович; Залётных Борис Александрович; Захаров Анатолий Васильевич; Звир Елена Аркадьевна; Золотухин Владимир Андреевич; Иванов Пётр Михайлович; Иванович Юлия Витальевна; Ижutow Алексей Леонидович; Ильенко Сергей Анатольевич; Ильясов Виктор Михайлович; Инчагов Александр Васильевич; Ипатов Анатолий Петрович; Ишунин Владимир Станиславович; Казаков Валентин Александрович; Казаков Лев Леонидович; Казанцев Герман Никандрович; Казменко Сергей Валерьевич; Качалин Владимир Арсеньевич; Кебадзе Борис Викторович; Кизин Виктор Дмитриевич; Кириллов Евгений Васильевич; Киселёва Ирина Владимировна; Кислый Владислав Анатольевич; Колесников Александр Николаевич; Колесов Владимир Владимирович; Кондаков Николай Дмитриевич; Кондратьев Виктор Иванович; Кондрашов Сергей Владимирович; Коняшов Вадим Васильевич; Костюченко Антон Николаевич; Краснов Александр Маркович; Крылов Евгений Александрович; Кузин Михаил Александрович; Кузнецов Геннадий Иванович; Кузьмин Василий Ильич; Кульпин Борис Валерьевич; Лавринович Юрий Григорьевич; Ладзин Александр Степанович; Латыпов Руслан Назымович; Лебедев Валерий Александрович; Лебедев Иван Григорьевич; Лебедева Елена Евгеньевна; Лещенко Антон Юрьевич; Лещинский Анатолий Григорьевич; Маркин Самсон Анатольевич; Маркина Наталья Владимировна; Марков Дмитрий Владимирович; Минаков Аркадий Александрович; Митин Анатолий Михайлович; Мишинёв Владислав Борисович; Муралёв Анатолий Борисович; Муралёва Елена Михайловна; Мынцов Анатолий Алексеевич; Назаров Александр Иванович; Назарова Ирина Ивановна; Неверов Виталий Александрович; Овчинников Владимир Александрович; Островский Зигфрид Евгеньевич;

Певцов Владимир Васильевич; Пименов Василий Вениаминович; Пичужкина Елена Михайловна; Поленок Владимир Степанович; Попков Геннадий Павлович; Породных Пётр Трифонович; Посевин Алексей Олегович; Привалов Юрий Владимирович; Проккопьев Василий Михайлович; Прохоров Валерий Иванович; Пшеничников Борис Валерьянович; Роговой Ярослав Александрович; Рождественская Людмила Николаевна; Ромадов Вячеслав Николаевич; Ромадова Елена Леонардовна; Романов Евгений Геннадьевич; Рудкевич Александр Вениаминович; Рыбин Анатолий Алексеевич; Сагалов Сергей Сергеевич; Садулин Виктор Петрович; Сандаков Владимир Сергеевич; Святкин Александр Михайлович; Святкин Михаил Николаевич; Селезнёв Анатолий Георгиевич; Семидоцкий Иван Иванович; Серебряков Владимир Валерианович; Серёдкин Сергей Викторович; Серняев Георгий Александрович; Силин Валентин Иванович; Смирнов Пётр Семёнович; Смирнова Ирина Михайловна; Соколов Фёдор Фёдорович; Соловьёв Юрий Александрович; Сроелов Валерий Семёнович; Стрельников Геннадий Алексеевич; Ступин Владимир Аркадьевич; Судаков Лев Владимирович; Сыч Анатолий Порфирьевич; Сюзёв Виталий Николаевич; Табакин Евгений Мордухович; Тетюков Василий Дмитриевич; Токарев Александр Юрьевич; Топоров Юрий Геннадьевич; Топорова Валентина Григорьевна; Тузов Александр Александрович; Тучнин Лев Михайлович; Фёдоров Юрий Дмитриевич; Федулин Виктор Николаевич; Федякин Рудольф Евгеньевич; Финько Александр Георгиевич; Фрей Аркадий Карлович; Фридман Сергей Рувикович; Харьков Дмитрий Викторович; Чакин Владимир Павлович; Чернов Анатолий Владимирович; Четвериков Анатолий Павлович; Чечёткина Земфира Ивановна; Чушкин Юрий Васильевич; Шамардин Валентин Кузьмич; Шиманский Григорий Аркадьевич; Шиманский Аркадий Моисеевич; Шипилов Василий Иванович; Шишин Валерий Юрьевич; Шкоков Евгений Иванович; Шмелёв Виктор Егорович; Штында Юрий Евгеньевич; Шулимов Виталий Николаевич; Шулындин Борис Павлович; Шушаков Виктор Дмитриевич; Юрченко Александр Дмитриевич; Якшин Евгений Клементьевич.

### Кандидаты физико-математических наук:

Беланова Тамара Семёновна; Белозёров Сергей Витальевич; Белозёрова Алла Равильевна; Бобков Юрий Григорьевич; Виноградов Борис Николаевич; Воробьёв Евгений Дмитриевич; Гончаренко Юрий Денисович; Гордина Вера Михайловна; Грачёв Евгений Александрович; Евсеев Леонид Александрович; Зизин Михаил Николаевич; Иваненко Вадим Васильевич; Иванов Лев Дмитриевич; Иванов Олег Иванович; Ильин Павел Александрович; Калыгин Владимир Викторович; Кирсанов Владислав Владимирович; Клименков Владимир Иванович; Клинов Анатолий Викторович; Козлов Дмитрий Владимирович; Колесов Александр Геннадьевич; Кормушкин Юрий Павлович; Корнилов Дмитрий Александрович; Косвинцев Юрий Юрьевич; Красноярцев Николай Викторович; Крошкин Николай Иванович; Кузьмин Сергей Валерьевич; Кушнир Юрий Алексеевич; Марихин Николай Юрьевич; Минвалиев Рамиль Наильевич; Морозов Ва-

сильий Иванович; Нефёдов Вацлав Николаевич; Никитин Олег Николаевич; Никольский Ростислав Викторович; Новак Леонид Иванович; Орищенко Алексей Васильевич; Покровский Александр Сергеевич; Полетаев Евгений Дмитриевич; Раецкий Виталий Михайлович; Святкин Николай Михайлович; Сидоренко Оксана Георгиевна; Старостов Борис Иванович; Темноева Тамара Александровна; Терехов Григорий Иванович; Тихончев Михаил Юрьевич; Фрунзе Владимир Владимирович; Худяков Анатолий Васильевич; Шкурпелов Александр Алексеевич.

### Кандидаты химических наук:

Бабикова Татьяна Феогеновна; Баркетов Эдуард Семёнович; Блохин Николай Борисович; Васильев Владимир Яковлевич; Волков Юрий Фёдорович; Елесин Александр Александрович; Ермаков Виктор Андреевич; Ефремов Юрий Васильевич; Забелин Александр Иванович; Зайцев Анатолий Алексеевич; Зайцев Борис Николаевич; Калевич Елена Сергевна; Капшуков Иван Иванович; Карасёв Валентин Иванович; Касимов Феликс Дмитриевич; Кузнецов Ростислав Александрович; Лебедев Владимир Михайлович; Лебедев Игорь Александрович; Лизин Андрей Анатольевич; Лялюшкин Николай Васильевич; Наумов Валерий Сергеевич; Осипов Станислав Валентинович; Острейковский Электрин Петрович; Пискунов Евгений Михайлович; Ротманов Константин Владимирович; Савочкин Юрий Павлович; Соколовский Юрий Сергеевич; Тебелев Лев Григорьевич; Томилин Сергей Васильевич; Феофанов Анатолий Павлович; Филимонов Вячеслав Терентьевич; Фролов Алексей Андреевич; Фролова Людмила Михайловна; Чистяков Владимир Михайлович.

### Кандидаты экономических наук:

Косоруков Анатолий Николаевич; Поздеев Михаил Васильевич; Шерин Владимир Александрович, Дёшина Стелла Павловна.

## ДОКТОРА НАУК



**ЯКОВЛЕВ**  
Григорий Николаевич,  
доктор химических наук (1963)



**НИКОЛАЕВ**  
Николай Николаевич,  
доктор технических наук (1964)



**РЫКОВ**  
Андрей Григорьевич,  
доктор химических наук (1972)



**ВОТИНОВ**  
Сергей Николаевич,  
доктор технических наук (1973)



**ГОЛЬЦЕВ** Всеволод Павлович, доктор физико-математических наук (1973)



**ЦЫКАНОВ** Владимир Андреевич, доктор технических наук (1973)



**ЧЕЧЁТКИН** Юрий Васильевич, доктор технических наук (1979)



**ГАБЕСКИРИЯ** Владимир Ясонович, доктор физико-математических наук (1982)



**НИКОЛАЕВ** Владислав Михайлович, доктор химических наук (1984)



**САМСОНОВ** Борис Викторович, доктор технических наук (1985)



**СКИБА** Олег Владимирович, доктор технических наук (1987)



**КЛОЧКОВ** Евгений Петрович, доктор технических наук (1988)



**ИВАНОВ** Валентин Борисович, доктор технических наук (1989)



**КАРЕЛИН** Евгений Александрович, доктор технических наук (1990)



**КОСЕНКОВ** Владимир Михайлович, доктор технических наук (1990)



**ТИМОФЕЕВ** Геннадий Андреевич, доктор химических наук (1990)



**ПОЛЯКОВ** Владимир Ильич, доктор технических наук (1992)



**МАЁРШИН** Александр Андреевич, доктор технических наук (1993)



**РИСОВАНЬИ** Владимир Дмитриевич, доктор технических наук (1995)



**СМИРНОВ** Алексей Владимирович, доктор технических наук (1996)

**СМИРНОВ**

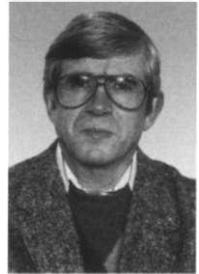
Валерий Павлович,  
доктор технических наук (1996)

**КИРИЛЛОВИЧ**

Анатолий Павлович,  
доктор технических наук (1997)

**КРАСНОСЁЛОВ**

Василий Аркадьевич,  
доктор технических наук (1998)

**РАДЧЕНКО**

Вячеслав Михайлович,  
доктор химических наук (1998)

**ГРИНЧУК**

Пётр Павлович,  
доктор технических наук (1999)

**КОБЗАРЬ**

Иван Григорьевич,  
доктор технических наук (1999)

**ЛЕВАКОВ**

Борис Иванович,  
доктор химических наук (1999)

**СУХИХ**

Алексей Васильевич,  
доктор технических наук (1999)

**ЕРИН**

Евгений Александрович,  
доктор химических наук (2000)

**СУЛАБЕРИДЗЕ**

Владимир Шалвович,  
доктор технических наук (2000)

**ГОЛОВЧЕНКО**

Юлиан Михайлович,  
доктор технических наук (2002)

**КУПРИЕНКО**

Виктор Анатольевич,  
доктор технических наук (2002)

**РОГОЗЯНОВ**

Анатолий Яковлевич,  
доктор технических наук (2002)

**ГРАЧЁВ**

Алексей Фролович,  
доктор технических наук (2003)

**ПЛАТОНОВ Арий**

Прокопьевич, доктор физико-  
математических наук (2003)



Виктор  
Николаевич, доктор физико-  
математических наук (2004)



**НОВОСЕЛОВ**  
Андрей Евгеньевич,  
доктор технических наук (2004)



**МАХИН**  
Валентин Михайлович,  
доктор технических наук (2005)



**КРЮКОВ** Фёдор  
Николаевич, доктор физико-  
математических наук (2006)



**НЕУСТРОЕВ**  
Виктор Степанович,  
доктор технических наук (2006)



**ПОПОВ**  
Юрий Сергеевич,  
доктор технических наук (2007)



**КАЛЫГИН**  
Владимир Валентинович,  
доктор технических наук (2009)



**МАКИН** Руслан  
Сергеевич, доктор физико-  
математических наук (2009)



**РЯЗАНОВ**  
Дмитрий Константинович,  
доктор технических наук (2009)



**МАЛКОВ**  
Андрей Павлович,  
доктор технических наук (2013)



**ЖЕМКОВ**  
Игорь Юрьевич,  
доктор технических наук (2014)



**КОБЫЛЯНСКИЙ**  
Геннадий Петрович,  
доктор технических наук (2014)



**КУРСКИЙ**  
Александр Семёнович,  
доктор технических наук (2014)



**ВАНЕЕВ**  
Юрий Евгеньевич,  
доктор технических наук (2014)



**СТАРКОВ**  
Владимир Александрович,  
доктор технических наук (2015)



**ПАВЛОВ**  
Сергей Владленович,  
доктор технических наук (2016)

## Глава 5



## МЕЖДУНАРОДНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

*Что носится в воздухе и чего требует время,  
то может возникнуть одновременно  
в ста головах без всякого заимствования.*

И. Гёте

*Национальной науки нет,  
как нет национальной таблицы умножения.*

А.П. Чехов

Международная деятельность института во все времена служила целям повышения имиджа предприятия, города и области, пропаганды научно-технических достижений. За прошедшие годы в международном сотрудничестве отчётливо просматриваются несколько этапов. На первом этапе, который можно условно назвать ознакомительным, учёные и специалисты разных стран информировали друг друга об экспериментальной базе, о результатах реакторных испытаний, радиационных явлениях и эффектах в материалах после облучения. Важным моментом этого этапа являлось личное знакомство, которое впоследствии сыграло решающую роль в заказах НИИАРу научно-исследовательских работ. На втором этапе основное внимание уделялось совместным работам, ярким примером которых являлось сооружение установки «Орёл», проведение совместных одно- и многосторонних семинаров, симпозиумов и т. д. На этом этапе началось сотрудничество с Международным агентством по атомной энергии. Начало третьего этапа совпало с «лихим периодом» начала 90-х годов и продолжалось до начала 2000 года. В этот период директорами НИИАРа были В.Б. Иванов и А.Ф. Грачёв, каждый в своё время. И важно было найти работу для института, используя его уникальные экспериментальные установки, разработки учёных и специалистов. Такая работа в то время имела только за рубежом. Международное сотрудничество для режимного предприятия — очень сложный вид деятельности. Нужно было постоянно искать выходы, а именно: как и работу выполнить, и секреты сохранить. Наконец, крупные фирмы и компании начали покупать наши научные разработки.

С созданием Госкорпорации «Росатом» и приходом на пост директора НИИАРа А.В. Бычкова начался четвёртый этап международной деятельности. В дальнейшем международная деятельность активно развивается в годы руководства институтом В.М. Трояновым, С.В. Павловым и в настоящее время — А.А. Тузовым. Этот этап характеризуется заключением крупных контрактов с Международным научно-техническим центром, работой европейской рабочей группы «Горячие лаборатории и дистан-

ционное обслуживание» (HotLab), чтением лекций для специалистов МАГАТЭ, Китая, Южной Кореи, Японии, Белоруссии и т. д. Пост заместителя генерального директора МАГАТЭ в 2011–2015 годах занимал А.В. Бычков.

Огромный вклад в международное сотрудничество внесли Д.С. Юрченко, О.Д. Казачковский, В.А. Цыканов, В.Б. Иванов, А.Ф. Грачёв, А.В. Бычков, В.М. Троянов, С.В. Павлов, В.Д. Рисованный, Ю.В. Чечёткин, А.А. Маёршин, О.В. Скиба, В.А. Куприенко, Е.А. Карелин, А.Н. Косоруков, Ю.Г. Топоров, М.В. Кормилицын, Р.А. Кузнецов, М.Н. Святкин, А.Л. Ижутов, А.Е. Новосёлов, В.В. Калыгин, Ю.И. Харланов, А.В. Клинов, П.Т. Породных, С.Н. Вотинов, Е.Ф. Давыдов, Е.П. Клочков, М.В. Поздеев, Я.Н. Гордеев, В.И. Прохоров, В.И. Кузьмин, А.Д. Юрченко, В.К. Шамардин, Л.Л. Казаков, В.А. Овчинников, О.С. Бендерская, В.Н. Федулин, Е.А. Звир, Д.А. Марков.

Основную работу по организации и проведению международных конференций, семинаров, симпозиумов и встреч проводили сотрудники международной группы под руководством Р.А. Барковой, К.Н. Виноградовой, Е.А. Агыбаевой. Информационное сопровождение обеспечивали сотрудники подразделений под руководством М.В. Поздеева, В.А. Красносёлова, С.С. Шипулиной.

## Исторические вехи

### Начало международной деятельности

Для учёных других стран 1963 год стал годом открытия НИИАРа. Уровень первой иностранной делегации был высок: возглавлял её председатель Комиссии по атомной энергии США, известный радиохимик и физик, лауреат Нобелевской премии профессор Гленн Сиборг, открывший и исследовавший радиохимические свойства плутония, америция, кюрия и других трансураниевых элементов. В составе делегации были учёные из Аргоннской и Ок-Риджской национальных лабораторий США, всего 11 человек. Делегация прибыла в институт 23 мая 1963 года, ознакомилась с действующими реакторами АРБУС и СМ и материаловедческим отделом. По воспоминаниям сопровождающих, осмотрев реактор АРБУС, Г. Сиборг сказал: «На это можно было деньги не тратить». Зато ознакомившись с реактором СМ, он признал, что в США такой реакторной установки пока нет. Особый интерес для Г. Сиборга, конечно, представлял радиохимический отдел, который находился в стадии монтажа. Начальника этого отдела, профессора Г.Н. Яковлева, встретившего его здесь, Г. Сиборг хорошо знал по научным трудам. Посетили гости строящуюся реакторную установку ВК-50. Учёные США заинтересовались сроками окончания работ. На их вопрос директор НИИАРа Д.С. Юрченко ответил, что срок достижения критичности реактора — конец 1965 года, то есть примерно через 2,5 года работы будут закончены. На это Г. Сиборг сказал, что оставшийся объём работ велик и он сомневается в сроках его выполнения. Он тут же попросил директора НИИАРа дать ему знать о пуске реактора. Но в дальнейшем

необходимость в этой информации отпала, так как в конце декабря 1965 года в газетах сообщили о пуске реактора.



Визит в НИИАР первой иностранной делегации во главе с Г. Сиборгом  
(четвёртый справа)

В декабре 1963 года делегация советских учёных во главе с А.М. Петросьянцем отправилась с ответным визитом в США. Научно-исследовательский институт атомных реакторов в этой группе представлял Г.Н. Яковлев. В аэропорту делегацию встретил лично Г. Сиборг и провёл в здание аэропорта, минуя таможенный контроль. Жили советские учёные в гостинице, расположенной напротив Белого дома и в которой обычно останавливалось высшее руководство мировых держав. Такой высокий уровень гостеприимства свидетельствовал о глубоком удовлетворении посещением атомных объектов СССР, в том числе и НИИАРа, где Г. Сиборгу и его коллегам действительно понравилось.

Затем институт посетила делегация представителей стран Совета экономической взаимопомощи. В составе делегации были учёные, руководители институтов, первые лица атомных ведомств Польши, Чехословакии, Венгрии. Они ознакомились с реакторами АРБУС и СМ, посетили материаловедческий и радиохимический отделы.

С визита этих делегаций и началось развитие международных связей НИИАРа.

### **Первый этап (1963–1973 годы)**

За этот период НИИАР посетили первые делегации из Канады, Англии, Франции, Бельгии, Голландии, Италии, Финляндии, Японии, Швейцарии, Индии. В составе деле-

гаций было немало специалистов, чьи имена широко известны в научных кругах всего мира. Это профессор Клаус Фукс (Германия), профессор Карло Сальветти (Италия), академик Хореа Холубей (Румыния), академик Эрки Лаурилла (Финляндия), Ара Мурадян (Канада), председатель Комитета по атомной энергии Великобритании сэра Пенни и др.

В мае 1965 года прибыла первая канадская делегация, а вслед за ней (в сентябре) — делегация учёных Великобритании. Главой делегации был Ричард Мур, управляющий директор реакторной группы Комиссии по атомной энергии Великобритании. В ноябре этого же года прибыла делегация специалистов из Италии во главе с заместителем председателя Национального комитета по ядерной энергии Карло Сальветти. Прибывшие специалисты были ознакомлены с реакторами СМ, АРБУС, ВК-50 и отделом материаловедения. Завершением этого года был визит генерального директора Международного агентства по атомной энергии Сигварда Эклунда. Этим визитом были подтверждены признание института как крупного научного центра и заинтересованность в нём крупнейшей международной организации.

С 1966 года цели визитов стали носить более конкретный характер: ознакомление с реакторами СМ и МИР и связанными с ними экспериментальными работами по основным исследовательским направлениям. Первая делегация, которая посетила реактор МИР в 1966 году, была объединённая делегация специалистов из реакторных центров Петтен (Голландия) и Моль (Бельгия). Позже реактор МИР посетила французская делегация, возглавляемая Пьером Баллигеном — заместителем директора исследовательского центра в Гренобле. Тогда впервые О.Д. Казачковский решил организовать для французов после завершения рабочего дня посещение семей сотрудников института. Из воспоминаний сотрудника института, переводчика Р.А. Барковой: «Главу делегации и представителя КАЭ Ф. Россильона пригласил О.Д. Казачковский. У нас в гостях были Жан-Пьер Шварц, исполняющий обязанности директора по ядерным реакторам, и Поль Ажерон — сотрудник группы разработки реактора с высоким потоком нейтронов. Французы были очень тронуты этим приёмом, поскольку на Западе приглашение домой — показатель особого внимания, оказываемого человеку». В дальнейшем подобная форма неформального общения еще не раз использовалась. Для проведения таких вечеров в семейном кругу



Приезд французской делегации (24–26 июня 1966 года)

отделом рабочего снабжения специально выделялись различные деликатесы, но запомнились иностранным гостям самые обыденные для нас блюда.

В январе 1967 года директор отдела гарантий и инспекций МАГАТЭ Слободан Накиченович с супругой посетили НИИАР. Гостя встречали О.Д. Казачковский и А.И. Назаров. Слободан Накиченович осмотрел реакторы и отдел материаловедения. В дальнейшем речь шла о возможности сотрудничества НИИАРа и МАГАТЭ по вопросам гарантий и инспекций, осуществляемых МАГАТЭ. В этом же году НИИАР посетила делегация специалистов из Корейской Народно-Демократической Республики во главе с первым заместителем председателя Государственного комитета по атомной энергии Тен Ги Деком. С неподдельным интересом специалисты знакомились с реакторами ВК-50, СМ, МИР, материаловедческим и радиохимическим комплексами. В городе Ульяновске большое впечатление на них произвело посещение Дома-музея В.И. Ленина.

В 1968 году НИИАР посетили уже 20 делегаций. Всё меньше становится делегаций, которые приезжают как бы на разведку, и всё больше тех, кто желает сотрудничать. В основном это были специалисты социалистических стран (ЧССР, ВНР, СРР, Польши и ГДР). В этом же году был получен первый опыт общения с иностранными журналистами: в институт впервые прибыла группа французских журналистов, которым показали всё: реакторные установки, материаловедческий и радиохимический комплексы, ремонтно-механический завод, комплекс очистных сооружений. Отзыв журналистов был выразительным и лаконичным: «Мы проехали четыре тысячи километров, чтобы увидеть Научный центр в городе Мелекессе. Наше путешествие вполне оправдано».

Впервые началось сотрудничество в области стажировки и обучения. Второго октября 1969 года в НИИАР с реактора «Рапсодия» французского центра Кадараш на целый год прибыл стажёр Мишель Рэбуль с семьей. Специально для его проживания была отремонтирована и меблирована трёхкомнатная квартира.

В свою очередь, 3 марта 1970 года на годовую стажировку во Французский атомный центр был отправлен сотрудник института В.Л. Тимченко, старший инженер реакторной установки БОР-60. А в институт прибыл еще один стажёр, из Индии, Ашок Джавав, который в течение шести месяцев стажировался в радиохимическом отделе. За год институтом была принята 21 делегация, из которых 11 делегаций — из социалистических стран, в основном из ГДР и ЧССР, остальные 10 — из Франции, Бельгии, Голландии, Дании, США, Швеции.

Восьмого августа 1971 года НИИАР второй раз посетил председатель Комиссии по атомной энергии США Г. Сиборг. Это был его прощальный тур по Европе перед уходом со столь высокого поста. В составе делегации были высшие руководители Аргоннской и Ок-Риджской национальных лабораторий США, фирмы «Вестингхауз Электрик Корпорейшн», департамента реакторных разработок и технологий, депар-

тамента по безопасности реакторов, департамента физики университета Рокфеллера. Делегация ознакомилась с реакторами СМ, БОР-60 и радиохимическим отделом. Г. Сиборг вновь отметил большие успехи в выполнении программы работ и пожелал «дальнейшего развития советско-американского сотрудничества в области мирного использования атомной энергии». Во время этого визита впервые было решено провести «круглый стол» с гостями.

В 1971 году, получив опыт проведения стажировок, сотрудники института впервые приняли целую группу специалистов на непродолжительное обучение. В конце июня прибыла группа студентов Высшего политехнического училища г. Праги во главе с кандидатом технических наук Вацлавом Швецом. Несколько лет подряд приезжали в НИИАР студенты из г. Праги. Это был своеобразный обмен студентами между Московским энергетическим институтом и Пражским политехническим училищем.

Ценный опыт в этот период был получен при проведении международных научно-технических форумов. Международные мероприятия тех лет можно разделить на три группы: по линии СЭВ и МАГАТЭ, а также в рамках сотрудничества с Францией по реакторам на быстрых нейтронах. Первым был симпозиум стран СЭВ по теме «Исследования проблем защиты от проникающих излучений реакторных установок», который прошёл 21–26 апреля 1969 года. В нём приняли участие 37 специалистов из девяти стран. Это было первое, столь представительное и продолжительное, международное совещание, проводимое в НИИАРе. Уже на следующий год НИИАРу было доверено проведение научно-технической конференции стран СЭВ по теме «Атомная энергетика, топливный цикл и радиационное материаловедение». С 21 по 25 июня 1971 года в НИИАРе было проведено совещание стран-членов СЭВ по вопросам энергетике.



Участники симпозиума по вопросам  
реакторной безопасности стран-членов Совета экономической взаимопомощи

Первый представительный форум под эгидой Международного агентства по атомной энергии был проведён в НИИАРе в мае 1971 года. Это было совещание экспертов МАГАТЭ по теме «натрий–вода». На этом совещании присутствовали представители восьми стран, в основном тех, в которых занимаются проблемами реакторов на быстрых нейтронах и парогенераторов.

Новый, 1972 год, начался визитом делегации Международного агентства по атомной энергии, которую возглавлял главный инспектор МАГАТЭ Рудольф Ромеч. Здесь речь шла об участии института в работах по гарантиям и в проведении учебных курсов Агентства по этой тематике. С 24 по 31 октября 1972 года проходил научно-технический семинар «Обмен накопленным опытом по созданию и освоению установок с быстрыми реакторами на основе реактора БОР-60». Всего в этот год была принята 31 делегация, проведён семинар стран-членов СЭВ и координационный научно-технический совет, а в декабре прошёл советско-французский симпозиум по твэлам реакторов на быстрых нейтронах.



Участники Международной конференции стран Совета экономической взаимопомощи  
«Атомная энергетика, топливные циклы, радиационное материаловедение»

Работы по монтажу чешского парогенератора на реакторной установке БОР-60 были начаты в январе 1973 года. Монтажники прибыли сроком на девять месяцев, работами руководил инженер Радко Копецкий. Одновременно большая группа специалистов из Института ядерных исследований (г. Ржеж) работала в радиохимическом отделении по созданию установки «Фрегат». Прибыли специалисты из ГДР, начаты подготовительные работы по монтажу установки «Орёл».

В институте в 1973 году проходят сразу два мероприятия по линии МАГАТЭ. В мае проводится учебный тур по вопросам защиты окружающей среды и методам обращения с радиоактивными отходами, в котором участвуют представители 21 страны из Европы, Азии, Африки и Латинской Америки. С четвёртого по восьмое июня проходит совещание экспертов МАГАТЭ по теме «Поглощающие материалы и стержни регулирования быстрых реакторов».

С 1970 года в НИИАРе начинают проходить советско-французские симпозиумы по тематике реакторов на быстрых нейтронах. Первый симпозиум был посвящён физике быстрых реакторов. Симпозиум по теме «Топливные элементы быстрых реакторов» прошёл с 12–15 декабря 1972 года. В 1971 и 1973 годах симпозиумы проводились во Франции. В состав оргкомитета симпозиума по теме «Состояние и перспективы работ по созданию АЭС с реакторами на быстрых нейтронах» от НИИАРа были включены В.И. Прохоров и Б.В. Кульпин.

В 1971 году на Четвёртой женеvской международной конференции по мирному использованию атомной энергии с большим интересом был воспринят обзорный доклад «Свойства и поведение под облучением сталей для оболочек твэлов реакторов на быстрых нейтронах», подготовленный специалистами НИИАРа и ВНИИНМ.

Главным результатом международного сотрудничества этого периода являются, несомненно, совместные работы со специалистами Чехословакии и ГДР. В 1968 году с чехами были заключены договоры о строительстве углекислотной петли на реакторе МИР, о создании в реакторе БОР-60 двух парогенераторов, каждый мощностью 30 МВт, о создании установки «Фрегат»; с ГДР начинается сотрудничество по созданию установки «Орёл». Так заканчивается первое десятилетие развития международных связей и осуществления совместных работ с институтами ГДР, ПНР и ЧССР. Институт известен уже во многих странах мира как крупный научный центр, занимающийся разработкой, исследованиями и анализом многих теоретических и практических проблем атомной науки и техники.

## **Второй этап (1974–1988 годы)**

За эти годы в НИИАРе побывало с рабочими и дружественными визитами 520 иностранных делегаций. До 1980 года пристальное внимание было приковано к советско-восточно-германскому сотрудничеству по созданию установки «Орёл». Немецкие специалисты, участвовавшие в монтаже установки «Орёл», длительное время

проживали в г. Димитровграде. Вскоре в НИИАР приезжает делегация Центрального института ядерных исследований (ГДР), проходят совещания по сооружению установки, по защите технического проекта осциллятора, изготовленного в ЦИЯИ для реактора БОР-60. Продолжается сотрудничество с чешскими специалистами как по установке «Фрегат», так и по парогенераторам реакторной установки БОР-60.

Активно развивается сотрудничество с Польшей. Идут совместные работы с Институтом ядерных исследований (г. Свек) по вопросам дозиметрического контроля на реакторах; водному режиму на реакторе МИР; созданию пробкового индикатора для реактора БОР-60; испытанию измерительных каналов, изготавливаемых в Институте ядерных исследований и т.д. Польские специалисты провели 11–13 марта 1986 года пусконаладочные работы электронно-вычислительной машины «Мера-60».

По ультрахолодным нейтронам активно проводятся работы, в которых задействованы сотрудники Объединённого института ядерных исследований (г. Дубна) и физики из Болгарии, Германии, Румынии, Вьетнама, Северной Кореи.

С первого по пятое июля 1974 года прошло совещание специалистов СЭВ по методам и программам расчётов реакторов на быстрых нейтронах, что позволило лаборатории программирования под руководством М.Н. Зизина собрать действующие программы. С 18 по 20 мая 1982 года прошёл семинар стран СЭВ по теме «Опыт разработки и эксплуатации парогенераторов быстрых реакторов». Проходили и другие симпозиумы, тематика которых была обширна, но наибольшее внимание уделялось вопросам безопасности эксплуатации реакторов, обращению с радиоактивными отходами и их захоронению, вопросам защиты окружающей среды.

Активизируется и сотрудничество с Международным агентством по атомной энергии. С 1974 года, который стал годом начала второго десятилетия международного сотрудничества НИИАРа, начались работы по контракту с МАГАТЭ по вопросам разработки методов, приборов и технических средств контроля за ядерными материалами АЭС и применением их для целей системы гарантий. В институте систематически проходят занятия учебных туров и школ МАГАТЭ по проблемам гарантий, а реактор БОР-60 становится его учебной базой по всем вопросам инспекций и гарантий. Кроме учебных туров проходят совещания по темам: «Процедура определения течи в парогенераторе реактора на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем», «Национальные системы контроля ядерных материалов». Совещание специалистов международной рабочей группы МАГАТЭ по теме «Поведение продуктов деления и коррозии в первом контуре быстрых реакторов» было проведено с 8 по 11 сентября 1975 года.

Институт постоянно находится в поле зрения руководства МАГАТЭ. В июне 1977 года НИИАР вновь посетил генеральный директор Международного агентства по атомной энергии Сигвард Эклунд. Особый интерес у него вызвали работы в области реакторов на быстрых нейтронах. Для ознакомления с институтом и ходом работ, проводимых по контрактам с Агентством, НИИАР посещает заместитель генерального директора Йохан Грюмм — директор департамента гарантий. В мае 1984 года институт

посещает П. Темпус, заместитель генерального директора МАГАТЭ по контролю ядерных материалов, а в мае 1988 года — другой заместитель, Д. Дженнекенс, по системе гарантий.

Все чаще проходят советско-французские семинары, основа которых была заложена еще в предыдущий период. Но если раньше они ограничивались тематикой реакторов на быстрых нейтронах, то теперь круг обсуждаемых вопросов значительно расширился. Это приборы контроля реакторов, методики и результаты исследований нержавеющей сталей в радиационно-защитных камерах, концепция безопасности и т.д. Большой взаимный интерес вызывают вопросы регенерации топлива. Советско-французский семинар по сухим методам регенерации облучённого топлива реакторов на быстрых нейтронах был проведён 20–24 сентября 1976 года. Проведённый 22–27 марта 1982 года советско-французский семинар был посвящён целиком газозофоридной технологии регенерации топлива реакторов на быстрых нейтронах, поскольку НИИАР выступал соисполнителем по технологической части проекта французского завода по регенерации облучённого топлива.

Советско-английский семинар, проходивший с 30 сентября по 3 октября 1975 года, был посвящён теме «Реакторная техника и компоненты, философия общей конструкции реакторов на быстрых нейтронах». Семинар по теме «Массоперенос и перенос активности в первом контуре, в особенности перенос активности продуктов коррозии и продуктов деления, включая реакторный опыт» прошёл 22–26 июня 1981 года. К более тесному сотрудничеству с НИИАРом приходят и в США. В ноябре 1974 года прошёл первый советско-американский семинар по теме «Материаловедческие проблемы управляемого термоядерного синтеза». В дальнейшем проходят семинары, посвящённые опыту эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах, вопросам надёжности и безопасности эксплуатации парогенераторов этих реакторов.

Постоянными становятся советско-японские семинары. Они посвящены многоцелевому использованию реакторов, вопросам производства низкотемпературного тепла, проблемам атомных станций теплоснабжения. Большой интерес японских специалистов вызвали работы института, связанные с разработкой и изготовлением радиоизотопной продукции. Этому был посвящён советско-японский семинар, прошедший в апреле 1989 года. Советско-бельгийско-голландский семинар «Технология натриевого теплоносителя» прошёл 17–21 октября 1977 года. Прошедший 19–24 февраля 1979 года семинар с участием этих же стран был посвящён теме «Внутриреакторные и вне реакторные исследования твэлов и ТВС и вопросы их живучести». С 10 по 13 июня 1986 года проходил многосторонний семинар на тему «Состояние и основные тенденции развития автоматизированных дистанционно управляемых процессов изготовления твэлов и ТВС быстрых реакторов».

Не менее активно в этот период нииаровские специалисты участвовали в работе международных научных конференций и семинаров за рубежом. Доклады, представ-

ленные учёными института, всегда встречались с огромным интересом. В декабре 1974 года на франко-советский семинар был представлен доклад «Контроль состояния корпуса и внутрикорпусных конструкций установки БОР-60», с которым выступил начальник установки БОР-60 А.М. Смирнов. В январе 1976 года в США на базе Аргонской национальной лаборатории состоялся научный семинар по технологии натрия, на котором с докладом выступил доктор технических наук Ю.В. Чечёткин.

Активная работа в области международного сотрудничества имела большое значение в дальнейшей истории института. Приобретённый опыт работы с иностранными фирмами во многом позволил НИИАРу удержаться на плаву и выжить в непростое перестроечное время.

### **Третий этап (1989–1998 годы)**

Особенностью этого периода является рост контрактов с иностранными фирмами на научно-исследовательские работы. Успехом НИИАРа на международной арене является создание совместного предприятия с Китаем. Опыта создания совместного предприятия с участием государственного предприятия в стране практически не было, поэтому путь оказался долгим: от появления идеи до её полного воплощения в жизнь прошло четыре года. Идея родилась в 1990 году после визита в Китай советской делегации, в составе которой были заместитель директора НИИАРа по коммерческим вопросам А.Н. Косоруков и начальник отдела радионуклидных источников и препаратов Е.А. Карелин. Идея заключалась в создании на территории Китая источников на основе калифорния-252 (по нииаровской технологии производства). Идея нашла поддержку в Министерстве, и 8 июля 1991 года появляется указание министра о сотрудничестве с Китайской Народной Республикой. В 1993 году созданное совместное предприятие приступило к работе. С российской стороны в руководящие органы предприятия вошли А.Н. Косоруков и Е.А. Карелин.

Радионуклидное направление составляло львиную долю контрактов с иностранными фирмами. Постепенно и другие перспективные научные направления работы института начинают вызывать интерес потенциальных заказчиков.

Директор института в то время В.Б. Иванов вспоминает: «В те сложные времена нужно было что-то делать. Первое — это найти работу для института, используя его уникальные экспериментальные установки, разработки учёных и специалистов. Многое зависело от меня лично, так как международное сотрудничество для режимного предприятия — это очень сложный вид деятельности. Нужно было и работу выполнить, и секреты сохранить. Встречал делегации специалистов из разных научных центров и стран, организовывал презентации, пришлось много поездить и самому. Больше всего удалось сделать в Японии, был там по приглашению фирмы «Марубени» не менее десятка раз. Крупные фирмы и компании начали покупать наши научные разработки.

Это давало не только заработок, но и известность институту и даже городу. Именно из Японии по всему миру пошло название одной из технологий, разработанных в НИИАРе, — димитровградский сухой процесс».



Визит делегации из Японии (1995 год)

С десятого мая по первое июня 1995 года проводился эксперимент по переработке облучённого топлива реактора БОР-60 из сборок, достигших выгорания 21 и 24,4 %. Координацию инженерно-технических работ осуществлял главный инженер института А.Ф. Грачёв, научно-технологическое обеспечение эксперимента — директор химико-технологического отделения, доктор технических наук О.В. Скиба. Эксперимент прошёл успешно, и сотрудничество с фирмами Японии растянулось на несколько лет. Не остались в стороне от международного сотрудничества и материаловеды. Работы касались исследования материалов внутрикорпусных устройств водо-водяных энергетических реакторов. Первыми на путь продления их ресурса встали французы. Необходимо было провести исследования, и 3 июля 1995 года компания «Электрисите де Франс» заключила контракт с НИИАРом. Научным руководителем работ был назначен начальник лаборатории отдела материаловедения и технологии В.К. Шамардин. Работы по контракту должны были завершиться в апреле 1997 года. В июне 1998 года

контракт был продлён до 29 мая 2000 года. Потом его вновь продлили, а в октябре 2005 года отметили 10-летие сотрудничества с этой французской фирмой.

Девять лет проводились реакторные и материаловедческие исследования, результаты которых были опубликованы в совместных докладах и статьях. Благодаря тщательно проведённой работе и произошёл выход НИИАРа на международный рынок. Контракт с Институтом ядерных исследований Чехии на выполнение подобной работы (исследование материалов реактора ВВЭР, в свое время построенного в Чехии советскими специалистами), заключён 18 марта 1997 года. Руководителями контракта стали начальник лаборатории отдела физики и безопасности быстрых реакторов В.Н. Ефимов и В.К. Шамардин. Работы были завершены в июле 1998 года. Затем по этой проблеме к материаловедам НИИАРа не раз обращались и японцы, и шведы, и представители других ядерных держав.

С распадом социалистической системы НИИАР перестал быть местом проведения конференций и семинаров по линии Совета экономической взаимопомощи. А вот Международное агентство по атомной энергии по-прежнему выбирает институт для проведения научных форумов. В мае 1992 года прошёл технический комитет МАГАТЭ по теме «Механизмы повреждения топлива водоохлаждаемых реакторов и опыт обращения с ним при нормальных условиях эксплуатации». Осенью 1995 года Международное агентство по атомной энергии дважды собирало учёных в НИИАРе. В сентябре прошло совещание специалистов по теме «Приборы и оборудование для мониторинга и управления послеаварийными ситуациями на АЭС», а в октябре — совещание технического комитета МАГАТЭ по теме «Поведение материалов активной зоны легководных реакторов в аварийных условиях».

И еще одна организация в этот период часто выбирала НИИАР в целях развития международного сотрудничества — Ядерное общество России\*, на учредительном съезде которого активное участие принимали сотрудники НИИАРа, доктора технических наук Б.В. Самсонов и Е.П. Ключков. Надо отметить, что директор института В.Б. Иванов стал первым президентом этой организации после её перерегистрации из Ядерного общества СССР в Ядерное общество России. Именно в г. Димитровграде в мае 1995 года состоялось организационное совещание, на котором обсуждался вопрос о создании Ядерного общества России. А первой «ласточкой» в деле проведения совместных мероприятий стал международный семинар «Ядерная энергия и общественное мнение», который прошёл в мае 1993 года. В работе семинара приняли участие зарубежные специалисты из Франции, Великобритании, Германии, Финляндии и других стран, представившие на пленарных заседаниях свои доклады.

---

\* В Москве состоялась Учредительная конференция Ядерного общества СССР 17 апреля 1989 года (с 1992 года — Международное общественное объединение «Ядерное общество» (Москва)). 17 октября 1995 года учреждено Ядерное общество России как преемник ЯО СССР (зарегистрировано в Минюсте РФ 13 октября 2000 г., свидетельство № 3956). В настоящий момент ЯО России объединяет более 2000 индивидуальных членов из 200 организаций разных ведомств. — Прим. ред.

В июне 1995 года совместно с Ядерным обществом в НИИАРе был проведён первый международный семинар «Расплавленные соли в ядерных технологиях», на который были приглашены специалисты девяти государств. В сентябре 1998 года НИИАРу было предоставлено право проведения IX Ежегодной научно-технической конференции Ядерного общества России по теме «Региональная энергетика: ядерные и неядерные решения». В этой конференции приняли участие 130 учёных и специалистов из Великобритании, России и Франции, а также около 180 представителей общественности и средств массовой информации. На заседаниях было рассмотрено более 60 докладов, проведены три научные секции, две пресс-конференции и «круглый стол» на тему «Экономика и экология различных видов энергоисточников».



Участники конференции Ядерного общества России в институте (1998 год)

В октябре 1997 года в Ницце прошли Всемирная ядерная выставка и Всемирный ядерный конгресс. В состав управляющего комитета конгресса от России был включён директор НИИАРа В.Б. Иванов.

Известные эксперты и специалисты НИИАРа также активно участвовали во многих мероприятиях Ядерного общества, несколько представителей института стали членами центрального правления и руководства Ядерного общества России (В.Б. Иванов, А.Ф. Грачёв, М.В. Поздеев, Е.П. Клочков и другие).

## Четвёртый этап (1998–2003 годы)

Из воспоминаний директора НИИАРа А.Ф. Грачёва об этом периоде:

«Контракты с зарубежными странами остаются основным источником нашего выживания. Они связаны практически со всеми основными направлениями деятельности института. Это и материаловедение, и радионуклидное направление, и топливный цикл, и исследование твэлов. Востребованным оказался и наш опыт хранения радиоактивных отходов. Об этом хотелось бы сказать особо. Речь идёт о сухом способе хранения отработавших тепловыделяющих сборок. В настоящее время отработавшее топливо хранится в воде. Сухое хранение его является альтернативой мокрому способу хранения, но не исключает предварительную выдержку топлива в воде для уменьшения уровня радиоактивности и снижения тепловыделения. Оно обладает потенциальными экономическими и эксплуатационными преимуществами. В институте осуществляется «Программа экспериментальных испытаний технологий сухого контейнерного хранения ОЯТ исследовательских реакторов с использованием ТУК-108/1». В контейнере предусмотрены различные виды контроля. Для оценки внешнего состояния сборки и проведения контроля герметичности оболочки после длительного хранения в бассейне выдержки разработан стенд инспекции». Основной вклад в создание стенда внесли Ю.В. Чечёткин, В.Г. Бордачёв, А.А. Соловьёв, Р.Н. Фитагдинов, В.В. Маклаков, В.В. Калыгин; а в проводимые исследования — Ю.В. Чечёткин, З.И. Чечёткина, А.Е. Новосёлов.

В этот период на протяжении двух с половиной лет в нашем учебно-тренировочном центре и на реакторной установке БОР-60 проходили обучение 45 специалистов из Китайской Народной Республики. Это были будущие работники строящегося реактора СЕFR — реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. То, что именно реактор БОР-60 был выбран местом их обучения, свидетельствует о международном признании как безопасности этого реактора, так и квалификации его персонала.

## Международная кооперация сегодня

Развитие внешнеэкономической деятельности и международного научно-технического сотрудничества, как и прежде, остаётся одной из приоритетных задач АО «ГНЦ НИИАР».

Радиоизотопная продукция института поставляется более чем в 20 стран мира, в портфеле зарубежных заказов за 2015 год — более 15 долгосрочных контрактов с организациями из США, Франции, Южной Кореи и других стран на проведение научных исследований. Долгосрочные договоры с зарубежными партнёрами и ежегодно растущая экспортная выручка АО «ГНЦ НИИАР» являются не только подтверждением мирового признания научно-технических компетенций института, но и инструментом для повышения эффективности загрузки и использования уникальной экспериментальной и реакторной базы в условиях ограниченного внутреннего заказа.



Официальная церемония подписания контракта между АО «ГНЦ НИИАР» и Корейским институтом атомной энергии (Южная Корея, октябрь 2015 года)

В рамках 60-й Генеральной конференции Международного агентства по атомной энергии в Вене 26 сентября 2016 года состоялась торжественная церемония вручения сертификата о присвоении НИИАР статуса Международного центра для реализации совместных научно-исследовательских проектов на базе исследовательских реакторов (ICERR) под эгидой МАГАТЭ. В торжественной церемонии приняли участие Юкия Аmano (генеральный директор МАГАТЭ), Сергей Кириенко (генеральный директор ГК «Росатом»), Вячеслав Першуков (заместитель генерального директора — директор Блока по управлению инновациями ГК «Росатом») и Александр Тузов (директор АО «ГНЦ НИИАР»).



Вручение сертификата о признании АО «ГНЦ НИИАР» Международным центром исследований под эгидой МАГАТЭ

Получению Научным центром столь почётного статуса предшествовала колоссальная работа специалистов института. В июле 2016 года НИИАР успешно прошёл специальный аудит, в ходе которого инспекционная комиссия Международного агентства по атомной энергии оценила экспериментальные возможности института, организацию работы с зарубежными заказчиками и инфраструктуру Димитровграда. «Мы выражаем признательность открытости российских коллег в ходе миссии и с удовлетворением отмечаем их высокую мотивацию и профессиональную компетентность», — сказал по завершению аудита Андреа Борио ди Тиглиоли, руководитель секции исследовательских реакторов департамента по атомной энергии МАГАТЭ. Сегодня в мире только две организации имеют статус ICERR: АО «ГНЦ НИИАР» и Комиссариат по атомной энергии и альтернативным энергисточникам Франции. «Присуждение такого высокого статуса — это свидетельство принадлежности института к числу ведущих мировых научных центров. Мы являемся крупнейшей научной организацией атомной отрасли в Европе, у нас достаточно большой объём научных исследований. Я уверен, что присвоение статуса международного центра исследований расширит наши возможности в работе с зарубежными партнерами», — отметил Александр Тузов.



Визит инспекционной комиссии Международного агентства по атомной энергии (2016 год)

Научные сотрудники АО «ГНЦ НИИАР» принимают участие в крупнейших международных научно-технических конференциях; в качестве признанных экспертов представляют интересы института и всей российской атомной отрасли в различных рабочих группах, на технических совещаниях и семинарах, проводимых под эгидой международных организаций. В рамках решения поставленных руководством института амбициозных задач по дальнейшему развитию международной деятельности, научно-технического сотрудничества и расширению портфеля зарубежных заказов ведётся системная работа. Она направлена на развитие и совершенствование

внутрифирменной системы экспортного контроля, повышение качества публичного освещения экспериментальных возможностей и компетенций АО «ГНЦ НИИАР»; подписание соглашений о сотрудничестве; увеличение числа совместных исследований и публикаций с ведущими зарубежными научными центрами; развитие необходимых компетенций научных сотрудников, в том числе и повышение качества владения иностранными языками.



Визит корейской делегации  
на строительную площадку реактора МБИР (2016 год)

Поэтапная реализация этих и других инициатив позволяет нам с уверенностью заявить, что АО «ГНЦ НИИАР» как крупнейшая экспериментальная площадка российской атомной отрасли будет и впредь наращивать присутствие на международном рынке высокотехнологичных наукоёмких услуг и инновационной продукции, способствуя признанию мирового технологического лидерства.



**АВЕРЬЯНОВ**  
Пётр Григорьевич



**АДАЕВ**  
Владимир Александрович



**АДАМОВСКИЙ**  
Леонид Антонович



**АЛЕЕВ**  
Шафигула Зиннатович



**АЛЕКСАНДРОВ**  
Виктор Васильевич



**АЛЕКСАНДРОВ** Константин  
Александрович



**АЛЕКСЕЕВ**  
Игорь Николаевич



**АЛЁШИН**  
Михаил Дмитриевич



**АНДРЕЕВ**  
Валентин Петрович



**АНДРЕЕВ**  
Олег Иванович



**АНДРЕЕВА**  
Алина Борисовна



**АНДРЕЙЧУК**  
Игорь Николаевич



**АНИСИМОВ**  
Виктор Павлович



**АНОХИН**  
Иван Павлович



**АНОХИН**  
Юрий Петрович



**АНТИКОВ**  
Игорь Витальевич



**АНТОНОВ**  
Станислав Николаевич



**АРЕШИН**  
Сергей Владимирович



**АРТАМОНОВ**  
Дмитрий Дмитриевич



**АСЕЕВ**  
Николай Алексеевич



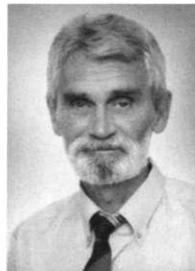
**АСЕЕВА**  
Тамара Ильинична



**АФАНАСЬЕВ**  
Владимир Александрович



**АФАНАСЬЕВ**  
Михаил Александрович



**АФОНИН Владимир**  
Константинович



**БАБИКОВ**  
Леонид Георгиевич



**БАБИКОВА**  
Татьяна Феогеновна



**БАБИЧ**  
Станислав Иванович



**БАГРЕЦОВ**  
Александр Николаевич



**БАГРЕЦОВ**  
Василий Фёдорович



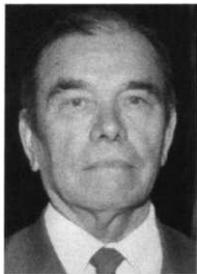
**БАЕВ**  
Александр Маркович



**БАЖЕНОВ**  
Михаил Александрович



**БАЗЮКИН**  
Виктор Григорьевич



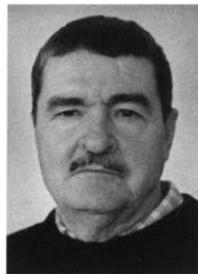
**БАКЛАНОВ**  
Степан Григорьевич



**БАКЛАНОВА**  
Пелагея Фёдоровна



**БАРАБАНОВ**  
Константин Леонидович



**БАРАНОВ**  
Евгений Кузьмич



**БАРАНОВ**  
Станислав Михайлович



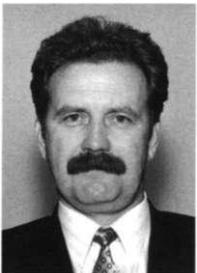
**БАРКЕТОВ**  
Эдуард Семёнович



**БАРКОВ** Владимир  
Александрович



**БАРКОВА**  
Рената Александровна



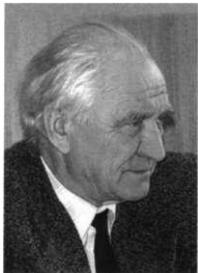
**БАРЫШЕВ**  
Александр Владимирович



**БАСОВА**  
Белла Григорьевна



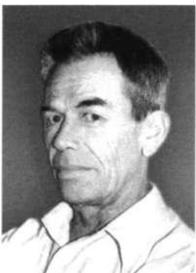
**БАШМАКОВ**  
Юрий Андреевич



**БАШМАЧНИКОВ**  
Александр Иванович



**БЕГИНИН**  
Иван Тимофеевич



**БЕГУНОВ**  
Владимир Модестович



**БЕЛАНОВА**  
Тамара Семёновна



**БЕЛОВ**  
Борис Сергеевич



**БЕЛОВ**  
Николай Иванович



**БЕЛОЗЁРОВА**  
Алла Равильевна



**БЕЛОЗЁРОВ**  
Сергей Витальевич



**БЕЛОКОПЫТОВ**  
Владимир Сергеевич



**БЕЛЬКИН**  
Салих Нурхаметович



**БЕЛЬЦОВ**  
Игорь Николаевич



**БЕНДЕРСКАЯ**  
Ольга Сергеевна



**БОГДАНОВ**  
Василий Дмитриевич



**БОДРОВА**  
Зинаида Васильевна



**БОЙЦОВ**  
Александр Алексеевич



**БОРДАЧЁВ**  
Виталий Григорьевич



**БОРИСОВ**  
Игорь Васильевич



**БОРИСОВ**  
Михаил Алексеевич



**БОРИСЮК**  
Евгений Васильевич



**БОЧАРОВ**  
Прохор Емельянович



**БРЕЖНЕВ**  
Виктор Иванович



**БРЕТЦЕР-ПОРТНОВ**  
Владимир Петрович



**БРИТОВ**  
Вячеслав Николаевич



**БРОВКО**  
Виктор Васильевич



**БУДНИКОВ**  
Фёдор Алексеевич



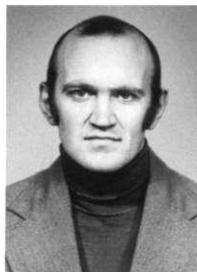
**БУКВИЧ**  
Борис Алексеевич



**БУКИН**  
Пётр Иванович



**БУЛАНОВ**  
Алексей Николаевич



**БУЛАНОВ**  
Владимир Николаевич



**БУЛАНОВ**  
Николай Васильевич



**БУЛАНОВА**  
Раиса Фёдоровна



**БУЛГАКОВ**  
Валерий Евгеньевич



**БУЛЫЧЕВ**  
Владимир Иванович



**БУЛЫЧЕВА**  
Людмила Владимировна



**БУНЫГИН**  
Анатолий Владимирович



**БУРУКИН**  
Андрей Валентинович



**БУРУКИН**  
Валентин Прокопьевич



**БЫКОВ**  
Виктор Гаврилович



**БЫСТРОВ**  
Сергей Николаевич



**БЫЧКОВ**  
Борис Анатольевич



**БЫЧКОВ**  
Виктор Николаевич



**ВАВИЛОВ**  
Сергей Константинович



**ВАГАНОВ**  
ИллариЙ Васильевич



**ВАЛИАХМЕТОВ**  
Диас Шакирович



**ВАЛКИН**  
Михаил Маркович



**ВАСИЛЕВИЧ**  
Юрий Владимирович



**ВАСИЛЕВИЧ**  
Тамара Ивановна



**ВАСИЛЬЕВ**  
Владимир Яковлевич



**ВИНОГРАДОВ**  
Борис Николаевич



**ВИНОГРАДОВА**  
Клавдия Николаевна



**ВИНОГРАДОВ**  
Леонид Васильевич



**ВЛАДИМИРОВА**  
Нина Александровна



**ВЛАДИМИРОВА**  
Ольга Николаевна



**ВЛАДИМИРОВ**  
Юрий Дмитриевич



**ВЛАСОВ**  
Юрий Фёдорович



**ВОЛКОВ**  
Юрий Фёдорович



**ВОЛКОВА**  
Юлия Васильевна



**ВОРОБЕЙ**  
Михаил Петрович



**ВОРОБЬЁВ**  
Евгений Владимирович



**ВОРОНОВ**  
Михаил Борисович



**ВОРОНОВ**  
Владимир Иванович



**ВОРОХОБОВ**  
Александр Львович



**ВОРОХОБОВ**  
Лев Иванович



**ГАВРИЛИН**  
Алексей Иванович



**ГАВРИЛОВ**  
Вячеслав Дмитриевич



**ГАДЖИБЕВ**  
Гаджи Исмаилович



**ГАЕВ**  
Владимир Петрович



**ГАЛАНТ**  
Елена Васильевна



**ГАЛАНТ**  
Семён Ионович



**ГАЛИАКБЕРОВ**  
Хатимулла Хамитович



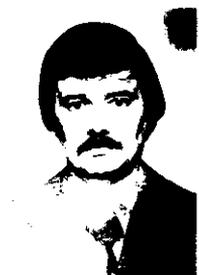
**ГАТИЛОВ**  
Валерий Николаевич



**ГАФАРОВ**  
Рашид Лутфиевич



**ГЕРАСИМОВ** Леопольд  
Александрович



**ГЛУШАК**  
Николай Степанович



**ГОЛОВАНОВ**  
Василий Васильевич



**ГОЛУШКО**  
Вячеслав Васильевич



**ГОНЧАРЕНКО**  
Юрий Денисович



**ГОРБАТОВ** Владимир  
Константинович



**ГОРБАТОВА**  
Ирина Сергеевна



**ГОРБАЧ**  
Александр Анатольевич



**ГОРДЕЦКИЙ**  
Алексей Тимофеевич



**ГОРДЕЕВ**  
Ян Николаевич



**ГРАБОВА**  
Ритта Борисовна



**ГРАЧЁВ**  
Валерий Дмитриевич



**ГРАЧЁВ**  
Евгений Александрович



**ГРЕМЯЧКИН**  
Владимир Анатольевич



**ГРИГОРЬЕВ**  
Геннадий Фёдорович



**ГРИНИН**  
Иван Иванович



**ГРИНЧУК**  
Пётр Петрович



**ГРУШАНИН**  
Алексей Александрович



**ГРЫЗИН**  
Юрий Иванович



**ГРЫЗИНА**  
Валентина Васильевна



**ГРЯЗЕВ**  
Владимир Михайлович



**ГУБИН**  
Геннадий Леонидович



**ГУРЬЯНОВ**  
Виктор Герасимович



**ГУСЕВА**  
Тамара Михайловна



**ДАВЫДОВ**  
Евгений Фёдорович



**ДАНИЛОВ**  
Владимир Иванович



**ДВОРЕЦКИЙ**  
Виктор Григорьевич



**ДЕМИДОВА**  
Людмила Сергеевна



**ДЕМЧЕНКО**  
Николай Фёдорович



**ДЕРЕБИЗОВ**  
Матвей Дмитриевич



**ДМИТРИЕВ**  
Игорь Владимирович



**ДОРОФЕЕВ**  
Александр Николаевич



**ДОРОФЕЕВ**  
Николай Андреевич



**ДРУЗИН**  
Михаил Иванович



**ДУДОРОВ**  
Илья Александрович



**ДЯДЬКИН**  
Юрий Фёдорович



**ЕВСЕЕВ**  
Александр Фёдорович



**ЕВСЕЕВ**  
Леонид Александрович



**ЕВСЕЕВ**  
Юрий Фёдорович



**ЕВСЕНКО**  
Константин Гаврилович



**ЕГОРОВ**  
Владимир Васильевич



**ЕГОРОВ**  
Владимир Владимирович



**ЕЙСКОВ**  
Валерий Павлович



**ЕЛЕСИН** Александр  
Александрович



**ЕЛИСЕЕВ**  
Юрий Васильевич



**ЕЛЬЦИН**  
Владимир Фёдорович



**ЕМЕЛЬЯНЕНКО**  
Терентий Афанасьевич



**ЕРЕМЕЕВ**  
Андрей Владимирович



**ЕРЁМИН**  
Сергей Григорьевич



**ЕРМАКОВ**  
Виктор Андреевич



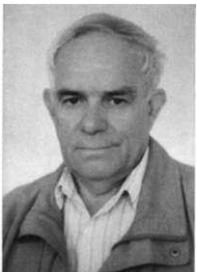
**ЕРМОЛАВ**  
Вячеслав Борисович



**ЕРМОЛОВИЧ**  
Михаил Николаевич



**ЕРШОВ**  
Виктор Петрович



**ЕФИМОВ**  
Александр Михайлович



**ЕФИМОВ**  
Владимир Николаевич



**ЕЩЕНКО**  
Сергей Николаевич



**ЕЩЕРКИН**  
Александр Викторович



**ЕЩЕРКИН**  
Виктор Маркович



**ЖДАНОВ**  
Анатолий Николаевич



**ЖЕЛЕЗНЫЙ**  
Виталий Михайлович



**ЖИТЕЛЕВ**  
Владимир Алексеевич



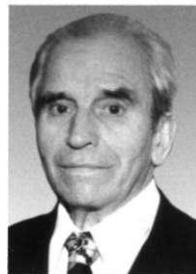
**ЖУКОВ**  
Борис Михайлович



**ЖУКОВ**  
Михаил Иванович



**ЖУРАВЛЁВ**  
Игорь Михайлович



**ЗАБЕЛИН**  
Александр Иванович



**ЗАГРЕБИН**  
Николай Николаевич



**ЗАДВОРНЫХ**  
Юрий Ильич



**ЗАДОЕВ**  
Вадим Викторович



**ЗАДОЕВ**  
Виктор Иванович



**ЗАИЖЕННЫЙ**  
Анатолий Михайлович



**ЗАЙЦЕВ**  
Анатолий Алексеевич



**ЗАЙЦЕВ**  
Борис Николаевич



**ЗАЛЁТНЫХ**  
Борис Александрович



**ЗАМЯТНИН**  
Юрий Сергеевич



**ЗАХАРОВ**  
Анатолий Васильевич



**ЗАХАРОВ**  
Александр Николаевич



**ЗАХАРОВ**  
Борис Петрович



**ЗАХАРОВ**  
Валерий Борисович



**ЗАХАРОВ**  
Валерий Михайлович



**ЗАХАРОВ**  
Сергей Иванович



**ЗАХАРОВ**  
Юрий Яковлевич



**ЗАЦЕПИН**  
Анатолий Иванович



**ЗВЕРЕВ**  
Валентин Александрович



**ЗВИР**  
Александр Иосифович



**ЗВИР**  
Елена Аркадьевна



**ЗЕБАРЕВ**  
Анатолий Анисимович



**ЗЕБАРЕВ**  
Анисим Илларионович



**ЗЕМСКОВ**  
Владимир Фёдорович



**ЗЕМСКОВА**  
Серафима Петровна



**ЗИГАНШИНА**  
Заря Мирзагитовна



**ЗИГАНШИН** Тюльпан  
Махмурахманович



**ЗИЗИН**  
Михаил Николаевич



**ЗИМИН**  
Николай Михайлович



**ЗИНКОВСКИЙ**  
Виктор Иванович



**ЗОЛОТУХИН**  
Владимир Андреевич



**ЗУБКОВ**  
Валентин Петрович



**ИВАНЕНКО**  
Вадим Васильевич



**ИВАНОВ**  
Геннадий Михайлович



**ИВАНОВ**  
Лев Дмитриевич



**ИВАНОВ**  
Олег Иванович



**ИВАНОВ**  
Пётр Михайлович



**ИВАНОВИЧ**  
Владимир Сергеевич



**ИВАНОВИЧ**  
Юлия Витальевна



**ИВАХНОВ**  
Александр Андреевич



**ИЖУТОВ**  
Алексей Леонидович



**ИКОННИКОВ**  
Николай Павлович



**ИЛЬЕНКО**  
Сергей Анатольевич



**ИЛЬИН**  
Владимир Александрович



**ИЛЬИН**  
Павел Александрович



**ИНЧАГОВ**  
Александр Васильевич



**ИШУНИН**  
Владимир Станиславович



**КАБАНОВ**  
Юрий Александрович



**КАБАНОВА**  
Любовь Александровна



**КАЗАКОВ**  
Валентин Александрович



**КАЗАКОВ**  
Лев Леонидович



**КАЗАНЦЕВ**  
Герман Никандрович



**КАЛЕВИЧ**  
Елена Серговна



**КАЛИНИН**  
Василий Степанович



**КАПШУКОВ**  
Иван Иванович



**КАРАСЁВ**  
Валентин Иванович



**КАРАЧКОВ**  
Борис Павлович



**КАРЛОВ**  
Виктор Алексеевич



**КАСИМОВ**  
Феликс Дмитриевич



**КАЦМАН**  
Владимир Захарович



**КАЧАЛИН**  
Владимир Арсеньевич



**КАЧКАЕВ**  
Владимир Борисович



**КЕБАДЗЕ**  
Борис Викторович



**КЕВРОЛЕВ**  
Владимир Петрович



**КИЗИН**  
Виктор Дмитриевич



**КИЗИН**  
Юрий Леонидович



**КИНСКАЯ**  
Ирина Геннадьевна



**КИНСКИЙ**  
Олег Мустафьевич



**КИРИЛЛОВ**  
Евгений Васильевич



**КИРСАНОВ** Владислав  
Владимирович



**КИСЛЫЙ**  
Владислав Анатольевич



**КЛИМЕНКОВ**  
Владимир Иванович



**КЛИНОВ**  
Анатолий Викторович



**КЛИНОВА**  
Наталья Борисовна



**КНЯЗЬКИН**  
Игорь Александрович



**КОБЗАРЬ**  
Светлана Илларионовна



**КОЖИН**  
Семён Иванович



**КОЗИН**  
Владимир Павлович



**КОЗИН**  
Евгений Васильевич



**КОЛЕСОВ** Владимир  
Владимирович



**КОЛЕСОВА**  
Тамара Николаевна



**КОМАРОВ**  
Геннадий Иванович



**КОНДАКОВ**  
Николай Дмитриевич



**КОНДАКОВА**  
Ольга Анатольевна



**КОНДРАТЬЕВ**  
Виктор Иванович



**КОНЕВ**  
Геннадий Иванович



**КОНОВАЛОВ**  
Валерий Иванович



**КОНЯШОВ**  
Вадим Васильевич



**КОРНЕВ**  
Геннадий Фёдорович



**КОРМУШКИН**  
Юрий Павлович



**КОРНИЛОВ**  
Дмитрий Александрович



**КОРОЛЬКОВ**  
Анатолий Семёнович



**КОРОСТЕЛЁВ**  
Григорий Кузьмич



**КОРОТКОВ**  
Рафаэль Иванович



**КОРШУНОВ**  
Леонид Несторович



**КОСВИНЦЕВ**  
Юрий Юрьевич



**КОСОРУКОВ**  
Анатолий Николаевич



**КОСТИН**  
Александр Сергеевич



**КОСУЛИН**  
Николай Степанович



**КОТИКОВ**  
Пётр Иванович



**КОТИКОВА**  
Галина Алексеевна



**КОТОВ**  
Николай Алексеевич



**КОЧЕРЫГИН**  
Николай Григорьевич



**КРАЙНОВ**  
Евгений Владимирович



**КРАЙНОВА**  
Наталья Ивановна



**КРАВЧЕНКО**  
Василий Яковлевич



**КРАСНОСЁЛОВА**  
Юлия Тихоновна



**КРАСНОЯРОВ**  
Николай Викторович



**КРАШЕНИННИКОВ**  
Юрий Михайлович



**КРОШКИН**  
Николай Иванович



**КРЫЛОВ**  
Евгений Александрович



**КУДРЯШОВ**  
Геннадий Андреевич



**КУЗИН**  
Георгий Георгиевич



**КУЗНЕЦОВ**  
Александр Иванович



**КУЗНЕЦОВ**  
Владимир Николаевич



**КУЗНЕЦОВ**  
Геннадий Иванович



**КУЗНЕЦОВ**  
Николай Александрович



**КУЗЬМИН**  
Валерий Вениаминович



**КУЗЬМИН**  
Василий Ильич



**КУЗЬМИЧЁВ**  
Иван Николаевич



**КУКСИН**  
Леонид Иванович



**КУЛЕШОВА**  
Юлия Фёдоровна



**КУЛЬПИН**  
Борис Валерьевич



**КУНГУРЦЕВ**  
Игорь Александрович



**КУПРИЕНКО**  
Виктор Иванович



**КУПРИЕНКО**  
Максим Викторович



**КУПРЯХИН**  
Валерий Иванович



**КУРОЧКИН**  
Герман Александрович



**КУСОВНИКОВ**  
Александр Сергеевич



**КУСТИКОВ**  
Алексей Платонович



**КУСТИКОВА**  
Зоя Ивановна



**КУШНИР**  
Юрий Алексеевич



**ЛАБЫКИН**  
Станислав Гаврилович



**ЛАВРИНОВИЧ**  
Юрий Григорьевич



**ЛАДЗИН**  
Александр Степанович



**ЛАПТЕВ**  
Владимир Гаврилович



**ЛАРИН**  
Виктор Иванович



**ЛАТЫПОВ**  
Руслан Назымович



**ЛЕБЕДЕВ**  
Иван Георгиевич



**ЛЕБЕДЕВ**  
Валерий Александрович



**ЛЕБЕДЕВ**  
Игорь Александрович



**ЛЕБЕДЕВ**  
Владимир Михайлович



**ЛЕБЕДЕВА**  
Лидия Сергеевна



**ЛЕБЕДЕВА**  
Елена Евгеньевна



**ЛЕВИН**  
Игорь Абрамович



**ЛЕТНИЦКИЙ**  
Юрий Александрович



**ЛЕЩЕНКО**  
Юрий Иосифович



**ЛЕЩИНСКИЙ**  
Григорий Абрамович



**ЛИСЕНКОВ**  
Александр Афанасьевич



**ЛИСИЦЫН**  
Василий Иванович



**ЛОГИНОВ**  
Владимир Дмитриевич



**ЛОСЕВ**  
Виктор Павлович



**ЛОСЕВ**  
Николай Павлович



**ЛОСКУТОВ**  
Евгений Александрович



**ЛУКИН**  
Юрий Васильевич



**ЛУКИНЫХ**  
Анатолий Николаевич



**ЛЫЧАГИН**  
Валерий Николаевич



**ЛЪВОВ**  
Анатолий Иванович



**ЛЯЛЮШКИН**  
Николай Васильевич



**ЛЯЩЕНКО**  
Борис Гаврилович



**МАЖОРОВ**  
Александр Семёнович



**МАКАРОВ**  
Валерий Александрович



**МАКЕЕВ**  
Владимир Андреевич



**МАКЛАКОВ**  
Владимир Васильевич



**МАЛИНОВСКИЙ**  
Валерий Борисович



**МАЛЪКОВ**  
Евгений Владимирович



**МАЛЮКОВ**  
Евгений Петрович



**МАЛЯ**  
Григорий Петрович



**МАМОНОВ**  
Алексей Владимирович



**МАМОНОВ**  
Владимир Деомидович



**МАНУИЛОВ**  
Александр Алексеевич



**МАРАШЕВ**  
Валентин Николаевич



**МАРКИН**  
Самсон Анатольевич



**МАРКИНА**  
Наталья Владимировна



**МАРКОВ**  
Дмитрий Владимирович



**МАРКОВ**  
Юрий Васильевич



**МАСНЫЙ**  
Владислав Феодосьевич



**МАТВЕЕВ**  
Николай Петрович



**МАТЮНИН**  
Михаил Андреевич



**МАТЮШКИНА**  
Галина Ивановна



**МАШЕР**  
Валентин Климентьевич



**МЕДВЕДЕВ**  
Юрий Сергеевич



**МЕЛЬДЕР**  
Рихард Рудольфович



**МЕРКУЛОВ**  
Константин Петрович



**МЕТАЛЬНИКОВ**  
Сергей Викторович



**МИРОНОВ**  
Анатолий Николаевич



**МИРОШНИК**  
Марат Анатольевич



**МИТИН**  
Анатолий Михайлович



**МИТРЮШИН**  
Александр Васильевич



**МИХАЙЛИН**  
Василий Георгиевич



**МИШЕНЁВ**  
Владислав Борисович



**МОКЕИЧЕВ**  
Михаил Герасимович



**МОРОЗОВ**  
Борис Александрович



**МОРОЗОВ**  
Василий Иванович



**МОРОЗОВ**  
Виталий Алиферович



**МОРОЗОВ**  
Николай Григорьевич



**МУКИН**  
Владимир Владимирович



**МУРАЛЁВ**  
Анатолий Борисович



**МУРАЛЁВА**  
Елена Михайловна



**МУРАШЕВ**  
Георгий Семёнович



**НАЗАРЕНКО**  
Тамара Алексеевна



**НАЗАРКИН**  
Виталий Аркадьевич



**НАЗАРОВ**  
Алексей Иванович



**НЕБЕРОВ**  
Виталий Александрович



**НЕФЁДОВ**  
Вацлав Николаевич



**НЕХОЖИН**  
Александр Михайлович



**НЕЧАЕВ**  
Борис Николаевич



**НИКИТИН**  
Олег Николаевич



**НИКОЛАЕВ**  
Гелий Петрович



**НИКОЛЬСКИЙ**  
Ростислав Викторович



**НИКУЛИН**  
Александр Захарович



**НОВАК**  
Леонид Иванович



**ОВСЯННИКОВ**  
Юрий Фёдорович



**ОВЧАРОВ**  
Владимир Евгеньевич



**ОВЧАРОВА**  
Зоя Яковлевна



**ОВЧИННИКОВ**  
Владимир Александрович



**ОПЁНЫШЕВ**  
Геннадий Степанович



**ОРИЩЕНКО**  
Алексей Васильевич



**ОСИПЕНКО**  
Николай Павлович



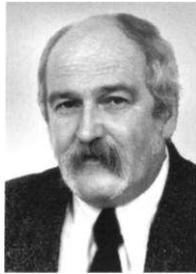
**ОСИПОВ**  
Станислав Валентинович



**ОСТРЕЙКОВСКИЙ**  
Электрин Петрович



**ОСТРОВСКИЙ**  
Зигфрид Евгеньевич



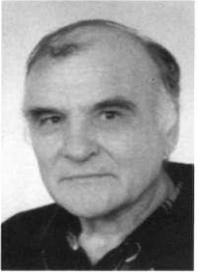
**ОХРИМЕНКО**  
Александр Иванович



**ПАВЛОВА**  
Галина Львовна



**ПАНИН**  
Виктор Николаевич



**ПАРАМОНОВ**  
Юрий Григорьевич



**ПЕВЦОВ**  
Владимир Васильевич



**ПЕТРУШКИН**  
Виктор Николаевич



**ПЕТРУШКИН**  
Олег Викторович



**ПЕЧОРИН**  
Александр Михайлович



**ПИМЕНОВ**  
Василий Вениаминович



**ПИРОГОВ**  
Василий Дмитриевич



**ПИСАРЧУК**  
Владимир Сергеевич



**ПISКУНОВ**  
Евгений Михайлович



**ПЛАХТЕЕВ**  
Иван Александрович



**ПЛОТНИКОВ**  
Иван Андреевич



**ПОВСТЯНКО**  
Александр Викторович



**ПОВСТЯНКО**  
Виктор Павлович



**ПОВСТЯНКО**  
Наталья Михайловна



**ПОЗДЕЕВ**  
Михаил Васильевич



**ПОКРОВСКИЙ**  
Александр Сергеевич



**ПОЛЕНОК**  
Владимир Степанович



**ПОЛИВАНОВ**  
Игорь Фёдорович



**ПОПКОВ**  
Геннадий Павлович



**ПОРОДНОВ**  
Пётр Трифонович



**ПОРОДНОВА**  
Валентина Ивановна



**ПОРТНОВ**  
Владимир Фёдорович



**ПОСЕВИН**  
Алексей Олегович



**ПОЧЕЧУРА**  
Валентин Петрович



**ПРИБЫЛОВ**  
Николай Васильевич



**ПРИВАЛОВ**  
Юрий Владимирович



**ПРИВАЛОВА**  
Полина Андреевна



**ПРОКОПЕНКО**  
Борис Евгеньевич



**ПРОКОПЕНКО**  
Вячеслав Григорьевич



**ПРОТОПОПОВ**  
Дмитрий Павлович



**ПРОХОРОВ**  
Валерий Иванович



**ПУЧКОВСКИЙ**  
Владимир Николаевич



**ПУШКАРСКИЙ**  
Николай Иванович



**ПУШКИН**  
Геннадий Петрович



**РЕВЯКИН**  
Юрий Леонидович



**РЕШЕНКОВ**  
Николай Николаевич



**РИГА**  
Василий Иосифович



**РИЗАЕВ**  
Элдус Кирамович



**РИСОВАНАЯ**  
Фаина Васильевна



**РОГОВ**  
Андрей Аркадьевич



**РОМАДОВА**  
Елена Леонардовна



**РОМАНОВ**  
Борис Александрович



**РОМАНОВ**  
Евгений Геннадьевич



**РОМАНОВСКИЙ**  
Сергей Владимирович



**РОТМАНОВ Константин  
Владиславович**



**РЫБИН  
Анатолий Алексеевич**



**РЫБИН  
Дмитрий Григорьевич**



**САВОЧКИН  
Юрий Павлович**



**САГАЛОВ  
Сергей Сергеевич**



**САДИКОВ  
Борис Борисович**



**САДУЛИН  
Виктор Петрович**



**САДУН  
Виктор Григорьевич**



**САЗОНОВ  
Сергей Аркадьевич**



**САНДАКОВ  
Владимир Сергеевич**



**САПРОНОВ  
Анатолий Валентинович**



**СВИРИДОВ  
Александр Фёдорович**



**СВИСТУНОВ  
Владимир Анатольевич**



**СВЯТКИН  
Александр Михайлович**



**СВЯТКИНА  
Наталья Анатольевна**



**СЕВАСТ'ЯНОВ  
Евгений Васильевич**



**СЕДИН**  
Алексей Юрьевич



**СЕЛЕЗНЁВ**  
Анатолий Георгиевич



**СЕМЁНКИН**  
Александр Дмитриевич



**СЕМЁНОВ**  
Геннадий Ильич



**СЕМИДОЦКИЙ**  
Иван Иванович



**СЁМОЧКИН**  
Вячеслав Борисович



**СЕНЬ**  
Алексей Иванович



**СЕРЕБРЯКОВ**  
Владимир Валерианович



**СЕРОВ**  
Аркадий Владимирович



**СИДОРЕНКО**  
Оксана Георгиевна



**СИЗИКОВ**  
Георгий Павлович



**СИЗОВ**  
Иван Михайлович



**СИМОНОВ**  
Вячеслав Юрьевич



**СИМОНОВ**  
Юрий Георгиевич



**СКЛЯРОВ**  
Николай Семёнович



**СМИРНОВ**  
Анатолий Михайлович



**СМИРНОВ**  
Пётр Семёнович



**СМИРНОВА**  
Ирина Михайловна



**СМОЛЬНИКОВ**  
Анатолий Викторович



**СОБОЛЕВ**  
Александр Михайлович



**СОКОЛОВ**  
Василий Фёдорович



**СОКОЛОВ**  
Игорь Николаевич



**СОКОЛОВСКИЙ**  
Юрий Сергеевич



**СОЛНЦЕВА**  
Людмила Анатольевна



**СОЛОВЬЁВ**  
Юрий Александрович



**СОЛОВЬЁВ**  
Анатолий Александрович



**СПИРИДОНОВ**  
Юрий Георгиевич



**СРОЕЛОВ**  
Валерий Семёнович



**СТАРОСТОВ**  
Борис Иванович



**СТЕПАНЕНКО**  
Степан Павлович



**СТЕПАНОВ**  
Виктор Николаевич



**СТЕПАНОВ**  
Владимир Тарасович



**СТЕСЮК**  
Егор Степанович



**СТОЛЯРОВ**  
Леонид Александрович



**СТРЕЛЬНИКОВ**  
Геннадий Алексеевич



**СУСЛОВ**  
Дмитрий Владимирович



**СУСЛОВ**  
Олег Сергеевич



**СУХОВ**  
Мефодий Алексеевич



**СЫЧ**  
Анатолий Порфирьевич



**СЮЗЁВ**  
Виталий Николаевич



**СЮПРИВАНОВ**  
Михаил Александрович



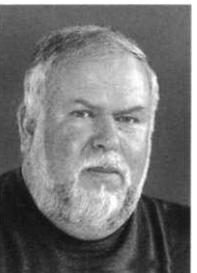
**ТАБАКИН**  
Евгений Мордухович



**ТАРАСОВ**  
Валерий Анатольевич



**ТЕБЕЛЕВ**  
Лев Григорьевич



**ТЕЙКОВЦЕВ**  
Александр Алексеевич



**ТЕМНОЕВА**  
Тамара Александровна



**ТЕРЕХОВ**  
Григорий Иванович



**ТЕТЮКОВ**  
Василий Дмитриевич



**ТИХОНЧЕВ**  
Юрий Емельянович



**ТОМБАСОВ**  
Валерий Николаевич



**ТОМИЛИН**  
Сергей Васильевич



**ТОПОРОВА**  
Валентина Григорьевна



**ТОПОРОВ**  
Юрий Геннадьевич



**ТРОФИМОВ**  
Валерий Васильевич



**ТРОФИМОВ**  
Иван Фёдорович



**ТУЛЬНИКОВ**  
Александр Фёдорович



**ТУМИЛОВИЧ**  
Станислав Эдуардович



**ТУРТАЕВ**  
Николай Павлович



**ТУЧНИН**  
Лев Михайлович



**ТЮРИКОВА**  
Ольга Андреевна



**ЛЮШКИН**  
Александр Михайлович



**УРАНОВ**  
Дмитрий Владимирович



**УСОЛЬЦЕВ**  
Вячеслав Юрьевич



**УСТИНОВ**  
Александр Фёдорович



**УТИН**  
Владимир Михайлович



**УХАНОВ**  
Пётр Васильевич



**ФЁДОРОВ**  
Юрий Дмитриевич



**ФЕДОСЕЕВ**  
Владимир Евгеньевич



**ФЕДУЛИН**  
Виктор Николаевич



**ФЕДЯКИН**  
Рудольф Евгеньевич



**ФЕОКТИСТОВ**  
Александр Викторович



**ФЕСЕНКО**  
Николай Григорьевич



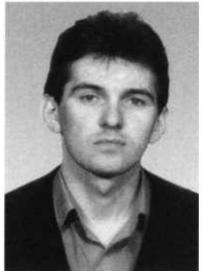
**ФИЛИМОНОВ**  
Вячеслав Терентьевич



**ФИНЬКО**  
Александр Григорьевич



**ФРЕЙ**  
Аркадий Карлович



**ФРИДМАН**  
Сергей Рувикович



**ФРОЛОВ**  
Алексей Андреевич



**ФРОЛОВА**  
Людмила Михайловна



**ФРУНЗЕ**  
Владимир Владимирович



**ХАРЛАНОВ**  
Юрий Иванович



**ХАРЬКОВ**  
Дмитрий Викторович



**ХЛЮСТОВ**  
Юрий Михайлович



**ХУДЯКОВ**  
Александр Андрианович



**ХУДЯКОВ**  
Анатолий Васильевич



**ЦВЕТКОВ**  
Геннадий Савельевич



**ЦВЕТКОВ**  
Юрий Иванович



**ЦЕЛИЩЕВ**  
Иван Васильевич



**ЦЫКУНОВ**  
Алексей Григорьевич



**ЦЫКУНОВА**  
Валентина Михайловна



**ЧАКИН**  
Владимир Павлович



**ЧАУСОВ**  
Анатолий Алексеевич



**ЧЕРНОБРОВКИН**  
Юрий Васильевич



**ЧЕРНОВ**  
Анатолий Владимирович



**ЧЕТВЕРИКОВ**  
Анатолий Павлович



**ЧЕЧЁТКИНА**  
Земфира Ивановна



**ЧИСТЯКОВ**  
Владимир Михайлович



**ЧИЧУЛИН**  
Вадим Николаевич



**ЧОБА**  
Алексей Андреевич



**ЧУЧИН**  
Владимир Николаевич



**ЧУШКИН**  
Юрий Васильевич



**ШАМАРДИН**  
Валентин Кузьмич



**ШЕРИН**  
Владимир Александрович



**ШИМАНСКИЙ**  
Аркадий Моисеевич



**ШИМАНСКИЙ**  
Григорий Аркадьевич



**ШИМБАРЕВ**  
Евгений Васильевич



**ШИПИЛОВ**  
Василий Иванович



**ШИРОКОВ**  
Владимир Иванович



**ШИШАЛОВ**  
Олег Васильевич



**ШИШИН**  
Валерий Юрьевич



**ШКАРЕДНЫЙ**  
Николай Васильевич



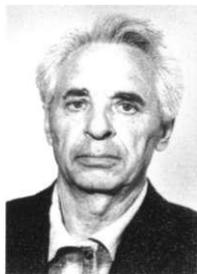
**ШКОКОВ**  
Евгений Иванович



**ШКУРО**  
Николай Леонидович



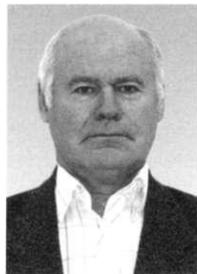
**ШКУРПЕЛОВ**  
Александр Алексеевич



**ШМЕЛЁВ**  
Виктор Егорович



**ШТЫНДА**  
Юрий Евгеньевич



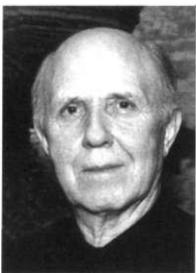
**ШУЛИМОВ**  
Виталий Николаевич



**ШУШАКОВ**  
Виктор Дмитриевич



**ЩЕПЕТИЛЬНИКОВ**  
Владимир Анатольевич



**ЩЕРБАКОВ**  
Василий Герасимович



**ЮРЧЕНКО**  
Александр Дмитриевич



**ЮСКИН**  
Виктор Иванович



**ЮСЬКАЕВ**  
Рафаэль Айнуллович



**ЯДОВИН**  
Альберт Александрович



**ЯКОВЛЕВ**  
Герман Александрович



**ЯКОВЛЕВА**  
Елена Дмитриевна



**ЯКОВЛЕВ**  
Юрий Николаевич



**ЯКШИН**  
Евгений Клементьевич



**ЯРОСЛАВЦЕВ**  
Борис Евгеньевич

## Глава 6



## В ЦЕНТРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

*Наука — это неустанная многовековая  
работа мысли свести вместе посредством системы  
все познаваемые явления нашего мира.*

А. Эйнштейн

*Книга есть альфа и омега всякого знания,  
начало начал каждой науки.*

С. Цвейг

В августе 1962 года в НИИАРе уже существовал технический отдел под руководством А.И. Назарова, созданный для обеспечения сотрудников института научно-технической информацией. Работники отдела подготовили литературный обзор по очистке сточных вод. Обзор был отпечатан в трёх экземплярах с вклеенными фотографиями. Готовили также обзор по методам захоронения отходов. В то же самое время инженер М.А. Ефремова вела работу по привлечению специалистов института для просмотра периодической литературы в научно-технической библиотеке. Приказом главного инженера А.Р. Белова были назначены общественные техинформаторы от каждого подразделения, лабораторий института. Они обязаны были регулярно просматривать периодические журналы, в том числе и иностранные, и заполнять на интересующие их статьи карточки. Затем эти карточки перепечатывали и использовали для составления тематической картотеки. Она находилась в научно-технической библиотеке, хотя комплектованием в первое время занималась М.А. Ефремова, а созданием информационной группы — В.И. Шевченко.

С этого времени начали вести систематизированный учёт рационализаторских предложений, хотя они регулярно поступали уже с августа 1959 года. Ведением всей работы по рационализации занималась В.М. Цыкунова. Для оперативного рассмотрения предложений при главном инженере предприятия был создан технический совет бюро рационализации и изобретательства, в состав которого вошли ведущие специалисты: конструктор, энергетик, механик, технолог и др. Возглавил технический совет А.И. Назаров, руководитель технического отдела.

В 1963–1964 годах создали одну информационную службу — бюро технической информации (БТИ), объединив группу информации, группу переводчиков, фотолaborаторию и лаборантов множительной техники. Начальником бюро технической информации стал В.Б. Ермолаев, позже — И.А. Трофимов. В 1965 году при техническом отделе сформировали группу по рационализации, изобретательству и патентам

в составе В.М. Недвиги, В.М. Цыкуновой, Е.А. Кирлис, И.М. Захарова, Т.А. Петровой, переводчиков. Н.М. Захаров занимался комплектованием патентного фонда вместе с переводчицами. В связи с поступлением большого количества заявок на изобретения и открытия назрела необходимость профессионального совершенствования в области изобретательства и патентов. Все инженеры прошли заочное обучение на центральных курсах повышения квалификации по вопросам патентования и изобретательства. В 1969 году был создан патентный отдел под руководством А.Я. Антонова в составе В.М. Цыкуновой, Е.А. Кирлис, Н.М. Захарова, Т.А. Петровой, З.М. Зиганшиной, В.Г. Мозговой и Р.М. Паниковской.

Библиотека была основана в 1959 году. Первым руководителем библиотеки была П.Ф. Бакланова. В 1966 году в научно-технической библиотеке работали В.Г. Баженова, Т.Н. Земскова, Н.Л. Зинковская, Е.Д. Барышникова, В.И. Чугреева, А.С. Балашова. В то время библиотека находилась на третьем этаже здания 118. Абонемент располагался в коридоре, без дневного света, а шум работающей вентиляции мешал и посетителям читального зала, и работникам абонемента. Но читателей было много, очереди на абонементе помнят все библиотекари, так как работали на выдаче попеременно, да и читальный зал никогда не пустовал. После переезда в здание 100 в библиотеке стало просторнее. Большой вклад в организацию информационно-библиографической работы внесли В.П. Корнилова, Г.И. Земскова, Е.А. Брежнева, М.А. Дворецкая, Е.В. Бороздина, В.А. Ухварова, А.И. Зубрилкина. Немалые усилия приложили А.С. Балашова и Н.Е. Служаева для создания справочно-библиографического аппарата: алфавитного и систематического каталогов, алфавитно-предметного указателя и пр.

Учёбе и повышению квалификации уделялось пристальное внимание. Изучали информатику, курс вёл сам Э.П. Острейковский, начальник отдела научно-технической информации (ОНТИ\*). В библиотеке регулярно по графику работники проводили обзоры журналов по библиографии и библиотечному делу. Азы английского языка преподавала Р.Н. Мокеичева, чтобы легче было работать с большим количеством иностранных журналов. Много стажировались, учились. Библиотеке и её комплектованию уделялось особое внимание. Отбирать новую литературу регулярно ездили в Ульяновский библиоколлектор, а также в книжные магазины Москвы. На любые конференции, собрания, семинары работники библиотеки шли с выставками подобранной по теме литературы, чтобы сотрудники института были в курсе объёма публикаций по любой тематике, рекламировали и новые поступления.

Время шло, и, кроме традиционных видов работы, как комплектование, обработка литературы, работа с каталогами, в библиографической работе появились новые формы: работа с референтами, проведение дней референта, выпуск информационных бюллетеней новых поступлений и информационных листков, выступление с обзором новых изданий по радио. Позднее стали выписывать для подразделений института необходимые журналы и газеты. Всего было около сорока отделов, которым по ранее прислан-

\* Был образован после бюро технической информации (БТИ).

ным заявкам и по мере поступления в библиотеку издания рассылались по почте. В этой работе непосредственное участие принимала Н.Г. Фёдорова.

На проводимые в институте семинары и конференции с участием наших и иностранных учёных привлекали работников всего подразделения, поручая различную работу: выдачу препринтов, встречу делегатов, их размещение и др. У каждого работника была общественная нагрузка. Например, А.С. Балашова участвовала в работе общества «Знание». Ниинаровское общество «Знание», председателем которого был тогда В.И. Клименков, в 1976 году заняло первое место во Всероссийском смотре.

С установлением личных контактов с отделами информации родственных предприятий (ИАЭ, ВНИИНМ, ФЭИ и другие), где в то время информационные службы утвердились и активно работали, наш институт стал регулярно получать от них тематические библиографические указатели литературы (БУЛ). Они печатались в виде карточек. Интересующие сотрудников института карточки сотрудники БТИ (ОНТИ) вырезали и использовали для пополнения тематической картотеки. Далее, используя эти карточки и комплектуя их по тематике, в институте сами стали выпускать небольшие БУЛы по научным направлениям: реакторы, материаловедение, радиохимия. Каждое направление имело свое красочное оформление. В то же время велась работа по поиску и подписке на информационные материалы, выпускаемые отраслевыми институтами информации, например, по электронике, машиностроению, приборостроению и т.п. Эту литературу направляли в подразделения общественным техинформаторам для уголков технической информации.

Позже информационная деятельность была направлена на обеспечение информацией конкретных работников подразделений. Под непосредственным руководством Э.П. Острейковского внедрили метод избирательного распределения информации (ИРИ). В этом случае потребитель не только получал сигнальную информацию, но и отчитывался об использовании её в своей работе. Информация отправлялась в виде карточек. В самом начале группа избирательного распределения информации состояла из трёх человек: М.А. Ефремовой, Е.Д. Барышниковой и В.И. Шевченко. Каждый вёл свое тематическое направление, имел список потребителей и перечень вопросов, по которым следует вести поиск информации и предоставлять её сотрудникам института.

Пришлось заниматься и другими вопросами. В это время в отрасли начали внедрять систему регистрации научно-исследовательских работ на стадии планирования, чтобы не было дублирования в выполнении одной и той же работы разными предприятиями. Было поручено заняться изучением и внедрением этой системы в институте. Началась работа и по организации подготовки и издания аналитических литературных обзоров в институте. Выпущенные первые обзоры привлекли внимание и заинтересовали научных работников. Появились желающие также подготовить обзоры. В дальнейшем темы обзоров стали отбираться из предлагаемого списка специальной комиссией при заместителе директора по науке П.Г. Аверьянове. Авторов после выпуска обзоров поощряли денежной премией.

Ещё в 1962–1963 годах в составе технического отдела института были корректоры. Группа переводчиков (В.Г. Мозговая, В.И. Чугреева и др.) делала перево-

ды, которые (пять экземпляров на машинке) корректировала З.В. Бодрова. Готовили материалы для размножения на ротаторе (З.М. Смольникова). Тогда уже работала переплётчицей П.В. Карпухина. В 1964–1965 годах стали выпускать отчёты и первые доклады за рубеж (работали в составе техотдела, позднее — бюро технической информации). Необходимы были кадры. Э.П. Острейковский поручил З.В. Бодровой подобрать людей для редакционной группы: машинисток, корректоров, вычитчиков, редакторов, инженеров, фотографов, художников, переплётчиков, наладчиков и прочих специалистов (В.Я. Лазарева, Д.А. Галимова, Т.В. Левина, Т.Н. Адамовская, Л. Стороженко, И.М. Меримсон, Г.П. Маля, В.С. Судакова, А.В. Карнецын, А.Г. Шевченко, Е.И. Тарновский). Штатное расписание редакционно-издательской группы было сформировано к 1967 году. В 1968 году на работу в редакционно-издательскую группу были приняты ещё два редактора (Л.П. Молгачёва и М.К. Белова) и один корректор (В.И. Породнова). Руководителем группы стала Л.П. Молгачёва. Выпускали труды конференции, отчёты, авторефераты и препринты. В это время группа пополнилась ещё двумя корректорами: Л.П. Кривошеевой и С.Н. Бобкиной, а В.И. Породнову перевели в редакторы.

По заказу Государственного комитета по атомной энергии для МАГАТЭ были сняты фильмы о НИИАРе, материаловедческой лаборатории, реакторах СМ, АРБУС. В шестидесятые годы демонстрировались и иностранные фильмы разных атомных центров и национальных лабораторий. Эти фильмы присылали по заявке института из Центра информации нашей отрасли. Сначала лингвисты НИИАРа переводили их, а потом показывали по графику работникам института. Много демонстрировалось технических фильмов из кинопроката Ульяновска. Киномехаником тогда работал В.М. Вечканов.

С июля 1969 года заместителем Э.П. Острейковского, начальника отдела научно-технической информации, стал Л.В. Забалуев. Основная задача отдела состояла в том, чтобы обеспечить обработку и размножение входящей и исходящей научно-технической информации. Это было ещё только становление групп отдела. Входящий поток обрабатывался, но выпуск научной продукции был в начальной стадии. Для обработки её нужно было ехать в типографию старого города, поскольку в НИИАРе не было необходимого оборудования. Поэтому перед коллективом отдела была поставлена задача по внедрению новых высокопроизводительных процессов, позволяющих увеличить выпуск научной продукции и улучшить её качество. Для выполнения поставленных задач начали усиленное переоснащение технологического оборудования. Организовали производственно-техническое обучение коллектива участка с целью изучения и внедрения новых технологических процессов и нового технологического оборудования. Обеспечить бесперебойную работу можно было только в случае, если каждый из сотрудников освоил бы две или три профессии, что и было сделано. Инженером Н.А. Котовым, руководителем производственного участка, были разработаны технически обоснованные нормы выработки по каждому рабочему месту.

В это же время создаётся группа информационного обеспечения и пропаганды с целью усовершенствования поиска, обработки информации и целевого её использования научными работниками института в своей работе (М.А. Ефремова, Е.Д. Барышникова, Л.А. Солнцева, Г.С. Кривошеева, Ю.Т. Красносёлова, М.А. Дворецкая и др.). Была внедрена новая система информационного обеспечения руководящего состава института — дифференцированное обеспечение руководства (ДОР). Инженер группы представлял информацию в виде краткого реферата на статью, выбрав и указав в нём самые важные данные. Информация подавалась на красочно оформленных информационных листах.

Как только в институте начали проходить научные семинары и конференции (отраслевые, всесоюзные, международные), техническое обслуживание и подготовку научной продукции поручили отделу научно-технической информации. Нужно было обеспечить участников всем необходимым для работы. Занимались также организацией участия наших учёных во всесоюзных научных семинарах и конференциях. С 1972 года это направление работ вела М.А. Ефремова. Она же отвечала за организацию и проведение международной научной конференции, посвящённой 25-летию института. В 1981 году в здании 100 на втором этаже была открыта научно-техническая выставка достижений НИИАРа по направлениям деятельности, содержащая стенды, макеты и экспонаты по тематике института. Позже там регулярно проводили встречи с директором, совещания и собрания трудового коллектива. Это была первая музейно-выставочная экспозиция института. Создана она была сотрудниками-умельцами под руководством начальника отдела научно-технической деятельности В.И. Клименкова, инженера В.Н. Костяева и редактора Ю.В. Волковой и существовала до 1987 года. При открытии Научно-культурного центра имени Е.П. Славского экспозицию частично перенесли в новое здание.

Ещё в 1965–1968 годы отдел принял участие в проведении в институте двух интересных отраслевых выставок общества «Изотоп». Первая же выставка о НИИАРе была организована в нашем главном управлении. Художественное оформление было выполнено Н.Д. Туриним. Работы по оформлению выставочных стендов проводились совместно с художественной группой Б.А. Демидова.

Отдел научно-технической информации первоначально состоял из мелких групп: редакционной (руководитель Л.Н. Молгачёва), научно-технической библиотеки (руководитель В.Г. Баженова); информационной группы (руководитель В.С. Караваев); группы переводчиков (руководитель В.И. Чугреева). Машбюро входило в состав редакционной группы. Практически шла подготовка ОНТИ для выделения в самостоятельный отдел. В октябре 1971 года произошла смена руководителя отдела. Начальник отдела научно-технической информации Э.И. Острейковский уехал работать в Лыткарино. По конкурсу на замещение должности руководителя ОНТИ прошёл В.И. Клименков, с марта 1972 года он возглавил работу отдела научно-технической информации. Во второй половине 1972 года по инициативе В.И. Клименкова и усилиями всего коллектива ОНТИ стал самостоятельным отделом. Коллектив отдела значительно

расширился, и были сформированы новые группы: специнформбюро (руководитель Л.П. Корсаков), редакционно-издательская группа (руководитель В.И. Породнова) с машбюро в её составе. Была создана лаборатория анализа и обобщения информации (руководитель В.И. Клименков и его заместитель Л.А. Солнцева).



Сотрудники, принявшие участие в организации научно-технической выставки достижений института по направлениям деятельности (1981 г.)

Позднее была переведена патентная группа, и отдел стал называться ОПИНТИ (1975–1976 годы) — отдел патентных исследований и научно-технической информации: в 1974 года патентный отдел был реорганизован и в полном составе с добавлением старшего инженера В.Ф. Быстрых, инженера Э.И. Ласкиной и старшего техника

К.Л. Грачёвой передан в отдел научно-технической информации под непосредственное руководство М.В. Поздеева, а бюро рационализации и изобретательства во главе с В.М. Цыкуновой — только после 1987 года. Были достигнуты высокие показатели по рационализации и изобретательству. Одновременно проводилось восемь конкурсов: «Лучшее подразделение по рационализации и изобретательству»; «Лучший рационализатор года»; «Лучший изобретатель года»; «Лучшее рационализаторское предложение по экономии электроэнергии, материалов, топлива и других энергоресурсов»; «Лучшее рационализаторское предложение по охране окружающей среды»; «Лучшее общественное конструкторское бюро»; «Лучшая творческая комплексная бригада»; «Лучший молодой рационализатор». Была учреждена Книга почёта рационализаторов и изобретателей, куда заносили имена и фотографии победителей конкурсов, рационализаторов и изобретателей, добившихся высоких показателей. Организацией изобретательской и рационализаторской работы в институте в разное время занимались В.П. Ершов, В.М. Цыкунова, Е.А. Кирлис, З.М. Зиганшина, В.Ф. Быстрых, Э.И. Ласкина, Н.В. Рензяева, Н.М. Захаров, Р.М. Паниковская, Т.А. Петрова, Г.И. Матюшкина, С.И. Кобзарь, Б.А. Романов, Л.Г. Кузьмина, Н.Е. Осипова.

К тому времени грянул вселенский информационный взрыв, в вихре которого мир находится и поныне. Этот взрыв потребовал срочно разворачивать действия, коммуникации, поток научно-технической информации. Теперь это выросло до международных систем и до глобальной сети Интернет, но тогда всем было интересно влиться в армию новобранцев на поле битвы с научно-технической информацией.

В.И. Клименков, начальник отдела патентных исследований и научно-технической информации с 1972 по 1986 годы, придя в отдел нацелился разобраться в том, что и как делает коллектив, и в людях. На первое место он поставил информацию, обеспечение научных тем по плану НИИАРа, в кадровом вопросе внедрил чёткую структуру и наладил взаимоотношения в коллективе. Отдел научно-технической информации состоял почти целиком из женщин. В.И. Клименков по своей природе был наделён чувством восхищения и благоговения перед женщиной, чувством, которое он пронёс по жизни. Под таким началом отдел работал блестяще и вдохновенно. За объективную оценку его труда можно принять результаты министерского смотра: четвёртое место среди десятков научных учреждений и десятое место среди сотен предприятий всей отрасли, в которых есть отделы информации. В.И. Клименкову с укором ставили в вину то, что он не очень старался, как другие начальники отделов, «выколотить» лишнюю квартиру сверх лимита, новую технику для отдела или надбавку (в 3–5 руб.) к зарплате кому-либо из сотрудников отдела. Л.В. Забалуев, заместитель В.И. Клименкова, без шума и надёжно занимался этими делами, что В.И. Клименков оценил много позже.

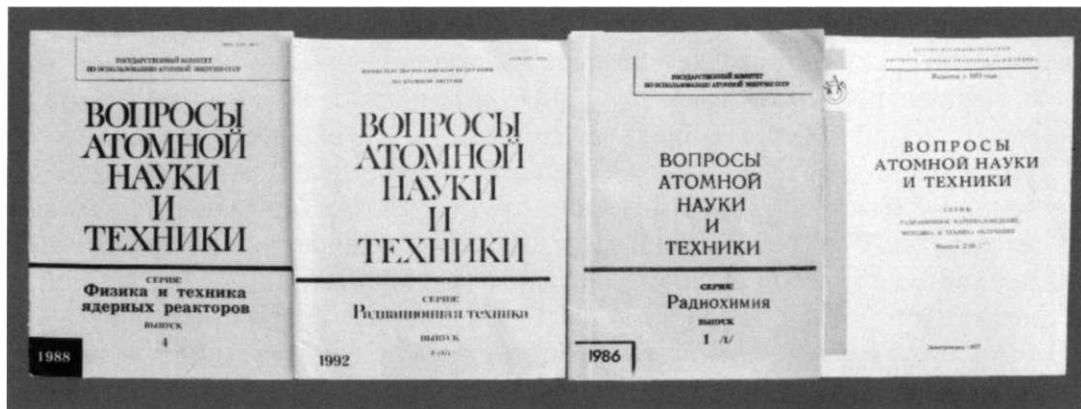
К 1978 году отдел патентных исследований и научно-технической информации состоял из таких структурных единиц, как-то: лаборатория анализа и обобщения информации и пропаганды (группа анализа и обобщения информации (руководитель Л.А. Солнцева), группа научно-технической пропаганды (руководитель

Л.П. Корсаков)), бюро специнформации (руководитель М.А. Ефремова), бюро патентных исследований (руководитель В.Ф. Быстрых), научно техническая библиотека (руководитель В.П. Корнилова) и производственно-издательский участок (редакционно-издательская группа (руководитель В.И. Породнова), производственная группа (руководитель Н.А. Котов (1969–1991 гг.)), группа приёма и выдачи заказов (руководитель Г.Н. Турина)). В лаборатории занимались не только информационным обеспечением, но и научными исследованиями в области информационных процессов, проводили предплановые информационные исследования по всем научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам института.

Работал отдел слаженно. В отделе всегда позитивно подхватывали инициативу, с азартом внедряли новинки, мобильно осваивали новые обширные благоустроенные помещения и современную технику. Все это было делом чести, совести и почти спортивного интереса. Каждый придумывал что-то сам. Показали новый тип книжного переплёта в изданиях какого-то института — Н.А. Котов на своём производственном участке дружно со всеми быстро его освоил. Художник А.Г. Шевченко сам по себе придумал и внедрил при содействии Л.В. Забалуева мудрую, но простую конструкцию выставочных легких сборных опор и стендов. В редакционной группе во главе с В.И. Породной с воодушевлением осваивали художественно яркое смысловое и их редакционно-умное оформление печатных трудов. В тихой думающей информационной группе Л.А. Солнцевой предлагали и быстро внедряли новый доходчивый вид информационных бюллетеней совместно с редакционной и производственной группами. Так вот и работали, но работали с энтузиазмом. И в итоге слаженной творческой работы структурных групп и всех работников «понаделали много дел»: развили многочисленные передовые виды информационных работ; наворочали горы экспрессных печатных изданий и заявок на изобретения; натворили потоки выставок-витражей; выдвинули библиотеку на передний фронт услуги; показывали фильмы, синхронно переводя с английского; проводили конференции и юбилеи; наполучали медалей ВДНХ работникам института и многое другое. А какая масса научных работников НИИАРа была вовлечена в эту творческую круговерть! Какая несчитанная помощь и доброе участие им были оказаны в их научных разработках, законных амбициях, научном самоутверждении, защите диссертаций! Яркой жемчужной нитью вплеталась эта деятельность в трудовой наряд НИИАРа, сколько она придала красоты и пользы итогам его работы! Это был вечный праздник труда, тяжёлого, утомительного, психологически напряжённого. Сложился зрелый, отзывчивый, творческий, слаженный, продуктивный и щедрый коллектив.

В 1968 году был выпущен первый проспект о НИИАРе, изданный в Атомиздате. Вторым в 1974 году был издан проспект «Реактор БОР-60». С 1973 года принимали участие в издании сборника ВАНТ серии «Радиационное материаловедение, методика и техника облучения». С 1977 года было разрешено отдельные выпуски сборника издавать самостоятельно (только двум организациям на периферии разрешили). От института в редколлегию входили: главный редактор В.А. Цыканов, заместители главного

редактора Ю.П. Кормушкин и В.И. Клименков, ответственный секретарь З.В. Бодрова (редактор), члены редколлегии Е.П. Клочков и Е.Ф. Давыдов. В 1979 году НИИАРу разрешили издавать отдельные выпуски сборников «Вопросы атомной науки и техники» серий «Физика и техника ядерных реакторов» («Ядерная техника и технология»), «Радиационное материаловедение, методика и техника облучения» и «Радиохимия». За счёт усиления отдела значительно возросли объёмы работ: необходимо было резко увеличить производительность труда и повысить качество выпускаемой научной продукции. Для стандартизации, классификации и художественного оформления научных изданий был создан художественный совет в составе В.И. Клименкова, А.В. Карнецын, А.Г. Шевченко, Н.А. Котова, В.И. Породной, Л.А. Солнцевой. За короткое время были решены все поставленные задачи. Каждый вид научной продукции получил свой размер и художественное оформление корочек.



Сборники «Вопросы атомной науки и техники» различных серий

Для увеличения производительности труда Н.А. Котовым были разработаны два технологических процесса: получение офсетных печатных форм фотомеханическим способом с применением проекционных растров и электрографическим способом. Была создана система оригинал-макетирования. Разработали и систему совмещения технологического оборудования по всему производственному участку. На участке была создана группа энтузиастов-рационализаторов в составе Н.А. Котова, В.А. Шешукова, Н.К. Можилова, Л.И. Сальниковой, А.Г. Шевченко. Их силами была сконструирована установка по микрофильмированию для получения копий с микроплёнок и диомикрокарт по схемам негативного и позитивного копирования, то есть четыре технологических процесса. Н.А. Котов, В.А. Шешуков, Н.К. Можилев, В.В. Шепаров, А.Г. Шевченко успешно рационализировали фотонаборные работы для оформления корочек научных трудов. Усилиями Л.И. Сальниковой и Е.С. Шепелёвой были внедрены в производство передовые технологические процессы для переплёта многотетрадной продукции (сборники, книги, брошюры и т.д.) с применением золотого тиснения.

В 1978 году в редакционно-издательскую группу взяли корректором Ю.В. Волкову. В то время в группе работали четыре редактора (В.И. Породнова (руководитель с 1974 по 1997 год), М.К. Карацуба, З.В. Бодрова и Л.Л. Лялюшкина) и два корректора (Л.Н. Кривошеева и С.Н. Бобкина). Позднее — Т.В. Левина. Тогда в отделе научно-технической информации работало чуть больше 50 человек, но постепенно отдел «рос». Однако с увеличением численности сотрудников отдела в редакционно-издательской группе их число уменьшалось. Но, несмотря на это, в группе выполнялся большой объём работ. Выпускали в год десятки препринтов, готовили сборники трудов по итогам конференций, в том числе по реакторному материаловедению, сборники «Вопросы атомной науки и техники» различных серий. Редакторам приходилось заниматься и методической работой. За каждым редактором были закреплены определенные подразделения, куда редакторы ходили как к себе домой: посещали научно-технические советы, заседания экспертных комиссий, собирали молодых учёных в актовом зале, рассказывали им о требованиях к препринтам и статьям в периодические журналы и сборники ВАНТ. Готовили методические подборки, брошюры, что, конечно, помогало молодым авторам быстрее ориентироваться в научном мире и правильно выражать свои мысли. Конечно, были свои сложности в работе. Ведь не было компьютеров, поэтому печатали оригиналы научных материалов на обычных машинках, клеили, переклеивали. С.М. Мозговой приходилось вписывать формулы, чертить схемы. Без корректоров Л.Н. Кривошеевой, С.И. Бобкиной трудно было бы выпустить столько научной продукции. Часто редакторы спорили между собой о том, как лучше оформить «шапку» таблицы, как правильно составить подрисуночную подпись, даже где поставить запятую. В этих спорах рождалась истина. Совершенствовать редакторские приёмы помогала и учёба на специальных курсах. В 1983 году в штатном расписании редакционно-издательской группы появилась новая единица — старший техник. На эту должность была взята Г.А. Королёва. Работать стало намного легче, поскольку и отправка, и подготовка научных трудов, и получение разрешений на публикации находились в одном месте. Был хорошо налажен учёт научной продукции, заведена картотека. После ухода Г.А. Королёвой на этот участок была переведена Н.И. Зebarева, но уже в должности инженера.

Машбюро, входившее в состав редакционно-издательской группы, было организовано в 1972 году в составе В.М. Каекиной, В.Н. Власовой и Л.П. Хайруллиной. В 1975 году пришла Г.К. Степанова. В машбюро в то время в основном печатали материалы для отдела: инструкции, информационные листки, статьи, препринты. С августа 1978 года стали печатать материалы для всего института: отчёты, диссертации и т.д. Л.П. Хайруллина стала заведующей машбюро, а численность группы возросла. Пришли молоденькие девчонки: Т.В. Филиппова, Н.П. Бандурова, Н.И. Самсонова (Золотухина), О. Зимина, Г.В. Ванюкова (Осипова), Л.Д. Кистаева (Пастухова). Наряду с численностью росло и мастерство машинисток. На конкурсах «Лучший по профессии» они занимали призовые места. Осваивали новые пишущие машинки «Ятрань» и «Роботрон». Это были не просто машинистки, которые умели быстро и грамотно печатать

на русском языке, им была присвоена первая категория по печатанию научных трудов с иностранным текстом. Квалификация девочек росла под руководством таких редакторов, как В.И. Породнова, З.В. Бодрова, Ю.В. Волкова. Машинистки умели правильно и красиво разместить таблицу, вставить рисунок. И были такие приятные для них минуты, когда именитые редакторы советовались с ними, как лучше разместить, например, таблицу, чтобы она правильно и красиво выглядела на листе.



Пристендовая литература и первые обзоры и препринты института

Работа редакторов характеризуется колоссальным напряжением зрения. Охране труда в то время уделялось особое внимание: ветераны часто вспоминают корректора Т.В. Левину, которая по несколько раз в день заходила в комнату и призывала: «Девочки, на зарядку». И сотрудники вставали, махали руками, иногда ногами, крутились и что-то изображали ещё. Это помогало в работе, организовывало и действовало положительно. В отделе существовала комиссия по спортивной работе, которую возглавляла Г.Н. Турина. Играли в шашки и выигрывали, участвовали в эстафетах, кроссах... Сотрудники отдела занимались даже художественной самодеятельностью, собирались на девятом этаже сотого здания и пели: «Мы желаем счастья вам». Громче всех был слышен голос переводчицы Г.И. Матюшкиной. Были в отделе свои поэты, которые сочиняли стихи и частушки (В.И. Породнова, Н.И. Золотухина и др.). Ни один праздник не проходил без мини-концерта. Это, конечно, очень сближало людей. Хорошо работала в отделе стенная печать. Газета отдела патентных исследований и научно-технической информации неоднократно занимала призовые места в смотрях-конкурсах.

Ушли старые времена, наступали новые. Нужны были перемены. В.И. Клименков с удовольствием и загодя, постепенно и толково передал отдел молодому новому заму. Непривычно тревожно было В.И. Клименкову оставлять отдел, как свою душу, кому-то и самому оставаться без отдела и без дела. Но его заместитель, новый начальник отдела, пожалуй, с лихвой перекрыл его возможности. В феврале 1986 года В.И. Клименков вышел на пенсию, на его место пришел молодой и энергичный М.В. Поздеев, благодаря усилиям которого возросла мощь отдела в новых условиях. Внешне, казалось, М.В. Поздеев, начальник отдела патентных исследований и научно-технической информации с 1986 по 1999 годы, был холоден к людям. Но он просто умел сдерживать эмоции.



Сотрудники отдела патентных исследований и научно-технической информации:  
Г.И. Сучкова, М.А. Дворецкая, З.В. Бодрова, Г.А. Королёва, Л.А. Солнцева, В.П. Корнилова,  
М.Н. Персиянова, Ю.Т. Красносёлова, М.В. Поздеев, Е.А. Кирлис

С удовлетворением В.И. Клименков получал доходящие до него издалека добрые вести о бойкой и добротной работе отдела, о чутком отношении к ветеранам, позитивно удивлялся переменам и отмечал про себя, что, пожалуй, не справился бы с такой перестройкой, может, тормозил бы и сопротивлялся новому, нанося вред и себе, и делу: выставки, реклама, торговля, маркетинг вместо отбора и анализа информации для научно-исследовательской надобности. Отдел патентных исследований и научно-технической информации представлял собой службу центрального управления института, в функции которого входили организация международного научно-технического сотрудничества; проведение работ по правовой охране объектов промышленной и интеллектуальной собственности, а также по продаже лицензий и рационализации; комплектование справочно-информационного фонда, информационное обеспечение

научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; библиотечное обслуживание; издательская деятельность; рекламная и выставочная деятельность; пропаганда научно-технических достижений, создание положительного имиджа института; регистрация и учёт научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; обеспечение переводом международно-технического сотрудничества, информационной, издательской и рекламной деятельности; размножение научно-технической и конструкторской документации.

Совершенствование и освоение новых технологических процессов продолжалось. В 1989–1990 годах в фотомеханической группе производственного участка была разработана и внедрена новая технология получения с цветных оригиналов цветоделённых негативов с применением проекционных растров и на печатных установках получены первые образцы каскадных цветоделительных копий. Производственный участок расширили за счёт коллектива светокопировального участка. Были приобретены новые навыки, знания. Но и появились новые, более сложные работы. Стали печатать сборники трудов конференций и семинаров. С 1992 года производственный участок был назван бюро по размножению и переплёту и возглавила его И.В. Карнаухова. В бюро трудились печатники В.В. Шепаров и Н.К. Можилон; электрофотографы Н.И. Ревзина, Т.З. Чеха, Т.И. Ильина, З.И. Гатина, Н.М. Чертухина и С.М. Мозгова; переплётчики Н.В. Лебедева, Ф.Ш. Багаутдинова, С.В. Глушак, Л.И. Сальникова, Е.С. Шепелёва, Е.В. Уханова, диспетчер Т.В. Слепцова и др. Сотрудниками бюро успешно освоены новые на тот момент цифровые, широкоформатные копировальные аппараты, в том числе и цветные, ризографы. За годы работы сотрудниками бюро размножения и переплета было отпечатано свыше 2 000 экземпляров монографий и 4 000 экземпляров сборников трудов, 60 000 томов сборников докладов к международным конференциям, 1 700 экземпляров годовых отчётов. Выпущено более 15 млн копий научно-технической документации и чертёжно-конструкторской документации, несколько десятков тысяч адресных папок и множество других наименований печатной и переплётной продукции.

В сентябре 1987 года ушла Л.П. Хайруллина и заведующей машбюро стала самая опытная машинистка Г.К. Степанова. Под её руководством учились работать на новых пишущих машинках «Роботрон-оптима». В начале 1994 года машинистки освоили вторую профессию — наборщик на машинах. Группа, в которой тогда работали Н.И. Золотухина, Г.К. Степанова, Г.В. Осипова и Л.Д. Пастухова, относилась к редакционно-издательскому бюро под руководством Н.И. Крайновой. В этом бюро работали Л.Л. Лялюшкина, Ю.В. Волкова, С.Н. Бобкина, Л.Н. Кривошеева, С.М. Мозгова, Н.И. Зебарева, Л.Н. Никишина, Е.В. Иванченко, Е.А. Гайдукова, Т.А. МаксUTOва. Уже гораздо позже пришли в редакционно-издательское бюро редакторы О.А. Горбач, Н.Д. Рязанова и Н.В. Чертухина, возглавившая бюро после ухода Н.И. Крайновой.

За прошедшие годы редакционно-издательской группой, входившей в разные годы в состав различных структурных единиц института, подготовлены к печати и изданы 860 препринтов, 48 выпусков сборника ВАНТ, 31 монография, 108 обзоров, 60 выпусков сборника научных трудов НИИАРа, 23 отчёта об основных

исследовательских работах (научных годовых отчёта) и девять публичных годовых отчётов, в том числе и на английском языке, а также множество других научных материалов (брошюры, труды конференций и семинаров, каталоги), рекламных изданий и календарей. В каждом издании — частица труда всех тех, кто выполнял сложную и ответственную работу по подготовке рукописей к выпуску: редакторов, корректоров, наборщиков, художников и др.

Новые веяния отразились на работе всего отдела. Изменения в законах, регулирующих инновационную деятельность, и современные информационные технологии внесли свои изменения и в деятельность патентного бюро. Его сотрудники при выполнении своих основных функций, как-то: правовая охрана объектов промышленной собственности, созданных в институте; проведение патентных исследований при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; оформление документации, связанной с использованием объектов промышленной собственности института; методическое обеспечение рационализаторской деятельности в институте; консультирование по правовым вопросам создания и использования объектов промышленной собственности, соблюдения прав авторов разработок, стали использовать отечественные и зарубежные электронные базы данных патентных документов. За годы существования института более 1 800 технических решений были заявлены как изобретения и более 1 100 из них признаны таковыми. С начала действия патентного закона (1992 год) институтом получено около 300 патентов на изобретения и полезные модели.

С 1984 года за организацию научно-технических мероприятий отвечала Г.А. Котикова. При её непосредственном участии были проведены четыре отраслевые конференции по реакторному материаловедению, три международных семинара Ядерного общества России, большое количество рабочих совещаний Координационного научно-технического совета по различным вопросам ядерной науки и техники. Мероприятия были хорошо организованы, продумана не только научная, но и культурная программа. В павильоне «Атомная энергия» Выставки достижений народного хозяйства СССР в Москве в июне 1986 года была организована выставка достижений «НИИАР имени В.И. Ленина — 30 лет», состоящая из 22 стендов, 16 экспонатов. Специалисты института (В.Б. Иванов, Ю.В. Чечёткин, В.А. Куприенко, Н.В. Маркина, О.С. Бендерская и др.) читали лекции о направлениях деятельности института и результатах исследований. Все экспонаты НИИАР были разработаны и изготовлены руками сотрудников группы технического макетирования под руководством Б.А. Демидова: П.И. Жирохова, М.А. и А.А. Алмакаевых. На многие специализированные выставки, проводимые в Москве, Санкт-Петербурге, Обнинске ездили на автобусах группами, привлекая специалистов к участию в конкурсах патентов, изобретений и необычных разработок (С.А. Семёнкина). С 1982 года в копилке НИИАРа 15 дипломов I степени, 41 золотая, 49 серебряных и 119 бронзовых медалей, 63 медали «Лауреат Всероссийского выставочного центра», две юбилейные медали выставки «Атомная промышленность» и два знака «Лауреат салона "Архимед"».

С 1992 года бюро информационного обеспечения, в состав которого входила и научно-техническая библиотека, возглавила Ю.Т. Краснощёлова (Н.А. Тейковцева, Л.Г. Батурина, И.Н. Борисова, Н.Е. Служаева, Н.Г. Фёдорова, М.В. Цыканова).

С 1999 года отдел патентных исследований и научно-технической информации был переименован в отдел международной деятельности, информации и промышленной собственности. Начальником его стал В.А. Краснощёлов.

В период с 1970 по 1999 год в институте было организовано и проведено более 50 научно-технических конференций, семинаров и совещаний. В 1999 году в связи с созданием Координационного научно-технического совета по реакторному материаловедению и назначением НИИАРа головной организацией Минатома России по данному направлению в составе отдела создаётся бюро «Секретариат научно-технических советов и центров» под руководством Г.А. Котиковой. За свою историю сотрудниками бюро было организовано большое количество научно-технических мероприятий, среди них восемь конференций, в том числе международные, пятнадцать заседаний и девять семинаров Координационного научно-технического совета по реакторному материаловедению, а также более 140 других семинаров, совещаний и приёмов официальных делегаций.



Сотрудники отдела международной деятельности, информации и промышленной собственности (2006 г.)

После отсоединения бюро международной деятельности, в состав которого вошла и группа переводов, отдел вновь стал называться отделом патентных исследований и научно-технической информации. Позже из состава отдела вывели патентную группу (после В.Ф. Быстрых её в разное время возглавляли Б.А. Романов, Н.Е. Осипова, Е.М. Бильданова, в настоящее время — Д.А. Корнилов), а отдел назвали информационно-издательским. Возглавила новый отдел С.С. Шипулина. Позднее в пресс-службу были переведены дизайнеры-художники (В.М. Недашковский, И.П. Федотова) и специалисты редакционно-издательской группы (Н.Д. Рязанова, Н.В. Чертухина, Т.А. МаксUTOва, Л.Н. Никишина), а в состав отдела вошли новые структурные единицы. Эти изменения отразились в названиях: департамент стратегического развития и научно-технической деятельности и управление научно-технической деятельности (руководитель В.А. Лебедев), департамент научно-технической и международной деятельности (руководитель Ф.А. Григорьев).

Структурным звеном департамента научно-технической и международной деятельности является отдел научно-технической информации. Деятельность отдела направлена на формирование и поддержку информационной базы научных исследований и разработок, проводимых в АО «ГНЦ НИИАР», создание условий для обеспечения доступа к источникам информации различного уровня. Важным направлением деятельности отдела также является тиражирование разнообразной полиграфической продукции для информационного обеспечения различных мероприятий и подразделений института. Сложно переоценить масштаб подготовительной работы, проводимой ответственными, отдающими частицу себя на благо родного института сотрудниками группы научно-технической информации, в преддверии мероприятий, имеющих важное научное и практическое значение. Все научные и культурные мероприятия как городского и областного, так и всероссийского и международного уровня проводятся при непосредственном организационном участии сотрудников департамента. Одной из структурных единиц отдела является научно-техническая библиотека, общий фонд которой составляет около 145 000 единиц хранения, в том числе 53 000 книг. Фонд библиотеки является уникальным, так как содержит большой массив научных изданий с момента создания института — 1956 года. Многие издания являются единственными в своем роде. Кроме книг в фонде библиотеки — отечественные и иностранные журналы, спецвиды (препринты, переводы), иностранная литература, электронные носители. В фонде ограниченного пользования — отчёты, обзоры, переводы, диссертации и авторефераты, информационные бюллетени. Для удовлетворения запросов читателей на литературу, отсутствующую в фонде, используется межбиблиотечный абонемент. Научно-техническая библиотека НИИАРа является абонентом Государственной публичной научно-технической библиотеки, Ульяновской государственной областной библиотеки (Дворец книги). Справочно-поисковый аппарат библиотеки института содержит более 180 000 записей,

а электронный каталог библиотеки, который ведётся с 2012 года, включает более



Фонд периодических изданий научно-технической библиотеки

30 000 записей. Библиотека пропагандирует свои фонды, организовывая тематические выставки. Для повышения оперативности обслуживания пользователей внедряются современные информационные технологии. Библиотека подключена к локальной сети института и Интернету. Читателям открыт доступ как к внутренним, так и внешним базам данных. Открыта интранет-страница научно-технической библиотеки, где читатели в оперативном по-

рядке могут узнать о поступивших новинках литературы, отчётах о научно-исследовательских работах сотрудников института, периодических изданиях, выписанных библиотекой. Актуальным и практически значимым направлением работы библиотеки является ведение информационно-библиографической базы публикаций сотрудников НИИАРа, а также обеспечение доступа к электронным библиотекам всероссийского и международного уровня. В целях сохранности научного наследия института в научно-технической библиотеке организована работа по оцифровке архива специализированного фонда и формированию коллекции, размещаемой на едином отраслевом портале научно-технической информации Госкорпорации «Росатом».

Отдельные направления деятельности со временем расширялись. Новые реалии диктовали новые задачи, для решения которых создавались новые подразделения. Была создана группа связей с общественностью. Позже, во времена, когда директором института был А.Ф. Грачёв, эта группа стала самостоятельным структурным подразделением, а к празднованию пятидесятилетия института в мае 2003 года был создан отдел по связям с общественностью (руководитель В.Ф. Масный) из сотрудников бюро рекламы и пропаганды отдела международной деятельности, информации и промышленной собственности и существовавшей группы связей с общественностью. Так возникла пресс-служба (руководитель Г.Л. Павлова) или управление внутренних и внешних коммуникаций (руководитель Ю.А. Валиков), ныне — управление коммуникаций (руководитель А.П. Волкова).

Ещё с конца восьмидесятых годов прошлого века взаимодействие со средствами массовой информации в атомной отрасли играло особую роль. Отрасль, которая исторически окутана массой легенд и мифов, и сегодня вызывает у людей большое количе-

ство вопросов и рождает массу стереотипов. Стоит отметить, что периоды руководства В.Б. Иванова и А.Ф. Грачёва выпали на наиболее напряжённое, непростое время. Отношение к атомной отрасли было крайне отрицательное, что зачастую подогревалось разного рода политическими и финансовыми спекулянтами. Важность просветительской работы в этом направлении понимали руководители института того периода. Так, известный димитровградский журналист С.Б. Семёнычев в одном из своих интервью с директором НИИАРа А.Ф. Грачёвым в ответ на вопрос о взаимоотношениях с общественностью и средствами массовой информации, получил ответ: «Я всегда открыт для журналистов. Более того, мы создали специальный отдел, задача которого — взаимодействие с общественностью, в том числе и со средствами массовой информации. Если мы хотим, чтобы общественность нас поняла и приняла, то мы должны активно вести эту работу. Понимаю, что задавая этот вопрос, вы прежде всего имели в виду отношение к публикациям М.А. Пискунова\*. Обидно, что нам приходится отвлекаться от основной работы и тратить время на доказывание своей правоты. Должен отметить, что мы не проиграли ни одного суда с Пискуновым. С человеческой точки зрения мне трудно его осуждать, так как это его единственный источник добывания средств к существованию. Он отрабатывает свой хлеб. Считаю, что его налоги должны поступать в казну института, так как именно на нас он зарабатывает деньги. Что он будет делать, если институт закроют? Так что он заинтересован в нашем процветании и развитии». О подобной ситуации писал и В.Б. Иванов в своей книге «Иванов — фамилия государственная»: руководство института, проявив инициативу, старалось проинформировать горожан о ситуации в НИИАРе, а средства массовой информации в погоне за сенсациями превращали всё во всемирную катастрофу. Для преодоления радиофобии необходимы время и проведение добросовестной просветительской работы. И такая большая работа по информационному просвещению жителей города была проделана сотрудниками отдела по связям с общественностью под руководством В.Ф. Масного: М.В. Поляковой, Г.Л. Павловой, О.Ю. Поляковой, Г.А. Карнецын, Р.В. Гуселетовой, Н.В. Зюзиной, Е.Б. Гремячкиной, С.А. Семёнкиной, В.А. Усовым, А.А. Алмакаевым, Е.А. Покровской, О.Н. Святкиной, Е.А. Сутягиной, С.В. Казменко, В.М. Недашковским, И.П. Федотовой, Н.А. Костюченко, А.Л. Сорокиной, Б.И. Гайдуровым, В.Г. Кусиковым. Отдел занимался информированием населения о деятельности института через средства массовой информации, экскурсии, лекции, различные акции, конкурсы, сайт института в сети Интернет; пропагандой научно-технических и производственных достижений института, рекламой продукции института на внутреннем и внешнем рынках; разработкой и контролем за соблюдением единого фирменного стиля института, организацией учебно-методических, информационных, рекламных, исторических фото- и видеоматериалов для обеспечения деятельности подразделений института, выпуском буклетов

---

\* М.А. Пискунов — собственный корреспондент «Ульяновской правды», а затем областной «Народной газеты». Автор серии негативных публикаций о НИИАРе в девяностые годы, выступал против развития атомной энергетики.

и информационных материалов. В тяжёлые девяностые годы и вплоть до 2015 года пресс-секретарем института была Г.Л. Павлова — грамотный, высококвалифицированный специалист и неизменный спутник директоров института, чья информационная политика была сосредоточена в её надёжных руках. В этот же период ряд общественно значимых проектов был реализован сотрудницей отдела О.Ю. Поляковой. Ей принадлежит идея открытия в Димитровграде Детской ядерной академии. С приходом А.В. Бычкова отдел по связям с общественностью был разделён на две структурные единицы: службу связей с общественностью, состоящую из трёх бюро: общественных связей (руководитель Г.Л. Павлова); музейно-выставочной деятельности (руководитель С.А. Семёнкина); видеосъёмки и дизайна (руководитель С.В. Казменко) — и специалистов, которые обеспечивали решение экономических и материально-технических вопросов (Н.П. Карнецын и М.В. Полякова), и рекламный отдел.

Сотрудниками отдела по связям с общественностью организованы и проведены сотни экскурсий на объекты института; десятки технических туров, семинаров для учителей и учащихся города с участием ведущих специалистов института, выездов в школы города и района с чтением лекций и показом видеофильмов о деятельности института. Подготовлены к публикации в средствах массовой информации сотни материалов; организованы многочисленные конкурсы среди населения, посвященные темам, связанным с деятельностью НИИАРа, разработана концепция интернет-страницы института; проведены десятки выставок; организован фонд (для музея института) архивных и исторических материалов; подготовлено множество рекламных, исторических изданий, календарей, сувенирной и корпоративной продукции, проведена видео- и фотофиксация торжественных, общественно значимых и массовых мероприятий и работ в рамках выполнения договоров и пр.

Сегодня отношение представителей средств массовой информации и общественности к атомной отрасли изменилось, но говорить о полной лояльности, конечно, нельзя. Именно поэтому создание благоприятного общественного мнения по основным направлениям деятельности АО «ГНЦ НИИАР» и отрасли в целом, информационное сопровождение исполнения программы деятельности и крупных инвестиционных проектов Госкорпорации «Росатом», пропаганда преимуществ атомной энергетики и промышленности, а также российских атомных технологий на российском и зарубежном рынках — одни из основных задач управления коммуникаций. В этих обстоятельствах особую роль занимает выставочная деятельность отдела. НИИАР — это активный участник крупных международных и российских специализированных выставок.

С 2011 года в институте действует новая музейно-выставочная экспозиция, за эти годы её посетили около 8 000 человек, представители более 25 государств. Самые частые гости — это старшие школьники, студенты, командированные сотрудники, учителя и врачи. Помимо посещения музея проводятся экскурсии на действующие объекты предприятия (реакторные установки, производственные участки) и места строительства новых объектов института. Неизменным экскурсоводом является ведущий специалист

управления коммуникаций С.А. Семёнкина, знание предмета и профессионализм которой никого не может оставить равнодушным.



Современная музейная экспозиция АО «ГНЦ НИИАР»

Научно-исследовательский институт атомных реакторов — одно из немногих предприятий отрасли, в котором задействованы практически все каналы коммуникации: внутренний и внешний сайт, ТВ-плазмы, доски объявлений и радио — старейшее средство связи.

История радио НИИАРа началась в 1962 году с возникновения радиоузла жилищного посёлка, и уже через год редакция радиовещания Научно-исследовательского института атомных реакторов имени В.И. Ленина начала свою работу. Первоначально на общественных началах, под шефством комсомола. Функцию редактора радио и журналиста выполняла Р.Н. Кузнецова. Только в начале семидесятых были созданы общественный совет радиовещания и корпункт, которые возглавила В.И. Лузина, журналист и диктор в одном лице. В состав совета и корпункта входило более сорока человек со всех научных и вспомогательных подразделений института. Они участвовали в подготовке материалов для передач. Технические работники, операторы записи были из числа сотрудников цеха связи НИИАРа. Для улучшения качества ведения передач была оборудована студия радиовещания в помещении радиоузла. Собственными силами работников радиоузла и цеха связи института был произведён акустический расчёт помещений студии, их акустическая обработка, монтаж и наладка аппаратуры. Дикторами редакции радиовещания были А.Д. Воронин, в то время руководитель народного театра в Доме культуры «Строитель», и А.И. Семёнкина, учитель русского языка и литературы школы № 23 Димитровграда. Их профессионализм высоко оценил Ю.Б. Левитан, легендарный диктор Всесоюзного радио, и даже приглашал на работу в Москву. Редакторы радиовещания два раза в год проходили курсы обучения в Государственном Доме радиовещания и звукозаписи, откуда привозили музыкальный материал для пополнения фонотеки. Первые выпуски передач редакции радиовещания выходили один раз в неделю, по пятницам, утром и вечером,

и транслировались на промплощадку института и соцгород. В числе постоянных рубрик значились: «Новости», «Работа среди детей», «Медицинский бюллетень», «Родная природа», «Спортивный выпуск», «Ветераны труда», «Закон есть закон», «Обзор книг по атомной тематике». Насыщенной и интересной была жизнь радио НИИАРа советского периода. После В.И. Лузиной в 1989 году редактором радиовещания стала Е.Б. Гремячкина, которая работала на радио вплоть до 2013 года. В институте её называли голосом и настроением НИИАРа. Она же долгое время была ведущей всех корпоративных мероприятий. В 1998 году вся техническая работа по выпуску радиопередач перешла в профессиональные руки Р.Р. Гиматова, который трудится по сей день, совмещая основную деятельность по монтажу, выпуску передач в эфир с работой в качестве диктора. Радио по-прежнему остаётся одним из самых оперативных каналов коммуникации. Несмотря на небольшой коллектив, непосредственно работающий над подготовкой радиопередач (Р.Р. Гиматов и А.П. Волкова), выпуски с новостями НИИАРа и отрасли выходят три раза в неделю утром и в послеобеденное время. Традиционно к значимым датам и праздникам готовятся специальные выпуски передач, реализуются различные проекты. К примеру, в рамках празднования 70-летия Победы в Великой Отечественной войне были подготовлены интервью с ветеранами отрасли и победителями конкурса «Наш Человек труда», проведён конкурс чтецов и многое другое.



Сотрудники управления коммуникаций  
на праздновании 60-летия НИИАРа

В своей современной структуре силами сотрудников управления коммуникаций обеспечивается редакционно-издательская деятельность. В ведении небольшого коллектива: ведущего специалиста по редакционно-издательской деятельности Н.В. Чертухиной, редактора Т.А. Максutowой, ведущего инженера Л.Н. Никишиной —

редактура и корректура всех презентационных изданий, подготовка к печати отчётов, сборников научных трудов, выпуск книг и брошюр. Большая творческая работа сосредоточена в талантливых руках художников-конструкторов-дизайнеров — В.М. Недашковского и М.Н. Мурзиной. Вклад в это направление работы в своё время внесла И.П. Федотова, которая также преподавала изобразительное искусство детям Димитровграда.

Отдельная часть работы управления коммуникаций посвящена развитию корпоративной культуры, в том числе для осознания сотрудниками своей роли в этом процессе. Силами отдела реализуется комплексное информирование персонала и широких кругов общественности о деятельности института, его стратегии, долгосрочных и краткосрочных задачах, разрабатываются и претворяются в жизнь различные проекты, направленные на улучшение коммуникационного климата на предприятии. Управление коммуникаций — это своего рода посредник между руководством и работниками, необходимый инструмент для координации деятельности всех подразделений института, механизм для налаживания внутренних контактов. Ведь в атомной отрасли построение качественной системы внутренних коммуникаций имеет особенное значение: от взаимодействия сотрудников и руководства, подразделений, предприятий между собой зависит не только развитие атомной промышленности, но и её безопасность.

*Чудо-отдел. Женский, благословенный, прекрасный. Какое это чудо — отдел, состоящий почти целиком из женщин. И раньше со мною рядом в труде были женщины, но в виде редких включений в мужском составе. А тут — сонмище. Опять уникам... Каждый на своём месте не просто доблестно, исправно работал, и этого было бы достаточно. Но каждый старался сделать умную добрую закавыку, как Левша у Лескова не просто подковал блоху, но на гвоздиках ещё и свои вензеля выковал. И почему бы это? Дух был такой вселён что ли? Веселее жить так, видимо.*

Из воспоминаний В.И. Клименкова

## Глава 7



**ОНИ БЫЛИ ПЕРВЫМИ**

*Современные великие учёные — это истинные поэты.*

Р. Роллан

*Между наукой и жизнью существует теснейшая,  
неразрывная, ни для одной из них нимало  
не унизительная связь: чем более наука служит жизни,  
тем более жизнь обогащает науку.*

Г.В. Плеханов

После выхода в свет постановления Совета Министров СССР от пятнадцатого марта 1956 года набор рабочих, служащих, инженеров и научных работников предприятия п/я 30 осуществлялся переводом специалистов из других предприятий Министерства среднего машиностроения и ведомств; целевым направлением выпускников вузов и за счёт привлечения местного населения. Из документов отдела кадров НИИАРа видно, что в 1956–1963 годах были приняты на работу:

- в июле 1956 года — семь человек переводом с производственного объединения «Маяк»: В.Д. Буданова, Ф.Г. Герасимов, Г.Л. Губин, В.Н. Егорочкин, К.Е. Марковчев, А.М. Шепелев, Н.В. Рожков;
- в августе 1956 года — первый молодой специалист А.И. Середин, выпускник Саратовского дорожно-строительного института;
- в течение 1957 года прибыли первые семейные пары: Ю.С. и Е.В. Мальковы, В.Р. и М.А. Мирошники, С.И. и Л.М. Мокшины, А.К. Широшкин с супругой и др.;
- в июле 1957 года прибыли на работу с ПО «Маяк» В.А. Морозов и М.А. Борисов, назначенные начальником и главным инженером реактора ВК-50 соответственно.
- второго октября 1957 года Ю.Ф. Власов (ПО «Маяк») назначен на должность старшего инженера реактора ВК-50;
- в ноябре 1957 года заместителем директора по общим вопросам был назначен Г.С. Мурашев (ПО «Маяк»);
- в ноябре 1957 года прибывает большая группа (27 человек) молодых специалистов, прошедших необходимую стажировку в Физико-энергетическом институте на реакторе первой атомной электростанции в г. Обнинске: А.А. Кустиков, З.И. Кустикова, А.И. Кузнецов, Ю.Д. Владимиров, Б.Н. Нечаев, В.Н. Урюпин, В.А. Печеницын, В.Т. Бухтеев, Е.В. Козин, А.Ф. Пивоваров, В.Н. Бушмакин, В.И. Сабельников, П.Д. Андреев, Н.П. Симиряков, В.Н. Голиков, Г.М. Иванов, Ю.В. Елисеев, В.В. Спичак, П.С. Закамалдин, Н.Д. Кошелев, В.А. Коломейцев, Ю.Н. Железнов, Н.Д. Кондаков, В.И. Чугреева, О.С. Суслов, А.Н. Филатов, Ю.С. Лебедев;

- в феврале 1958 года прибыл с ПО «Маяк» Д.С. Юрченко, назначенный ранее директором п/я 30, но задержавшийся в связи с аварией на ПО «Маяк»;
- в феврале 1958 года заместителем главного энергетика назначен Ю.Я. Захаров переводом с ПО «Маяк»;
- в марте 1958 года главным инженером управления капитального строительства назначен А.П. Артамонов, в 1960 году на это место был назначен Ю.Л. Кизин переводом с ПО «Маяк»;
- в октябре 1958 года Д.Д. Артамонов назначен главным механиком п/я 30 переводом с ПО «Маяк»;
- в конце 1958 и начале 1959 года после прохождения стажировки на первой АЭС прибывают очередные группы (всего 25 человек) молодых специалистов: А.М. Щетинин, В.С. Фофанов, И.В. Фофанова (Яковлева), С.М. Баранов, В.Е. Бочаров, Б.Т. Викулин, Е.В. Борисюк, В.А. Борисюк, Ю.В. Чечёткин, З.И. Чечёткина, Е.А. Родионов, Н.С. Родионова, Ю.А. Летницкий, Б.В. Летницкая, А.В. Инчагов, Л.А. Инчагова, В.Е. Шмелёв, А.А. Лисенков, А.И. Гаврилин, А.Г. Цыкунов, В.М. Цыкунова, В.В. Майоров, Л.П. Майорова, Ю.В. Василевич, Т.И. Василевич;
- в январе 1959 года под руководством В.Н. Нефёдова, прибывшего с ПО «Маяк», была организована физическая лаборатория, основной целью которой являлась подготовка пусковых работ по реактору СМ;
- в январе 1959 года прибывает из ВНИИЭФ С.В. Метальников и начинается строительство комплекса очистных сооружений;
- в январе 1959 года создан отдел контрольно-измерительных приборов и автоматики, первым его руководителем становится В.В. Мукин, прибывший с ПО «Маяк»;
- в июле 1959 года предприятие п/я 30 было переименовано в Научно-исследовательский институт атомных реакторов;
- в июле 1959 года заместителем директора по капитальному строительству назначен И.С. Оборин переводом из г. Майли Сай (Киргизия). В марте 1962 года его заменил И.М. Тихомиров, а затем на эту должность был назначен Г.С. Цветков переводом с ПО «Маяк»;
- в 1959 году в штат горячей лаборатории были зачислены М.Д. Дерезизов и З.И. Чечёткина;
- в сентябре 1959 года Б.П. Рудомёткин был назначен начальником отдела рабочего снабжения, в 1961 году заместителем директора по рабочему снабжению становится С.И. Галант;
- в сентябре 1959 года главным бухгалтером предприятия назначен А.Ф. Устинов, прибывший переводом с предприятия г. Свердловска-45;
- в ноябре 1959 года переводом из г. Майли Сай на должность начальника штаба гражданской обороны назначен М.Э. Нечипоренко;
- с 1960 года началась наладка оборудования; поскольку часть его имела высокий гриф секретности, была организована защитная зона, введена система пропусков;

- в феврале 1960 года в связи с быстрым ростом числа работающих возникла необходимость создания отдела кадров, который возглавил Г.С. Мурашев; В.С. Калинин назначен заместителем директора НИИАРа по общим вопросам;
- в феврале 1960 года начальником создаваемого ремонтно-механического завода назначен М.Д. Алёшин (ПО «Маяк»), с декабря 1962 года начальником РМЗ стал В.Г. Садун, прибывший из СХК (Томск-7);
- в 1960 году переводом с ПО «Маяк» приехали Г.И. Комаров и М.А. Матюнин;
- в феврале 1960 года прибыл на работу В.А. Цыканов как научный руководитель реактора СМ. С марта 1962 года он назначен начальником реакторной установки СМ;
- в марте 1960 года были созданы при реакторе СМ первые научные лаборатории: В.Н. Нефёдов возглавил лабораторию ядерной спектроскопии; Л.И. Новак — лабораторию нейтронографии твёрдого тела; Ю.В. Чушкин — лабораторию организации облучения, изготовления облучательных устройств в вертикальных каналах реактора СМ. В апреле 1960 года под руководством В.М. Грязева создана при реакторе СМ инженерно-физическая лаборатория. В августе 1962 года под руководством Н.Г. Кочерыгина создана лаборатория короткоживущих изотопов, которая через несколько месяцев была включена в состав лаборатории В.Н. Нефёдова;
- в марте 1960 года с ПО «Маяк» прибыл на работу П.Г. Аверьянов в должности главного инженера реактора СМ;
- в марте 1960 года официально образован автотранспортный цех, первым начальником которого назначен И.Т. Старкин, до этого работавший в автоколонне п/я 83 (МСУ);
- в апреле–октябре 1960 года на работу прибывают молодые специалисты, выпускники различных вузов: Р.Я. Рожновский, Е.П. Клочков, В.П. Бурукин, Ю.И. Цветков, Ю.М. Головченко, Е.А. Грачёв, Т.М. Зиганшин, Е.Ф. Давыдов, Т.М. Гусева, Р.Е. Федякин, Н.А. Асеев, Л.И. Новак, Н.А. Владимирова (Добролюбова), П.Г. Привалова (Зубарева);
- в октябре 1960 года с ПО «Маяк» приезжают В.И. Клименков, назначенный начальником материаловедческой лаборатории, и его жена Н.А. Клименкова, включённая в штат сотрудников управления реактора СМ;
- в декабре 1960 года главным инженером института назначен А.Р. Белов, прибывший из г. Красноярск-26 (ГХК);
- в январе 1961 года заместителем директора по научной работе назначен Е.Д. Воробьёв;
- в феврале 1961 года заместителем главного инженера здания 120 (будущее радиохимическое отделение) назначается А.П. Феофанов. Вслед за ним прибывают из г. Нарвы В.И. Карасёв, В.Б. Мишенёв, Г.И. Кузнецов, Н.С. Курочкин;
- в мае 1961 года исполняющим обязанности главного энергетика назначен В.М. Вертейм;
- в июне 1961 года начальником здания 170, установки МИР, становится Г.С. Цветков;

- в августе 1961 года создан производственно-технический отдел, начальником которого назначен А.И. Назаров, прибывший из г. Арзамаса-16 (нынешний ВНИИЭФ).
- в 1961 году главным инженером здания 118 назначен А.И. Зебарев, в штат лаборатории зачислены Б.П. Захаров, В.Г. Базюкин (ПО «Маяк»).

В 1961–1963 годах в НИИАР приехали на работу специалисты с других предприятий Министерства среднего машиностроения, а также молодые специалисты — выпускники ведущих высших учебных заведений страны:

- в 1961 году приехали молодые специалисты: В.М. Косенков, В.К. Шамардин, В.П. Анисимов, В.Н. Сюзёв, Ю.И. Задворных, О.И. Иванов, В.М. Раецкий, Г.В. Чурин, Ю.П. Кормушкин, Г.И. Кормушкина, Б.А. Залётных, Г.И. Социлин, Р.А. Юськаев, В.А. Куприенко, В.П. Петухов, З.Е. Островский, В.А. Коростылёв, В.И. Куренков, А.С. Кусовников, С.Д. Антипов, В.Я. Габескирия, В.И. Купряхин, С.И. Бабич, В.К. Засуха и специалисты из других предприятий: Ю.Ф. Кулешова, М.А. Кулешов, И.А. Левин, В.П. Лосев, Ю.А. Башмаков, Н.Ф. Шкаредный, В.А. Зверев, А.И. Злобин, Г.А. Тимофеев, Ю.С. Соколовский, И.П. Фенюк, В.А. Сафонов, А.В. Митрюшин, А.П. Феофанов, Ю.Ф. Баронкин, В.Д. Пирогов;
- в 1962 году исполняющим обязанности начальника здания 120 назначен М.А. Баженов, в 1963 году он становится главным инженером здания 120, а начальником РХО становится Г.И. Яковлев, прибывший в НИИАР из Института атомной энергии и получивший незадолго до приезда учёную степень доктора химических наук;
- в феврале 1962 года был создан цех связи, первым начальником которого стал К.Л. Барабанов, прибывший из г. Красноярска-26;
- в 1962 году приехали молодые специалисты: А.Я. Завгородний, В.И. Прохоров, Е.А. Крылов, В.А. Казаков, Н.П. Матвеев, В.Н. Шулимов, А.И. Петров, В.Н. Неверов, И.П. Анохин, Б.А. Морозов, В.И. Купряхин, Н.И. Белов, В.С. Сроелов, В.А. Мотоваров, В.Ф. Балашов, В.М. Илясов и специалисты с других предприятий: А.И. Забелин, В.И. Зинковский, В.Н. Леонов, Н.Г. Морозов, В.А. Назаркин, К.Л. Барабанов, В.Ф. Багрецов, Б.А. Морозов, В.П. Лосев, Н.С. Склярлов, Н.П. Лосев, В.И. Кирсанов, Б.В. Самсонов, М.Г. Мокеичев, В.В. Шикин, Т.В. Кравченко, Н.В. Шувалова;
- в августе 1962 года начальником строящейся установки АРБУС назначен А.М. Смирнов, в апреле 1963 года главным инженером назначен Е.В. Борисюк, заместителем главного инженера установки стал В.Д. Тетюков;
- во второй половине 1962 года в радиохимическом комплексе создаются: лаборатория экстракционных процессов под руководством Б.А. Морозова, масс-спектральная лаборатория под руководством В.Я. Габескирия, спектральная лаборатория под руководством Г.И. Семёнова;
- в 1962 году в здании комплекса очистных сооружений под руководством В.Ф. Багрецова организована лаборатория химических процессов;
- в августе 1962 года под руководством А.М. Шиманского создана лаборатория ядерной электроники;

- в октябре 1962 года в материаловедческом комплексе была создана лаборатория под руководством А.И. Забелина;
- в 1963 году в радиохимическом отделении создаются лаборатории: физико-химических исследований под руководством А.Г. Рыкова, лаборатория комплексных соединений под руководством И.А. Лебедева, изотопная лаборатория под руководством А.А. Зайцева, мишенная лаборатория под руководством В.Ф. Горбунова, аналитическая лаборатория под руководством Ю.И. Грызина, рентгеноструктурная лаборатория под руководством И.И. Капшукова, технологическая лаборатория под руководством М.И. Друзина;
- с ноября 1963 года исполняющим обязанности начальника реакторной установки МИР назначен И.Д. Куликов, являвшийся во ВНИПИЭТ (ранее ГСПИ-11) одним из ответственных проектировщиков этого реактора;
- в 1963 году начальником комплекса очистных сооружений утверждён С.И. Захаров, прибывший из г. Красноярска-26;
- в материаловедческой лаборатории в августе 1963 года создана лаборатория ядерного топлива под руководством И.Г. Лебедева, в сентябре 1963 года — лаборатория металлургических процессов под руководством главного инженера НИИАРа А.Р. Белова, в 1964 году — металлографическая лаборатория под руководством С.Н. Вотинава;
- в ноябре 1963 года начальником материаловедческого отдела назначается М.А. Демьянович;
- в конце 1963 года создаётся расчётно-методическая лаборатория под руководством В.М. Гординой;
- в 1963 году приехали молодые специалисты: Ю.Г. Спиридонов, А.И. Башмачников, В.И. Поляков, А.С. Ладзин, И.Г. Кобзарь, В.В. Голушко, Р.И. Коротков, Ю.В. Чернобровкин, В.И. Кузьмин, А.В. Худяков и специалисты из других предприятий: В.Б. Ермолаев, В.М. Ещеркин, В.М. Железный, Ю.М. Хлюстов, В.Б. Иванов, Ю.И. Грызин, В.В. Грызина, В.В. Егоров, В.И. Карасёв, И.И. Капшуков, В.Я. Васильев, В.И. Брежнев, Б.М. Макаров, В.П. Почечура, В.Ф. Горбунов, С.Г. Лабькин, Н.П. Осипенко, Н.С. Косулин, Б.В. Кульпин, В.Я. Кравченко, М.И. Друзин, Б.Е. Ярославцев, Г.И. Кузнецов, В.С. Иванович.

Если к началу 1960 года общее число сотрудников п/я 30 составило около 400 человек, то к концу 1963 года общая численность превысила 3 500 человек, в том числе около 100 молодых специалистов были из различных ведущих вузов страны. Почти все они прошли стажировку на первой АЭС в г. Обнинске.

### **Производственная деятельность первопроходцев**

Прибывающих специалистов зачисляли в штатное расписание объектов исследовательского комплекса (здания 106, 118, 120). В начале 1958 года была сформирована под руководством В.В. Мукина первая группа эксплуатации реактора СМ. Персонал группы занимался так называемым курированием и большую часть времени проводил

в командировках, решая вопросы проектирования и строительства. В 1958 году приехали специалисты, имевшие опыт эксплуатации промышленных реакторов на ПО «Маяк»: Ю.А. Соловьёв, А.Д. Желонкин, П.Ф. Карягин, В.Д. Тетюков. В обязанности молодых специалистов, да и всего эксплуатационного персонала входило курирование строительно-монтажных работ, изучение проектной документации и выявление грубых ошибок в ней, создание технологических схем всевозможных систем реактора и подготовка инструкций по их эксплуатации. Каждая из служб эксплуатации отвечала за конкретный участок: первый контур, центральный зал, газовое хозяйство, обратное водоснабжение, петлевые контуры, пульта управления, дозиметрия, вентиляция и т.д. Участие в строительстве заключалось в изучении проектной документации, в том числе при командировках в научные, конструкторские и проектные организации (НИКИЭТ, ВНИПИЭТ, ФЭИ, ОКБ «Гидропресс», МЗП, ОКБМ, ИАЭ и др.). Кураторы принимали участие в еженедельных оперативках, которые проводили руководители строительно-монтажного управления и монтажных организаций. Главным документом куратора была ведомость недоделок, которая объективно показывала положение дел, поскольку строители и монтажники часто перекладывали вину друг на друга.

Молодые специалисты и руководители служб курировали сооружение зданий 118, 120, 101, 131 и зданий современного комплекса по обращению с радиоактивными отходами. Эти работы являлись главной обязанностью. Все прекрасно понимали, что строят, монтируют и осваивают для себя. Такое вдумчивое отношение к делу принесло свои плоды. Студенческие знания пополнились новыми, ранее не известными по вузу, что



Строительство здания 120 (1960 год)

в конечном счёте позволило после пуска объектов в эксплуатацию и создания первых лабораторий начать научную деятельность с хорошего старта. Уже в 1961 году появились первые научные отчёты и первые заявки на изобретение.

Зарождение научных коллективов (лабораторий) при реакторе СМ, в материаловедческой и радиохимической лабораториях (здания 118 и 120) началось в 1960–1963 годах.

Молодым специалистам, выпускникам МИФИ, МЭИ, МГУ, ЛПИ, УПИ, ТПИ, МФТИ, ЛТИ, Горьковского университета и других ведущих вузов страны (вместе с немного старшими коллегами) выпала прекрасная возможность стоять у истоков создания радиационных и радиохимических методов исследования свойств различных материалов.

В рабочих помещениях будущих лабораторий вели курирование строительно-монтажных работ по размещению химических шкафов, боксов и установке щитов электропитания. На профильных предприятиях СССР заказывали электронное оборудование. Необходимо отметить, что для того времени электронное оборудование было

ламповым, громоздким и энергоёмким. Необходимый детектор-датчик создавался по принципу конструктора. Например, для создания эффективного гамма-спектрометра необходимо было приобрести: кристалл NaJ необходимого размера, фотоэлектронный умножитель, электронные лампы и радиодетали различных размеров и параметров. Для ФЭУ надо было изготовить делитель напряжения для питания. Сигнал с ФЭУ необходимо было усилить и подать на предусилители, созданные руками специалистов, и далее — на одноканальный анализатор АИ-05.



Строительство здания реактора МИР

В лабораториях конструировали и изготавливали самые разнообразные ионизационные камеры с тонкими мишенями из делящихся нуклидов, в которых нейтроны пучка вызывали деление ядер. Изучали процессы, сопровождающие это деление: испускание нейтронов и гамма-квантов, распределение осколков деления по энергии, массе и т.д. Для этих измерений требовались особые конструкции экспериментальных устройств, особая электронная аппаратура, а самое главное — очень большая статистика, то есть очень большое число зарегистрированных событий, так как нужно было изучать двойные и тройные совпадения, соотносить их с рядом параметров. Экспериментальная информация накапливалась в течение круглосуточных измерений, которые длились месяцами. Если бы не высокая плотность нейтронного потока активной зоны реактора СМ и нейтронных пучков соответственно, то проведение такого рода работ было бы нереальным. На обычном исследовательском реакторе типа ИРТ необходимую статистику пришлось бы накапливать в течение десятков лет.

Электроника в СССР в те далекие времена была очень слабо развита, поэтому каждый физик сам для себя паял нужные усилители и предусилители и прочую нужную, но не выпускающуюся серийно аппаратуру, а из серийных — почти един-

ственными были пересчётки и амплитудные анализаторы на 100 каналов АИ-100. В связи с этим во всех экспериментальных научно-исследовательских институтах имелись лаборатории и целые отделы электроники, сотрудники которых разрабатывали и изготавливали аппаратуру для проведения экспериментов. Имелась такая лаборатория и в НИИАРе — лаборатория ядерной электроники, впоследствии ставшая отделом вычислительной техники и электроники. Для проведения многомерных измерений по физике деления в лаборатории электроники был разработан и изготовлен многомерный анализатор с фантастическим (по тем временам) количеством каналов — 16 192. Это была работа большого коллектива, одним из главных специалистов которого, главным «мотором», был В.В. Голушко.

Поскольку проектирование проводили в сверхсжатые сроки, при сооружении проявлялись большие неувязки, нестыковки и упущения. Устранение всего этого осуществлялось, как правило, подачей рационализаторских предложений. Некоторые из них носили организационно-технический характер (например, пресловутая отмена лифтов и мусоропроводов в четырёхэтажных домах).

Первое рационализаторское предложение было зарегистрировано 11 августа 1959 года, авторы — С.В. Метальников и В.Я. Филимонов. Только за 1959 год было принято к внедрению 90 рационализаторских предложений, решение по которым принимал исполняющий обязанности главного инженера М.И. Ермолаев. С 1960 года большинство рационализаторских предложений касалось усовершенствования оборудования, приборов, технологий, сокращения сроков строительства. В 1961 году была введена штатная единица инженера по рационализации, поскольку число рацпредложений исчислялось сотнями. К примеру, в 1960 году поступило более 500 предложений. Инженером по рационализации была назначена В.М. Цыкунова. В обязанности созданного в НИИАРе под руководством А.И. Назарова технического совета входило рассмотрение рационализаторских предложений. С 1961 года стали поступать заявки на предполагаемое изобретение. Первое авторское свидетельство получили Ю.В. Чушкин, Е.Ф. Давыдов, В.П. Петухов за изобретение «Метод измерения коэффициента теплопроводности материалов». С 1961 года стали проводить ежегодный конкурс «Лучшее подразделение по рационализации».

Всего за 1959–1963 годы поступило более 2 000 рацпредложений, большинство из которых было внедрено с экономическим эффектом более 3 млн рублей (в ценах того времени). За этот период было подано 13 заявок на изобретение и получены авторские свидетельства. Забегая вперед, скажем, что рационализаторское и изобретательское движения носили массовый характер среди рабочих, инженерно-технических и научных работников. К концу 80-х годов каждый седьмой работник НИИАРа был в списке изобретателей и рационализаторов. Почётного звания «Заслуженный изобретатель РФ» удостоены Е.П. Клочков и В.М. Лебедев, звание «Заслуженный рационализатор РФ» получили А.С. Кусовников и Ю.Н. Исаев.

С пуском реактора СМ в 1961 году материаловедческой и радиохимической лабораторий в 1964 году существенно изменилась радиационная обстановка в про-

изводственных помещениях. Выработка индивидуального отношения к радиации проходила через несколько стадий, начиная от смелого до заливчатского подхода к работе в полях излучения и заканчивая нежеланием работать в таких полях. К сожалению, передача ветеранами ПО «Маяк», СХК, ГХК своего опыта и знаний по обращению с радиацией была недостаточной для того, чтобы сотни молодых специалистов — выпускников вузов, молодых операторов защитных камер — чувствовали себя уверенно. Эта неуверенность обуславливалась и тем обстоятельством, что индивидуальный дозиметрический контроль оставлял желать лучшего, так как специализированные предприятия среднего машиностроения не выпускали надёжных дозиметров для разных видов излучения. В этот период только начали поступать средства для личной гигиены (тиомочевина, спецмыло и т.д.), что позволяло проходить дозиметрический контроль на выходе с объектов. Но все эти радиационные трудности не могли поколебать энтузиазма молодых специалистов, которые считали себя первопроходцами в вопросах ядерного излучения, радиационной физики и реакторного материаловедения; в радиохимии и методах получения неизвестных элементов таблицы Менделеева. В одном из кабинетов на здании 106 висела такая таблица той поры, где рукой был внесен новый элемент под индексом «Ms-Мелекесский».

### **Быт, спорт, культура**

Поселение Мелекесс было основано в 1626 году. История города началась в XVII веке, когда царь Алексей Михайлович повелел строить засечные черты с крепостями-острогами. В 1732 году это поселение назвали Мелекесским заводом Казанской губернии, с 1796 года — Симбирской, а с 1846 года — Самарской губернии. 2 июля 1877 года село получило права городского самоуправления и новое название — посад Мелекесс.

К моменту приезда первых специалистов в городе насчитывалось около 55 тысяч жителей. В городе были несколько начальных и семилетних школ, педагогический институт, несколько библиотек, клубы и драматический театр. Промышленные предприятия включали в себя льнокомбинат, трикотажную фабрику, два мельничных предприятия, крупяной и пивоваренный заводы. Дороги были в плохом состоянии, автобусное движение отсутствовало. Энергоснабжение в городе Мелекессе практически отсутствовало, было несколько генераторов на промышленных предприятиях города. Единственный в городе кинотеатр брал электроэнергию от передвижной электростанции фабрики им. К. Цеткин, располагавшейся неподалеку. Население жило, в основном, при свете керосиновых ламп в домах с печным отоплением. В городе функционировали гостиница и находившаяся неподалеку от неё большая общественная баня (сохранилось до сих пор и здание, и его назначение). Конечно, прибывшие на работу в п/я 30 молодые специалисты — выпускники многих вузов — слабо знали историю г. Мелекесса, кроме тех выпускников, которые приехали на родную землю, так как заканчивали местные школы.

Строительство НИИАРа имеет свою историю. Постановлением Совета Министров СССР от 12 августа 1955 года № 1446-803 и Приказом Министерства среднего машиностроения от 22 августа 1955 года № 558 было создано управление строительства № 603 для сооружения одного из объектов системы Минсредмаша. Это решение было принято А.П. Завенягиным, являвшимся в то время министром среднего машиностроения. Согласно этим документам в мае 1955 года прибыл первый отряд военных строителей, который через определённое время насчитывал около 10 тысяч человек. Первоначально до декабря 1955 года они располагались в районе перекрёстка, где сейчас находится обелиск Славы. Позднее они перебазировались в район нынешнего молокозавода и пожарной части. Однако уже в 1956 году основная часть военных строителей уехала на другие стройки, а оставшиеся строители вошли в состав нового управления строительства п/я 83 (в настоящее время — Димитровградское управление строительства). За 1955–1957 годы военные строители соорудили посёлки Зелёный, Южный, Черемшанка. Они же начали сборку брусчатых домов по улице Гвардейской, Строителей. Эти дома отапливались от энергопоезда строителей.



Улица Энтузиастов

Жилищные условия для первых поселенцев выглядели следующим образом. По улице Гвардейской, д. 10 разместили неженатых, а по улице Жигулевской, д. 18 — семейных. Приехавших в 1960 году размещали в домах барачного типа по улице Севастопольской. После пуска первых жилых домов по улице Энтузиастов (проспект Г. Димитрова) и по улице Менделеева молодых неженатых специалистов размещали в квартирах.



а



б

Проспект Ленина: как всё начиналось (а) и через несколько лет (б)

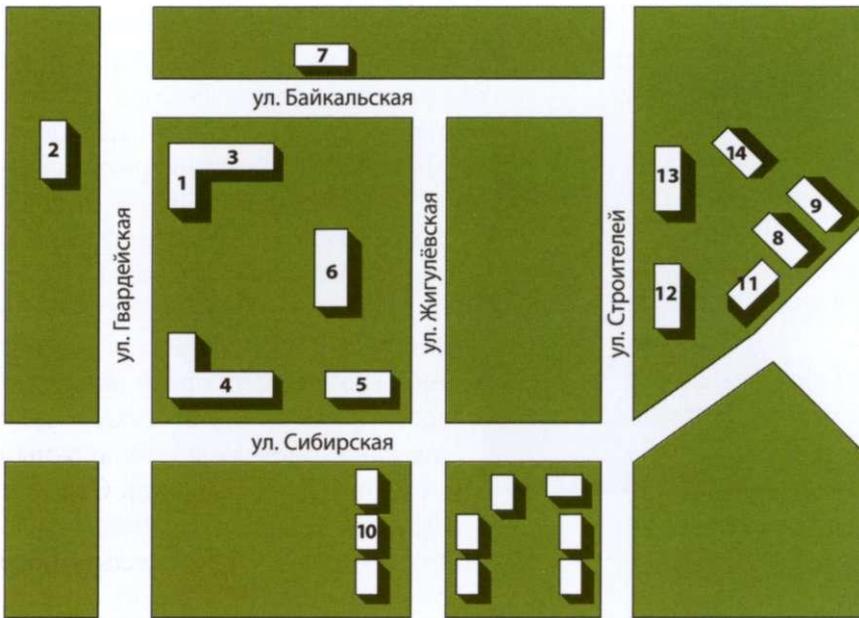


Схема посёлка первых строителей и специалистов НИИАРа (1957 год):  
 управление п/я 30 (первоначальное (1) и последующее (4) размещение); общежитие не-семейных (2) и семейных (10) специалистов; управление п/я 83 (3); столовая (5); клуб (6); магазин (7); администрация медсанчасти (8); гостиница (9); роддом (11), стационар (12), поликлиника (13), детская больница (14)

В ноябре 1960 года началось заселение общежития № 1 (дом № 7) по проспекту Ленина, а чуть позже — общежития № 2 (дом № 3) по проспекту Ленина. Общежитию № 1 дали статус семейного. Первый дом в соцгороде — дом № 3 — по улице Энтузиастов (проспект Г. Димитрова) был заселён в конце октября 1958 года. Первые дома соцгорода отапливали временной котельной. В ваннных комнатах и на кухнях стояли титаны с дровяным топливом. В марте 1961 года на ТЭЦ был пущен первый котел, а через год, в марте 1962 года, сдана в эксплуатацию вся ТЭЦ. Газовое снабжение появилось 1960 году.



Общежитие № 2 (5 октября 1960 года)



Дорога на промплощадку и теплотрасса

Поскольку своего транспорта в те годы в п/я 30 не имелось, добирались на самосвалах строителей или на других средствах, используемых строителями (а иногда

и пешком). В самом начале 1960 года большая часть персонала была переведена на промплощадку № 1 и размещена в нескольких комнатах на втором этаже нынешнего



Детский сад «Солнышко»



Главный корпус МСЧ-65

ЖРО, хранилище ТРО, спецгараж, а в 1962 году пущен в эксплуатацию комплекс по обращению с радиоактивными отходами — технологический корпус здания 134. Все эти сооружения требовали непрерывного обслуживания, так что количество сменного и дежурного персонала возрастало непрерывно.

После завершения строительства дороги от перекрестка улиц Дачной–Гоголя началось регулярное движение автобусов от управления п/я 30 до промплощадки № 1. Из домов первого микрорайона соцгорода и общежитий на основную дорогу к автобусам все сотрудники и строители выходили через лесной массив. Первый автобус был марки ЗИС, второй автобус, который с чьей-то лёгкой руки называли «Лайнер», был Львовского автозавода.

Первое поколение нииаровцев можно разделить условно на три группы. В первую группу можно включить тех, кто приехал с других предприятий всей семьей, включая детей разного возраста. Наличие школы № 1 и детского сада «Сол-

пожарного депо. Вскоре на площадке № 1 открыли столовую (ныне в этом здании размещается отдел кадров и бюро пропусков), что существенно повлияло на распорядок рабочего дня. На здании 106 сменная работа началась с первого января 1961 года, и персоналу приходилось брать с собой сухой паёк, так как столовая работала только в будние дни и в рабочее время. К счастью, к этому времени начала работать столовая в соцгороде (за магазином «Огонёк»). Дежурных привозили на машине «Победа», на которой водителем был Ю.Ф. Дядькин. Эту же машину использовали для архисрочных вызовов специалистов после пуска реактора СМ в сентябре 1961 года.

В этот же период, с 1960 по 1963 годы, были введены в эксплуатацию вентиляционная труба, спецпрачечная, временное, а потом постоянное хранилище

нышко», функционирующей МСЧ-65 и магазина «Дружба» создавали благоприятные условия для жизни. Во вторую группу — тех, кто создал семьи сразу после приезда в НИИАР. Свадьбы той поры отличались тем, что они носили «производственный оттенок». Третью группу составляли холостые и неженатые, для которых одним из лозунгов жизни стали спорт, туризм и художественная самодеятельность.

Культурный досуг первого отряда приехавших включал такие мероприятия, как спортивные соревнования на площадках лесных полян, походы на реку Черемшан, культпоходы в городской кинотеатр. А также поездки в краеведческий музей Ульяновска и по историческим местам, связанным с жизнью В.И. Ленина, И.А. Гончарова, С. Разина, Е. Пугачёва и др. В конце 1958 года в клуб «Строитель» стали привозить по разнарядке новые фильмы и необходимость похода в городской кинотеатр отпала. В январе 1958 года на Горке начали строить городской телецентр, и с 1959 года началось телевещание. В 1961 году был открыт кинотеатр «Спутник». В 1960 году в городе началось автобусное сообщение, открылись маршруты: № 1 «Соцгород — Гостиница», № 2 «Поселок Южный — Гостиница», № 3 «Посёлок Черемшанка — Гостиница». Появление автобусов в городском автохозяйстве позволяло организовывать незабываемые по содержанию экскурсии (суточные) на Куйбышевскую ГЭС, что в то время было сложно из-за режимных и дорожных условий.

Вопрос со спортивными сооружениями первоначально решался собственными силами. Вновь обратимся к воспоминаниям первых молодых специалистов: «Внутри застраиваемого квартала сами жители разбили волейбольную площадку, у строителей добыли крепкие столбы, натянули сетку и в свободное время играли в волейбол. Вокруг собирались зрители, то есть все те, кто был свободен от домашних дел. Приходили студенты педагогического института из старого города сразиться в волейбол». Шестого июня 1961 года на заседании завкома был даже утверждён план строительства спортивных площадок методом «народной стройки». Ситуация сильно изменилась после ввода в эксплуатацию первой школы соцгорода, школы № 1, где был хороший спортивный зал. Там и стали проводиться вечерние спортивные занятия. Количество занимающихся в различных спортивных секциях увеличилось с 260 человек в 1960 году до 970 человек в 1963 году.



О, спорт! Ты — мир!

С улучшением жилищных условий спортивная жизнь стала более насыщенной. Создано в 1961 году ДСО «Труд», первым председателем которого стал Ю.Ф. Баронкин из службы управления реактора ВК-50. В апреле 1961 года на съезде Союза спортивных обществ Минсредмаша ДСО «Труд» завкома-142 представлял Е.П. Клочков. Своими силами были построены волейбольная, баскетбольная, хоккейная и городошная площадки, а в 1962 году было закончено строительство стадиона «Старт» и теннисного корта. Волейбольная площадка в первом микрорайоне существует до сих пор (проект Е.П. Клочкова). Начались соревнования по различным видам спорта среди научных и производственных коллективов института. Были созданы мужские и женские команды п/я 30 по волейболу, баскетболу, футболу, шахматам, шашкам и городкам. Эти команды боролись за честь института на городском и областном уровне, добиваясь высоких, в том числе и чемпионских результатов. Первый чемпионат НИИАРа по шахматам был проведён в 1961 году, затем он стал проводиться ежегодно. Первым чемпионом НИИАРа по шахматам стал Р.А. Юськаев, по шашкам — Ю.И. Цветков. В 1964 году в НИИАРе прошёл чемпионат по шахматам сборных команд предприятий Минсредмаша. Участвуя в первенстве области по футболу, сборная команда института выезжала в районные центры области. Всё это способствовало распространению положительной информации об институте. После постройки гостиницы «Радуга» в её подвальном помещении был организован стрелковый тир, что позволило создать в институте стрелковую секцию.

Спортсмены участвовали в соревнованиях на первенство города Мелекесса, района, принимали участие в областных спортивных мероприятиях в г. Ульяновске. Легкоатлеты регулярно участвовали в проводившихся эстафетах по улицам города, а также выезжали в г. Ульяновск в составе команды г. Мелекесса на весеннюю эстафету.

Лыжники, кроме соревнований местного масштаба, с 1964 года участвовали в соревнованиях на первенство центрального совета Министерства по спорту (раз в два года). В 1964 году выступили полной командой с участием во всех видах; мужчины: 50, 30, 15 км и эстафета 4×5 км; женщины: 5 и 10 км, эстафета 4×5 км (В. Мишенёв, В. Сюзёв, В. Афанасьев, М. Переседов, Л. Переседова и другие).

С конца 60-х годов центральный совет Министерства по спорту регулярно проводил соревнования по комплексу ГТО. Команда НИИАРа выезжала на соревнования очень представительным составом.

После настойчивых поисков в округе нашли подходящий овраг в районе посёлка Дачного (1,5–2 км от автобусной остановки) с одним из склонов около 100 м, вырубил кустарник и мелколесье на склоне, затем пригнали туда бульдозер, который сформировал на вершине дополнительно горку (пригорок) для разгона на спуске. В результате этих работ появился склон для тренировки, отработки техники спуска и даже проведения внутренних соревнований. С помощью завкома приобрели дорогостоящий специальный спортивный инвентарь. Зимой каждое воскресенье группа истинных любителей с детьми выезжали в посёлок Дачный на автобусе (заявку на предоставление автобуса оформляли через завком). Необходимо отметить инициативную группу: В.В. Кирсанов,

М.А. Афанасьев, Л.Д. Иванов, П.С. Смирнов, Ю.Г. Лавринович, М.Н. Зизин, Е.В. Кириллов, В.И. Клименков, А.П. Кириллович, В.Н. Сюзёв, В.Л. Тимченко и других.

Большое количество детей жилого посёлка требовало создания для них определённых условий. Заводской комитет профсоюза был избран 22 июля 1959 года. Первым председателем стал В.И. Юскин. Именно завком во многом занимался организацией досуга детей: обеспечением детскими садами, путёвками на отдых, организацией соревнований. Первое время было очень трудно с устройством детей в д/сад и ясли. Было несколько случаев, когда матери оставляли детей на столе у председателя завкома, так как не с кем было их оставить: тогда послеродовой декретный отпуск был всего 56 дней. Поэтому руководство института очень заботилось об одновременном строительстве и жилого фонда, и детских учреждений.

Прекрасная природа: река Черемшан, несколько озёр и большой лесной массив — оказывала влияние на выбор вида отдыха. Зимняя и летняя рыбалка, лыжные прогулки в лесу, туристические походы занимали большую часть свободного времени. В 1963 году появилась парусная секция — будущий клуб яхтсменов, которому уже более 50 лет. Первым председателем секции был инженер из лаборатории радиоэлектроники В. Сорокин. В развитие яхт-клуба огромный вклад внёс специалист по спектрометрии, работник ОВТА В.Д. Логинов, который и возглавляет этот клуб в настоящее время. Институт изредка покупал новые яхты международного класса, а также яхты, бывшие в употреблении. Романтика парусных плаваний привлекла в секцию многих интересных людей. Активными участниками были начальник материаловедческого отдела В.И. Клименков, начальники лабораторий А.М. Шиманский и Б.А. Морозов, ну и, конечно, молодые специалисты. Активным яхтсменом был и В.Б. Иванов, проработавший в НИИАРе до 1998 года, в том числе девять лет на посту директора.

В феврале 1961 года заработал кинотеатр «Спутник», а так как до завершения строительства Дома культуры «Восход» оставалось три года, коллективы художественной самодеятельности поселились в этом кинотеатре. Было создано два коллектива, которые до сих пор являются одной из визитных карточек города Димитровграда как культурной столицы Поволжья. Это —



Кинотеатр «Спутник»

ансамбль бального танца «Юность» (бессменный руководитель Т.Н. Макарова) и эстрадный оркестр «Метроном» (первые руководители: А.М. Утехин и Б.П. Минеев).

Первоначальную историю оркестра «Метроном» создавали сотрудники НИИАРа: ударник В.А. Куприенко (будущий заместитель директора по науке), В.С. Фофанов (будущий главный инженер НИИАРа), контрабасист З.Е. Островский (материаловед,

кандидат технических наук), пианист А.В. Инчагов (начальник лаборатории), тромбонист Б.Н. Нечаев (главный инженер реактора БОР-60), саксофонист С.Н. Баранов (будущий заместитель главного инженера НИИАРа). Собрать музыкальный коллектив сумел Е.А. Родионов, выпускник Московского энергетического института, участник военного оркестра в параде Победы 1945 года. За 50 лет существования оркестра «Метроном» в составе его исполнителей было много сотрудников НИИАРа.



а



б

Первый состав (а) эстрадного оркестра «Метроном» и его руководитель Борис Петрович Минеев (б)

В ансамбле «Юность» участвовало несколько поколений сотрудников НИИАРа. В числе первых следует отметить: супругов С. и А. Бобровых, Т. Барабанову (ставшую

впоследствии профессиональной танцовщицей) и А. Захарова (будущего заместителя директора НИИАРа).



Участники ансамбля «Юность» и смотров художественной самодеятельности института

В 1964 году был введён в эксплуатацию Дом культуры «Восход» и художественная самодеятельность переместилась в это здание. В 1969 году вступил в строй Дворец спорта «Дельфин» и была решена проблема размещения в зимнее время любителей спорта или просто желающих укрепить своё здоровье. Наряду с плановыми концертами в ДК «Восход» (в то время в город приезжали очень известные коллективы и исполнители), выступлениями коллективов самого Дома культуры огромной популярностью в тот период пользовались смотры художественной самодеятельности, в которых показывали мастерство сотрудники подразделений института. Во время таких фестивалей зал обычно был переполнен. Каждый коллектив старался найти для своего выступления какую-то «изюминку». Только в ОМВ хор насчитывал 70 человек. Однажды этот хор отличился тем, что все его участники были одеты в лавсановые (рабочие!) комбинезоны красного, белого и синего цветов, а на сцене их расставили таким образом, чтобы сочетание цвета из зала напоминало Российский флаг. Это было здорово! Когда же зрители разглядели, из чего сделаны наряды артистов, поднялся оживлённый шум.

И подобные истории могут рассказать ветераны всех подразделений института. Многие коллективы — победители подобных фестивалей — были показаны по областному телевидению. Надолго запомнилось на одном из фестивалей выступление сотрудников отдела исследовательских реакторов с вокально-художественной миниатюрой «Я — Земля», посвящённой достижениям СССР в освоении космоса. Известные в те годы слова «Я — Земля, я своих провожаю питомцев» пели стоя всем залом.

Ансамбль «Юность» стал лауреатом Всероссийского конкурса ансамблей современного танца, лауреатом Всесоюзного фестиваля молодёжи и студентов, лауреатом Всероссийского конкурса исполнителей балльных танцев. Особенностью ансамбля «Юность» того времени было исполнение танцев под живую музыку эстрадного оркестра «Метроном». Не случайно, что руководители этих коллективов: Тамара Николаевна Макарова и Борис Петрович Минеев одновременно и первыми в городе были удостоены почётного звания «Заслуженный работник культуры РСФСР». В 1967 году «Метроном» был награждён дипломом первой степени Всероссийского смотра художественной самодеятельности. Популярностью пользовались и другие коллективы Дома культуры «Восход»: хор русской песни, оркестр русских народных инструментов, духовой оркестр. Их основу составляли сотрудники НИИАРа.

Большой интерес вызывали и спартакиады НИИАРа. На беговую дорожку выходили и директор, и его заместители, и руководители подразделений. Может быть, поэтому и зрителей на трибунах стадиона «Старт» было всегда предостаточно. О.Д. Казачковский был страстным поклонником большого тенниса. Заместитель директора по науке Ю.С. Замятнин запомнился сотрудникам института как сторонник здорового образа жизни: каждое утро он обливался холодной водой и совершал пробежки по улицам города с секундомером на шее. Заместитель директора по общим вопросам Е.П. Малюков был поклонником автотуризма, и с его лёгкой руки этот вид отдыха получил широкое распространение среди сотрудников института. В конце 60-х годов на реке Черемшан, в районе п. Курлан, был поставлен дебаркадер — старый списанный пароход с каютами, который отбуксировали с мелекесского порта. Его отремонтировали и сделали базу отдыха. Инициатива была комсомольско-профсоюзно-административной. Отдыхали там бесплатно, такое в настоящее время и представить невозможно. К сожалению, года через два-три дебаркадер сожгли.

В НИИАРе в то время очень заметно развивались туризм, горный туризм, спортивное ориентирование. Появился собственный небольшой туристический клуб. Одним из его основателей был Л.И. Новак — один из первых начальников лабораторий института. Потом постепенно в турклуб влилась молодёжь, приехавшая в институт по распределению. Имена многих из них широко известны в институте: В.Ф. Масный, А.Ф. и В.Е. Грачёвы, Ю.Г. и В.Г. Топоровы, А.Н. и Т.М. Булановы, Г.М. Кулешов и др. В селе Русский Мелекесс инициаторы нашли горку, пригнали туда бульдозер, сделали насыпь, подъёмник. И эта горнолыжная трасса просуществовала достаточно долго. По выходным дням 20–30 человек постоянно катались на горных лыжах.

С 1968 года и по настоящее время многие сотрудники НИИАРа — активные участники Грушинского фестиваля («Груша», «Грушинка», как любовно его называют участники) — всероссийского фестиваля авторской песни имени Валерия Грушина, проходящего не только для того, чтобы собрать вместе любителей авторской песни в красивом месте, но и в целях приобщения молодёжи к музыке, поэзии, туризму и спорту. Первый фестиваль туристической песни имени Валерия Грушина прошёл 29 сентября 1968 года в Жигулях в Каменной чаше.



Вид на сцену Грушинского фестиваля и его участники

Нииаровцы участвовали во всесоюзном ралли «Искра». Б.А. Бычков вспоминает: «... в Ленинград, где проводился заключительный этап, должны были прибыть команды на мотоциклах». Мы выехали из Димитровграда 28 января 1970 года на трёх мотоциклах с колясками и трёх мотоциклах-одиночках. А восьмого февраля должны были оказаться в северной столице. Морозы стояли 35–37 °С. Сопровождали кортеж восстановленный ЗИС-5 выпуска военного времени и автобус. В составе группы были только нииаровцы: Г.И. Иванов, П.С. Смирнов, врачом похода взяли Н.А. Сочилину, я — комиссар, член команды — Н.С. Кульпина и другие. В дороге случалось все: мотоциклы ломались, их на ветру и морозе ремонтировали, один мотоцикл потерялся, его долго разыскивали, в городе Ростове Ярославском ночевали в кремле, сидели на царском месте, танцевали на старинном паркете. В Ленинграде ЗИС-5 пытались у нас купить для киносъёмки. По результатам ралли мы заняли второе место».

На новый уровень вышел в этот период и клуб яхтсменов. В те дальние времена яхтсмены ходили по реке Волге в крейсерские плавания. Зимой же 1967–1968 годов в подвале школы № 23 по инициативе и под руководством А.М. Шиманского и с согла-

сия директора школы П.А. Акинфиева яхтсмены построили восемь юношеских яхт «Кадет». В следующую зиму теми же силами и там же было построено четыре яхты «Оптимист». В строительстве участвовало более двадцати подростков. Летом 1968 года наша команда на яхте «Кадет» заняла второе место на юношеском первенстве России (братья А.А. и Г.А. Шиманские). Ежегодно наши спортсмены участвовали в первенстве Ульяновской области, Поволжья и в других соревнованиях, занимали призовые места. Бюро яхтклуба большое значение придавало подготовке юношей. Морскому делу их учили серьёзно и обстоятельно. Принимались экзамены на звание рулевого, приезжали даже члены московского яхтклуба «Аврора». Всё было на высоком уровне. Летом в выходные дни устраивались соревнования или походы. Традиционным был и выход на остров Борок вблизи села Никольское-на-Черемшане, где отмечался День Военно-Морского Флота. Ежегодно устраивались парусные вечера по случаю открытия (1 апреля) и закрытия (конец октября) сезона. Описать эти праздники невозможно, они были великолепны. К ним сочинялись и детективные пьесы, и трагедии в стиле древней Греции (режиссёр и сценарист Ю.А. Кушнир). Частушки, танцы, шутки, фоторепортажи, стенгазеты неизменно оживляли эти вечера.

С 1976 года первоапрельские вечера смеха стали с успехом проводиться в общеинститутском масштабе (Ю.А. Кушнир). Незадолго до этого благодаря усилиям В.Г. Кусикова образовался клуб кинолюбителей «Параллакс», который к каждому тематическому вечеру снимал какой-нибудь весёлый фильм. Например, был снят целый сериал «Железный мустанг». Появились популярные «кинозвёзды» — В.Ф. Масный, А.Ф. Грачёв, Ю.Г. Топоров. Наряду с «Параллаксом» свои кинофильмы на вечерах представлял и киноклуб «Брат Люмьер» из ДУСа. Режиссёром и оператором фильмов был В.С. Казанджан, в то время кинолюбитель, а сейчас уже много лет руководитель популярного димитровградского театра-студии «Подиум».



Операторы «Параллакса»: В.Г. Кусиков (слева) и А.А. Ухаров (справа)

На волне этих самодеятельных движений организовался объединённый молодёжный клуб, под эгидой которого проводились многие интересные вечера, и не только первоапрельские. Часто устраивали вечера советско-болгарской дружбы, вечера на актуальные темы (к примеру, в связи с переименованием Мелекесса в Димитровград). Президентом клуба стал А.М. Митин, художественным руководителем — Ю.А. Кушнир. В правление клуба входили также В.В. Маклаков, С.Н. Ещенко, А.А. Мынцов. Яркую струю в вечера внёс блестящий сценарист и режиссёр М.Н. Ермолович. Его остроумные спектакли «Чёрный человек» и «Золотая рыбка», главные роли в которых исполнили В.Ф. Масный и Е.Б. Гремячкина, вызвали восторг и восхищение зрителей. Многие задумки того периода были премьерными одного дня. Никто тогда и не думал о том, чтобы запечатлеть что-либо для истории. Но старожилы до сих пор помнят многие постановки тех лет (например, танец скелетов и выезд трёх богатырей).

Идея танца скелетов родилась из темы одного из вечеров — «Творчество Н.В. Гоголя». Вдохновившись образами «Вия», «Вечеров на хуторе близ Диканьки», применив средства научно-технического прогресса, поставили танец: в полной темноте на сцене группа персонажей в специально изготовленных костюмах с нарисованными белой краской скелетами ритмично двигается под музыку, танцующих освещают ультрафиолетовые стробоскопы. Появляющиеся и исчезающие в такт музыке светящиеся фосфорическим светом скелеты в причудливых танцевальных позах, словно выхваченные из темноты, ритм рок-н-ролла — зрелище было инфернальное.

Номер с тремя богатырями появился как домашнее задание отделения исследовательских реакторов. Смысл задания состоял в том, чтобы проиллюстрировать музыкальный отрывок из «Богатырской симфонии» А.П. Бородина. И вот под торжественные звуки симфонии на сцену медленно «выезжают» на палочках с лошадиными головами три русских витязя — Илья Муромец (А.Ф. Грачёв), Добрыня Никитич (В.А. Гремячкин) и Алеша Попович (В.К. Горбатов) — и застывают в классических позах, как на картине Васнецова. Но выдержать позу мешают надоедливые насекомые. Особенно они беспокоят Алешу Поповича: он то и дело норовит пошевелиться и отогнать назойливого комара. Илья Муромец и Добрыня, видимо, страдают не меньше, но терпят и укоризненно посматривают на Алешу. Диссонанс, возникающий в сознании зрителя, от увиденного и происходящего на сцене, — могучая стать витязей и хрупкость игрушечных лошадок; важная, солидная поза старших богатырей и тщетные попытки младшего ей соответствовать; мощь, размах, эпичность музыки и отчаянные попытки избавиться от атакующих насекомых — вызывал смех в зале. И хотя сценка длилась не более минуты, она надолго запомнилась зрителям.

С 1980 года по инициативе В.И. Морозова объединённый молодёжный клуб стал проводить игру «Что? Где? Когда?», которая на много лет захватила молодёжь института. Роль ведущего взял на себя А.М. Митин, арбитром стал Ю.А. Кушнир,

секретарём — Т.А. Шиманская. В играх ниияровцев, в отличие от телевизионной игры, участвовали одновременно пять-шесть команд, представлявших подразделения института. В этом интеллектуальном турнире принимала участие и команда ДУСа — Димитровградского управления строительства.

Увлечение игрой ниияровцев подхватили школьники. В ряде школ соцгорода (№ 23, 5, 25, позже 13) — района города, в котором проживали в основном сотрудники НИИАРа, появились свои команды-чемпионы, а в середине девяностых годов ниияровские знатоки Ю.А. Кушнир и Н.Ю. Незговоров совместно с Димитровградским домом детского творчества (Т.М. Митина) провели первенство школ города по игре «Что? Где? Когда?». Вскоре в Димитровграде появилось множество команд, готовых попробовать свои силы в интеллектуальном состязании. Проведение подобных турниров среди общеобразовательных учреждений города стало хорошей традицией. Инициатива сотрудников института, любителей игры «Что? Где? Когда?» разных возрастов, была поддержана и на областном уровне: совместно с Центром развития ядерного инновационного кластера города Димитровграда организуются городские и областные игры.



Участники игр «Что? Где? Когда?»: вчера и сегодня

Молодые сотрудники НИИАРа не остались в стороне от зародившегося в 1965 году в связи с 20-летием Дня Победы движения туристско-поисковых отрядов. В марте 1966 года в комитете комсомола института состоялся первый сбор актива, и в том же году прошел первый поход по местам боевой славы в Великой Отечественной войне. Особо необходимо отметить поход 1969 года, во время которого 5 июля у старинного города Себеж Псковской области мелекесские поисковики совместно с местными жителями и ветеранами-партизанами установили первый обелиск трём партизанам спецбригады имени Дениса Давыдова, погибшим в марте 1942 года в застенках гестапо. В настоящее время обелиски партизанам, изготовленные в г. Димитровграде, стоят в трёх районах Псковской области и одном районе Белоруссии. Этому предшествовала большая поисковая работа. По материалам, собранным следопытами НИИАРа, семеро партизан Псковщины посмертно награждены медалью «За отвагу», а двое — медалью «За боевые заслуги». Нииаровские поисковики прошли тысячи километров по местам боёв с участием ульяновцев и мелекесцев: героев Свири, Александра Матросова, Матвея Чернова, Владимира Хазова, легендарного генерала-танкиста В.М. Баданова; по местам боев трёх дивизий, сформированных в г. Мелекесе в годы войны. Четырнадцать маршрутами общей протяжённостью 68 тысяч километров прошли 318 человек. По материалам походов проведено 540 уроков мужества, 38 фотовыставок, созданы музеи и комнаты Славы в подшефных школах.

Поисковый отряд НИИАРа — делегат восьми Всесоюзных слётов победителей походов по дорогам Славы, лауреат трёх Всесоюзных фестивалей народного творчества, пятикратный победитель конкурсов на лучший поход, кавалер Почётного знака ЦК ДОСААФ СССР. Активными участниками поисковой работы в разные годы были сотрудники института Олег Мелашенко, Александр Евсеев, супруги Александр и Светлана Семёнкины, Римма Аляшева, Виктор Кантаев и многие другие энтузиасты.



Участники поискового отряда НИИАРа

С появлением в 1961 году асфальтового покрытия по инициативе Е.П. Клочкова четыре раза в год начали проводиться эстафеты: ко дню рождения В.И. Ленина, на 1 и 9 мая, 7 ноября. Позднее это начинание нашло поддержку в администрации города, аналогичные эстафеты были организованы и в старом городе. На озере Лесном летом проходили соревнования по плаванию, для чего были сделаны специальные ограждения и водные дорожки. На этом озере летом и зимой устраивали соревнова-



Первая эстафета, апрель 1960 года



Биатлонисты и лыжники на первомайской демонстрации

ния по рыбной ловле. На большой лесной поляне за стадионом зимой проводили лыжные соревнования, а летом — кросс и спортивное ориентирование. Главной особенностью всех спортивных мероприятий являлось то, что в них принимали участие вне зависимости от должности: от директорского корпуса до операторов реакторов и радиационно-защитных камер.

Ветераны института многое могут рассказать о насыщенной жизни того периода. Но было два события, о которых старожилы до сих пор вспоминают, ибо они повлияли на понимание происходящих в стране событий и перемен. Б.Н. Нечаев был активным участником художественной самодеятельности. Из его воспоминаний известно: «Было поставлено два спектакля: один — на 1 мая 1960 года, другой — на 7 ноября. Первый был в радужном, оптимистическом стиле. Руководство было довольно. Директор Д.С. Юрченко организовал нам за это вечер

в своём доме. Перед 7 ноября был подготовлен сценарий, в целом оптимистический, но с добавкой критических замечаний. Информация была взята из выпусков «Комсомольского прожектора». Когда члены оргкомитета прочитали сценарий, один из них предложил убрать «Ура, Октябрь» и за основу взять критические материалы. Так появился спектакль «Божественная комедия» (оперетта), в котором была крити-

ка на директора, секретаря парткома, других руководителей. После спектакля руководители В.С. Калинин и Г.С. Мурашев нам сказали: «Молодцы, ребята» и поставили бутылку коньяка. На следующий день началась волна неприятностей. Организовали заседание парткома. Нас обвинили в том, что мы порочим советскую действительность. Особо жёсткую позицию занимали секретарь парткома Л.П. Рычкова и председатель завкома В.И. Юскин. В проекте решения парткома содержался пункт о лишении участников спектакля допуска к секретной работе (с вытекающими из этого последствиями). Однако никакого решения принято не было. Директор института Д.С. Юрченко в этом заседании не участвовал. Потом было заседание горкома КПСС, на котором жёсткую позицию занимали городские комсомольские лидеры, приказывавшие нам сдать комсомольские билеты, что вызвало соответствующую ответную реакцию. Опять прозвучали обвинения в адрес участников спектакля, но решение принято не было. В коридоре Г.Ф. Полнов (в то время секретарь горкома по идеологии) сказал: «Вы, главное, не волнуйтесь, никаких оскорблений советской действительности с вашей стороны не было». Начальник отдела КГБ А.К. Гарипов не нашел в выступлении комсомольцев ничего антисоветского. За неумение работать с молодёжью Л.П. Рычкова вскоре была выведена из состава парткома института. Однако негативное отношение к некоторым участникам «оперетты» продолжалось долго».

Второе событие — избрание от комсомольской организации НИИАРа в областной совет депутатов старшего инженера реактора СМ Ю.В. Елисева. По воспоминаниям Е.П. Клочкова, особенность этого события состояла в том, что в ту пору выборные кандидатуры определялись по разнарядке. Комсомольской организации персонала реактора СМ выпала честь выдвинуть своего кандидата. Нам был предложен кандидатом действующий первый секретарь горкома комсомола, что вызвало возмущение в связи с его позицией на заседании горкома КПСС по вышеупомянутой «Оперетте». Предложенная кандидатура единогласно была отклонена, а новым кандидатом стал Ю.В. Елисеев. Этот факт обсуждался на областном уровне в обкоме комсомола и в обкоме КПСС, но позиция комсомольцев была оценена как демократичная.

### *Становление коллективов (1963–1970 годы):*

- в марте 1964 года создана лаборатория радиационной безопасности и внешней дозиметрии под руководством П.А. Маркова;
- в августе 1964 года созданы электрохимическая лаборатория Р-16 под руководством О.В. Скибы и лаборатория ионнообменных процессов Р-12 под руководством В.М. Николаева;

- в феврале 1966 года создана лаборатория газовых процессов под руководством П.М. Иванова;
- в апреле 1968 года А.В. Серов назначен начальником установки «Фрегат», предназначенной для отработки газофторидной технологии;
- в октябре 1966 года Е.А. Карелин становится начальником установки УР-2;
- в мае 1971 года организованы лаборатории: электрохимической регенерации под руководством Ю.С. Соколовского, химии и электрохимии под руководством О.В. Скибы и быстрых экстракционных процессов под руководством Г.И. Кузнецова;
- в реакторном комплексе в августе 1965 года создаются лаборатория физики исследовательских реакторов под руководством Ю.П. Кормушкина и лаборатория ампульных испытаний под руководством Б.В. Самсонова. И в 1967 году создаётся лаборатория петлевых испытаний под руководством Е.П. Ключкова;
- в августе 1964 года создана лаборатория теплофизики и гидравлики Ф-5 под руководством Б.В. Кульпина. В ноябре 1965 года создана расчётно-математическая лаборатория Ф-4, которую возглавил М.Н. Зизин, в январе 1968 года создана под руководством Р.В. Никольского лаборатория Ф-3 (на базе лаборатории В.М. Гординой), в апреле 1968 года создана лаборатория регенерации топлива Ф-6, которую вначале возглавлял А.И. Назаров, а с 1969 года Н.Н. Николаев (позже эта лаборатория была названа инженерно-физической);
- в 1968 году появилась лаборатория Ф-7 под руководством Ю.В. Чечёткина, в апреле 1969 года лабораторию Ф-1 возглавил Г.И. Гаджиев;

К концу 60-х годов в НИИАРе вошли в строй:

- реакторный комплекс с реакторами СМ и МИР и тремя научными лабораториями по сопровождению их эксплуатации, реактором АРБУС, АЭС с реактором ВК-50, реактором БОР-60 с восьмью научными лабораториями по сопровождению эксплуатации этого реактора и выполнению исследований по тематике «быстрых» реакторов;
- материаловедческий комплекс в составе «горячей» и «холодной» частей и с восьмью научными лабораториями по исследованию свойств всевозможных топливных композиций, конструкционных, поглощающих и замедляющих материалов, используемых в атомной технике и энергетике;
- радиохимический комплекс в составе «горячей» и «холодной» частей и с десятью научными лабораториями;
- комплекс по обращению с радиоактивными отходами в составе большого числа объектов хранения жидких, твёрдых и газообразных отходов, с парком контейнеров и вагонов сопровождения для транспортирования ядерного топлива и других радиоактивных материалов;

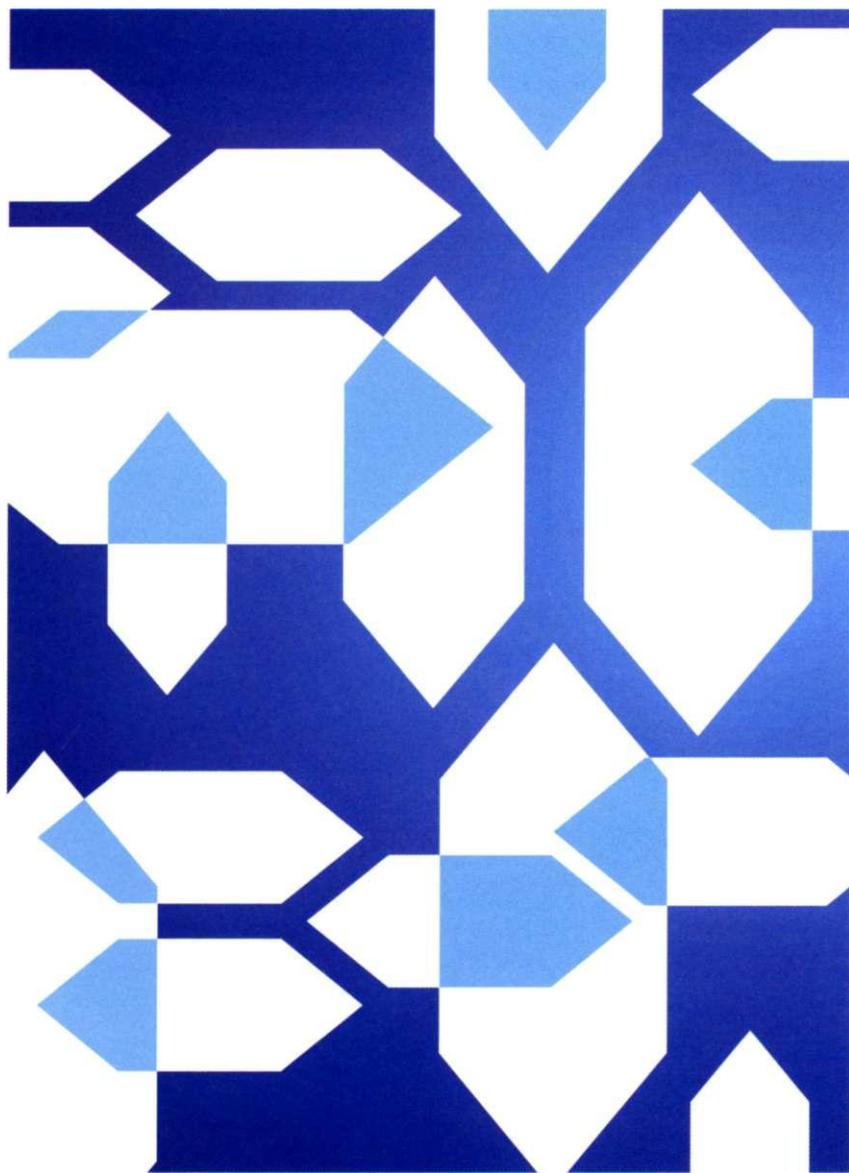
- служба внешней дозиметрии, оснащённая транспортными средствами и необходимыми установками и дозиметрическими приборами для мониторинга радиационной обстановки на территории института, в пределах санитарно-защитной зоны и на территории Средней Волги.

К концу 60-х годов численность института превысила 5 тысяч человек; в составе 40 научных лабораторий трудилось более 600 человек, а число ИТР превысило 1 500 человек. За дату окончания периода становления коллектива института принята дата — октябрь 1970 года, когда в г. Ульяновске прошла Международная конференция стран Совета экономической взаимопомощи «Атомная энергетика, топливные циклы, радиационное материаловедение».



Панорама института (1976 год)

## Глава 8



**ВКЛАД РУКОВОДИТЕЛЕЙ ОТРАСЛИ  
В СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ НИИАРа**

*Наука необходима народу.  
Страна, которая её не развивает,  
неизбежно превращается в колонию.*

Ф. Жолио–Кюри

*Избранники, занимающиеся наукой,  
должны смотреть на знание,  
как на доверенное им сокровище,  
составляющее собственность всего народа.*

К.А. Тимирязев

Выбор площадки для опытной станции по испытанию новых ядерных котлов проходил с учётом экономических, социальных, военных, географических и других аспектов. Рассматривались три варианта размещения: 1) неподалеку от города Обнинска Калужской области, 2) вблизи (15 км) города Нижнего Новгорода, 3) вниз по реке Волге. Был принят вариант, предложенный А.П. Завенягиным, возглавлявшим в то время Министерство среднего машиностроения. Основной довод А.П. Завенягина: в 1955 году было основано Мелекесское стройуправление № 603 в составе около 10 тысяч военных строителей для выполнения постановления Совета Министров СССР от 12.08.1955 г. № 1446-803 и приказа министра среднего машиностроения от 22.08.1955 г. № 558 о создании вблизи города Мелекесса спецобъекта оборонного назначения. Принимались во внимание, в первую очередь, удалённость от крупных городов, занятость местного населения и другие факторы. По решению А.П. Завенягина стройуправление № 603 было преобразовано в новое управление строительства п/я 83 (впоследствии Димитровградское управление строительства). Но многие военные строители не уехали, а вошли в число первых строителей НИИАРа по постановлению Совета Министров СССР от 15.03.1956 года. Среди оставшихся был В.Г. Смольников, который входил в число тех, кто выбирал местоположение площадки как для НИИАРа, так и для будущего соцгорода с учётом «розы ветров» того периода.

В 1957 году было принято решение о привязке к выбранной площадке научного комплекса с исследовательским реактором и двумя крупнейшими для тех лет горячими лабораториями — материаловедческой и радиохимической. Этот комплекс ранее предполагалось разместить в Вологодской области. К этому моменту научное

руководство отрасли пришло к выводу, что указанные в постановлении от 15 марта 1956 года и в соответствующих приказах Министерства среднего машиностроения реакторные установки ТГ-35, БН-50 и ЖМ не имеют достаточного обоснования или по практическому применению, или по техническим возможностям.

В июле 1959 года постановлением Совета Министров СССР было предусмотрено создание Научно-исследовательского института атомных реакторов. В наследство от опытной станции институт получил установку ВК-50, а чуть позже — установку АРБУС.

Заметный вклад в создание НИИАРа и развитие его научных направлений внесли авторитетные учёные, ведущие специалисты и руководители отрасли.

### **Учёные атомной отрасли:**

- **И.В. Курчатов.** Академик АН СССР (1943 г.). Трижды Герой Социалистического Труда (1949, 1951, 1954 гг.), лауреат Ленинской (1956 г.) и четырёх Государственных премий (1942, 1949, 1951, 1953 гг.) СССР. Один из руководителей атомного проекта СССР и основателей создания в СССР исследовательских реакторов, материаловедческих и радиохимических лабораторий. Один из инициаторов создания НИИАРа.
- **А.П. Александров.** Академик АН СССР (1953 г.). Трижды Герой Социалистического Труда (1954, 1960, 1973 гг.), лауреат Ленинской (1959 г.), четырёх Сталинских и одной Государственной премий СССР (1942, 1949, 1951, 1953, 1984 гг.). Награждён Большой золотой медалью им. М.В. Ломоносова, золотыми медалями имени И.В. Курчатова и С.И. Вавилова. Неоднократно был с рабочими визитами в НИИАРе. Был хорошо знаком с работами НИИАРа в области стационарной и корабельной атомной энергетики и по использованию исследовательских реакторов.
- **А.А. Бочвар.** Академик АН СССР (1946 г.). Дважды Герой Социалистического Труда (1949, 1954 гг.), лауреат Ленинской (1961 г.) и четырёх Сталинских премий СССР (1941, 1949, 1951, 1953 гг.). Заслуженный деятель науки и техники РСФСР. Один из главных участников создания и реализации атомного проекта СССР. Принимал активное участие в организации совместных экспериментальных работ по реакторному материаловедению и внедрению результатов в стационарной и корабельной атомной энергетике.
- **Н.А. Доллежалъ.** Академик АН СССР (1962 г.). Дважды Герой Социалистического Труда (1949, 1984 гг.), лауреат Ленинской (1957 г.), трёх Сталинских и двух Государственных премий СССР (1949, 1952, 1953, 1970, 1976 гг.). Награждён золотой меда-

лью им. И.В. Курчатова. Под его руководством разрабатывались проекты реакторов СМ и МИР.

- **А.С. Займовский.** Член-корреспондент АН СССР (1958 г.). Лауреат Ленинской (1962 г.) и четырёх Сталинских премий СССР (1946, 1949, 1951, 1953 гг.). Являлся сопредседателем объединённого научного совета ВНИИНМ — НИИАР. Принимал активное участие в организации совместных экспериментальных работ по реакторному материаловедению и внедрению результатов в стационарной атомной энергетике.
- **С.Т. Конобеевский.** Член-корреспондент АН СССР (1946 г.). Научный руководитель материаловедческой лаборатории НИИАРа. Оказал значительное влияние на разработку методов исследования облучённых материалов и подготовку кадров первого поколения материаловедов.
- **Н.П. Лавёров.** Академик АН СССР (1987 г.). Награждён орденами «За заслуги перед Отечеством» I, II и III степени, лауреат трёх премий Правительства Российской Федерации в области науки и техники (2001, 2006, 2009 гг.), Международной премии «Глобальная энергия». Неоднократно посещал НИИАР с рабочими визитами, в первую очередь, по проблеме обращения с радиоактивными отходами.
- **А.И. Лейпунский.** Герой Социалистического Труда (1963 г.). Лауреат Ленинской премии (1960 г.). Под его научным руководством в Физико-энергетическом институте были построены исследовательский реактор БР-1, а в НИИАРе — экспериментальный реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем БОР-60.
- **Ф.М. Митенков.** Академик АН СССР (1990 г.). Герой Социалистического Труда (1978 г.), лауреат Ленинской и Государственной премий СССР, а также Международной премии «Глобальная энергия» (2004 г.). Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации. Многие годы поддерживает тесные связи с НИИАРом по различным направлениям атомной науки и техники. В диссертационном совете при НГТУ и ОКБМ успешно защитили докторские и кандидатские диссертации 16 сотрудников НИИАРа.
- **Б.Ф. Мясоедов.** Академик РАН (1994 г.). Лауреат Государственной премии СССР (1986 г.) и двух премий Правительства Российской Федерации по науке и технике (2002, 2007 гг.). Председатель программного комитета конференций в НИИАРе по направлению «Радиохимия».
- **Ф.Г. Решетников.** Академик РАН (1992 г.). Лауреат трёх Государственных премий по науке и технике (1951, 1975, 1985 гг.). Заслуженный деятель науки и техники

Российской Федерации. Многократно посещал НИИАР с рабочими визитами. Активный участник конференций по реакторному материаловедению. Двадцать пять лет возглавлял экспертный совет Высшей аттестационной комиссии по атомной тематике, в том числе при рассмотрении диссертационных работ сотрудников НИИАРа.

- **Г.Н. Рыкованов.** Академик РАН (2011 г.). Лауреат двух Государственных премий РФ в области науки и техники (2002, 2009 гг.). На заседаниях коллегии Минатома и Государственной корпорации «Росатом» регулярно выступал за развитие экспериментальной базы НИИАРа. Поддерживает программы НИИАРа по исследованию свойств трансурановых элементов и реакторов-лазеров с ядерной накачкой, программы экспериментальных работ по исследованию проектных и запроектных аварий реакторов атомных электростанций.
- **А.Г. Самойлов.** Член-корреспондент АН СССР (1976 г.). Лауреат Ленинской (1964 г.), трёх Сталинских и двух Государственных премий (1949, 1951, 1953, 1970, 1978 гг.). Один из создателей ядерного оружия СССР. Многократно был в НИИАРе с рабочими визитами по проблемам топлива для активных зон транспортных установок. Активный участник нескольких конференций по проблемам реакторного материаловедения.
- **Ю.А. Трутнев.** Академик РАН (1991 г.). Герой Социалистического труда (1962), лауреат Ленинской (1959 г.) и Государственной премий СССР (1984 г.). Один из главных участников создания и реализации атомного проекта СССР. Награждён золотой медалью им. И.В. Курчатова. Высоко оценивал достижения специалистов НИИАРа в части создания элементов для реакторов-лазеров с ядерной накачкой. Хорошо знаком с работниками института и их достижениями по проблеме получения и исследования свойств трансурановых элементов.
- **С.М. Фейнберг.** Лауреат Ленинской (1960 г.) и двух Сталинских премий СССР (1949, 1953 гг.). Лауреат Государственной премии СССР (посмертно, 1974 г.). Многократно посещал НИИАР во время сооружения и пуска реактора СМ. Награждён золотой медалью им. И.В. Курчатова за исследования в области атомной энергетики.
- **Г.Н. Флёров.** Академик АН СССР (1968 г.). Один из активных создателей ядерного оружия СССР. Лауреат Ленинской премии (1967 г.), дважды лауреат Сталинской премии (1946, 1949 гг.), лауреат Государственной премии СССР (1975 г.). Награждён золотой медалью им. И.В. Курчатова. Дважды приезжал в НИИАР. Хорошо был знаком с сотрудниками института и их достижениями по проблеме получения и исследования свойств трансурановых элементов.

- **Ю.Б. Харитон.** Академик АН СССР (1953 г.). Трижды Герой Социалистического труда (1949, 1951, 1954 гг.). Один из главных участников создания и реализации атомного проекта СССР. Лауреат Ленинской (1956 г.) и трёх Сталинских премий (1949, 1951, 1953 гг.) СССР. Награждён Большой золотой медалью им. М.В. Ломоносова и золотой медалью им. И.В. Курчатова. Высоко оценивал достижения специалистов НИИАРа в части создания элементов для реакторов-лазеров с ядерной накачкой. Хорошо был знаком с работниками института и их достижениями по проблеме получения и исследования свойств трансураниевых элементов.
- **Н.С. Хлопкин.** Академик РАН (1992 г.). Герой Социалистического труда (1977 г.). Лауреат Ленинской (1960 г.) и Государственной премий (1985 г.), первый лауреат Золотой медали им. А.П. Александрова РАН. Неоднократно был в НИИАРе с рабочими визитами и хорошо знаком с работами сотрудников НИИАРа по корабельной атомной энергетике. Много лет руководил межотраслевым координационным советом по поглощающим материалам и органам регулирования ядерных реакторов.

### **Руководители отрасли:**

- **А.П. Завенягин.** Куратор советской металлургии и атомного проекта, генерал-лейтенант, министр среднего машиностроения СССР (1955–1956 гг.). Дважды Герой Социалистического Труда (1949, 1954 гг.), лауреат Сталинской премии (1951 г.). Выбрал площадку вначале для опытной станции по испытанию новых ядерных котлов, а затем и для исследовательского комплекса.
- **Е.П. Славский.** Министр среднего машиностроения СССР (1957–1986 гг.). Трижды Герой Социалистического Труда (1949, 1954, 1962 гг.), лауреат Ленинской (1980 г.) и двух Сталинских премий (1949, 1951 гг.). Три раза приезжал в НИИАР, в том числе провёл расширенное заседание коллегии Министерства по применению виброуплотнённого топлива для реакторов на быстрых нейтронах. Был хорошо информирован о достижениях НИИАРа по оборонной тематике, реакторному материаловедению, созданию новых реакторов типа РБТ, радиохимии и т.д.
- **Л.Д. Рябев.** Министр среднего машиностроения СССР (1986–1989 гг.). Лауреат Государственной премии СССР (1983 г.) и РФ (1994 г.), премии Правительства Российской Федерации (2003 г.). Дважды приезжал в НИИАР и хорошо знаком с его достижениями в научно-производственной деятельности, в частности по оборонной тематике, атомной энергетике, космическим исследованиям. Принимал самое активное участие в решениях судьбы коллектива НИИАРа в перестроечные 1990-е годы.

- **В.Ф. Коновалов.** Министр атомной энергетики и промышленности СССР (1989–1991 гг.). Лауреат Государственных премий СССР (1970, 1976) и премии по экономике имени Петра Великого.
- **В.Н. Михайлов.** Министр РФ по атомной энергии (1992–1998 гг.). Академик РАН (1997 г.). Лауреат Ленинской премии (1967 г.), Государственных премий СССР (1982 г.) и РФ (1997 г.). В НИИАРе провёл расширенное выездное заседание коллегии Министерства среднего машиностроения по всем вопросам научно-производственной деятельности института.
- **Е.О. Адамов.** Министр РФ по атомной энергии (1998–2001 гг.). В ранге министра дважды провёл в институте расширенные заседания коллегии Минатома по развитию НИИАРа. Руководитель издания отдельного тома энциклопедии «Машиностроение в ядерной технике». Один из инициаторов создания Ядерного общества СССР и РФ. Как научный руководитель проекта «Прорыв» регулярно посещает НИИАР с рабочими визитами.
- **А.Ю. Румянцев.** Министр РФ по атомной энергии, руководитель Федерального агентства по атомной энергии (2001–2005 гг.). Лауреат Государственной премии СССР (1986 г.). Много внимания на коллегиях Министерства и агентства уделял модернизации и реконструкции экспериментальной базы НИИАРа. Академик РАН (2000 г.). С 2005 года является послом в Финляндии.
- **А.М. Петросьянц.** Председатель Государственного комитета Совета Министров СССР по использованию атомной энергии (1962–1963 и 1978–1986 гг.). Герой Социалистического Труда (1962 г.), академик АН Армянской ССР (1982 г.), лауреат Сталинской премии (1949 г.). В ранге Председателя он вместе с А.П. Александровым приезжал осмотреть площадку строящегося НИИАРа. Автор ряда книг по истории отрасли, в том числе с разделами о НИИАРе.
- **А.Г. Мешков.** Герой Социалистического Труда (1982 г.). Лауреат Ленинской (1965 г.) и Сталинской (1953 г.) премий. Первый заместитель министра среднего машиностроения (1976–1986 гг.). Неоднократно приезжал в НИИАР. Внёс заметный вклад в развитие экспериментальной базы НИИАРа, в том числе реакторных установок МИР и БОР и горячей лаборатории (здания 117, 119).
- **В.А. Левша.** С 1953 года работал в системе Министерства среднего машиностроения: заместителем министра, первым заместителем начальника главка. В 1960–1967 годах — заместитель председателя Государственного комитета по использованию атомной энергии. В 1967–1984 годах — заместитель начальника 16-го Главного управления Министерства среднего машиностроения. Лауреат Государственной премии.

- **С.В. Кириенко.** Руководитель Федерального агентства по атомной энергии (2005–2007 гг.). Генеральный директор Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (2007–2016 гг.). Многократно приезжал в НИИАР с рабочими визитами, решая вопросы развития института в среднесрочной перспективе.



Слева направо: Раецкий Виталий Михайлович, Прохоров Валерий Иванович, Спиридонов Юрий Георгиевич, Суслов Олег Сергеевич, Грачёв Алексей Фролович, Кириенко Сергей Владиленович, Шмельёв Виктор Егорович (награждение в связи с 40-летием пуска реактора СМ)

- **В.А. Першуков.** Заместитель генерального директора Госкорпорации «Росатом» — директор Блока по управлению инновациями. Доктор технических наук, профессор. Академик Российской академии естественных наук. Многократно посещал НИИАР с рабочими визитами, решая вопросы текущего развития института и в среднесрочной перспективе.
- **Н.А. Кондратьев.** Исполнительный директор АО «Наука и инновации» Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (с 2009 года). Доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии естественных наук.

наук, лауреат премии Ленинского комсомола. Многократно посещал НИИАР с рабочими визитами, решая вопросы текущего развития института и в среднесрочной перспективе.



а



б

Совещание (1980 год) по поглощающим материалам СУЗ для установок Военно-Морского Флота СССР (а) и его участники (б): Н.С. Хлопкин, А.П. Александров, А.И. Андриюшин (слева направо)

### Ведущие специалисты атомной отрасли:

- **А.И. Андриюшин.** Директор завода «А» (Московский завод полиметаллов). Лауреат двух Государственных премий СССР. Неоднократно посещал НИИАР по проблеме испытаний и исследований поглощающих материалов и стержней регулирования.
- **М.Л. Барский.** Во ВНИПИЭТ прошёл путь от инженера отдела до главного инженера проекта. Выполнял функции главного инженера проекта по установкам СМ, МИР, БОР-60, ВК-50 и радиохимическому отделению.
- **А.И. Гутов.** Герой Социалистического Труда (1962 г.). Дважды лауреат Сталинской премии (1949, 1953 гг.). Директор первого Проектного института атомной отрасли (впоследствии ВНИПИЭТ). Под его руководством в 1957–1982 годах шло проектирование основных объектов НИИАРа и соцгорода.
- **В.А. Давиденко.** Герой Социалистического Труда (1953 г.). Лауреат Ленинской премии, двух Государственных премий. Длительное время возглавлял комиссию по трансплутониевым элементам Министерства среднего машиностроения, внёс вклад в развитие этого направления в НИИАРе.
- **А.Н. Кондратьев.** Лауреат Государственной премии СССР и премии Совета Министров СССР. Курировал во ВНИПИЭТ работы по созданию и эксплуатации комплекса по обращению с радиоактивными отходами НИИАРа.

- **С.А. Кузнецов.** Главный инженер Московского завода полиметаллов. С 1979 по 1989 гг. — научный руководитель проблемы промышленного производства стержней системы управления и защиты и стержней выгорающих поглотителей для отечественных ядерных реакторов. Неоднократно был в НИИАРе по проблеме испытаний и исследований поглощающих материалов и стержней регулирования.
- **О.Б. Самойлов.** Более 50 лет сотрудничает с НИИАРом по вопросам проведения испытаний и исследований топливных сборок и поглощающих материалов. Постоянно участвует в конференциях, проводимых в НИИАРе по реакторному материаловедению. Лауреат Ленинской премии. Доктор технических наук, профессор.
- **В.Д. Сафутин.** Лауреат премии Совета Министров СССР в области строительства за создание объектов НИИАРа. Заслуженный энергетик Российской Федерации. Во ВНИПИЭТ прошёл путь от инженера до генерального директора. Принимал непосредственное участие в проектировании и сооружении реакторных установок СМ и МИР.
- **В.М. Седов.** Член-корреспондент АН СССР (1981 г.). Лауреат Государственной премии СССР (1979 г.). Директор ВНИПИЭТ (1972–1986 гг.) в годы, когда проводились проектные работы по установкам БОР-60, «Орёл», МИР. В этот период он много внимания уделял развитию НИИАРа.
- **Н.В. Сухорученков.** Заслуженный энергетик РСФСР. Один из ведущих специалистов ВНИПИЭТ в области проектирования технологической части специальных энергетических установок, в том числе первого контура реакторов СМ и МИР и их петлевых установок.

## Учёные атомной отрасли



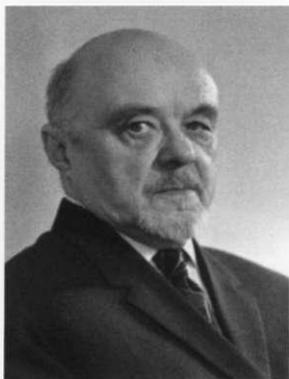
**КУРЧАТОВ**  
Игорь Васильевич



**АЛЕКСАНДРОВ**  
Анатолий Петрович



**БОЧВАР**  
Андрей Анатольевич



**ДОЛЖЕЖАЛЬ**  
Николай Антонович



**ЗАЙМОВСКИЙ**  
Александр Семёнович



**КОНОБЕЕВСКИЙ**  
Сергей Тихонович



**ЛАВЁРОВ**  
Николай Павлович



**ЛЕЙПУНСКИЙ**  
Александр Ильич



**МИТЕНКОВ**  
Фёдор Михайлович



**МЯСОЕДОВ**  
Борис Фёдорович



**РЕШЕТНИКОВ**  
Фёдор Григорьевич



**РЫКОВАНОВ**  
Георгий Николаевич



**САМОЙЛОВ**  
Андрей Григорьевич



**ТРУТНЕВ**  
Юрий Алексеевич



**ФЕЙНБЕРГ**  
Савелий Моисеевич



**ФЛЁРОВ**  
Георгий Николаевич

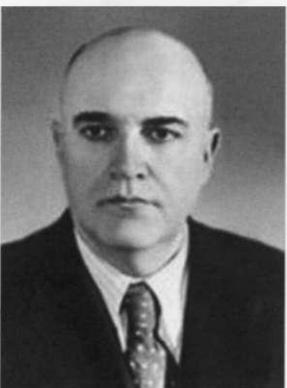


**ХАРИТОН**  
Юлий Борисович



**ХЛОПКИН**  
Николай Сидорович

## Руководители атомной отрасли



**ЗАВЕНЯГИН**  
Авраамий Павлович



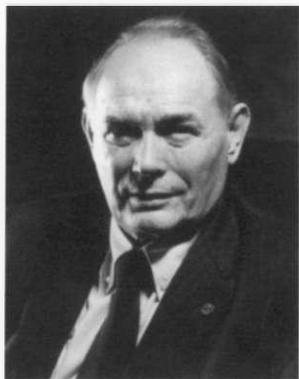
**СЛАВСКИЙ**  
Ефим Павлович



**РЯБЕВ**  
Лев Дмитриевич



**КОНОВАЛОВ**  
Виталий Фёдорович



**МИХАЙЛОВ**  
Виктор Никитович



**АДАМОВ**  
Евгений Олегович



**РУМЯНЦЕВ**  
Александр Юрьевич



**КИРИЕНКО**  
Сергей Владиленович



**ПЕТРОСЬЯНЦ**  
Андраник Мелконович



**МЕШКОВ**  
Александр Григорьевич



**ПЕРШУКОВ**  
Вячеслав Александрович



**КОНДРАТЬЕВ**  
Николай Александрович

## Ведущие специалисты атомной отрасли



**АНДРЮШИН**  
Александр Иосифович



**БАРСКИЙ**  
Михаил Леонидович



**ГУТОВ**  
Александр Иванович



**ДАВИДЕНКО**  
Виктор Александрович



**КОНДРАТЬЕВ**  
Александр Николаевич



**КУЗНЕЦОВ**  
Сергей Александрович



**САМОЙЛОВ**  
Олег Борисович



**САФУТИН**  
Валерий Дмитриевич



**СЕДОВ**  
Вячеслав Михайлович



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*Помнить — это все равно что понимать,  
а чем больше понимаешь, тем более видишь хорошего.*

М Горький

*То, что составляет достоинство мира, может быть  
спасено лишь при одном условии: помнить про это.  
А достоинство мира составляют милосердие,  
любовь к знанию и уважение внутреннего человека.*

Антуан де Сент-Экзюпери

*Человеку для движения вперед необходимо  
постоянно иметь перед собою на вершинах  
славные примеры мужества.*

Виктор Мари Гюго

## Уважаемые читатели!

В канун шестидесятилетия института и семидесятилетия атомной отрасли России сотрудниками Научно-исследовательского института атомных реакторов была сделана очередная попытка написать историю института с самых первых дней создания и рассказать об основных его достижениях в различных областях атомной науки и техники. Так появилось на свет юбилейное издание «НИИАРу — 60: люди, годы, свершения».

О предприятиях, научно-исследовательских институтах и конструкторских бюро отрасли, истории создания, становления и развития их коллективов написано немало книг. В основу этой книги её составители положили не столько результаты научно-технических достижений, хотя и о них сказано достаточно, сколько постарались остановиться подробнее на истории тех людей, которые внесли заметный вклад в дело развития института.

Без достижений учёных и специалистов НИИАРа трудно представить современное положение в стационарной атомной энергетике с реакторами ВВЭР, РБМК и БН; транспортной энергетике с реакторами атомных ледоколов и подводных лодок; развитии исследовательских реакторов; исследованиях свойств трансурановых элементов; создании всевозможных источников излучения для различных отраслей народного хозяйства. Первое поколение учёных и специалистов НИИАРа сумело не только создать, освоить и использовать первоклассную экспериментальную базу, но и передать следующему поколению накопленный опыт через монографии и учебные пособия, проведение курсовой и преддипломной практики для студентов вузов. Такое родство поколений, передача опыта стали возможными благодаря тому прекрасному морально-этическому климату, царящему в коллективе института, который всегда отмечали приезжающие в НИИАР учёные и специалисты из СССР, России и зарубежных стран. Специалистов первого поколения отличали преданность долгу и делу, огромное трудолюбие, им приходилось решать нелёгкие задачи и искать непростые решения. Все их достижения — плод творческого горения, индивидуальных озарений и коллективных решений. Каждый из них достоин уважения и памяти потомков.

Составители книги не претендуют на историческую точность представляемых сведений. Человеческая память, как известно, не может вместить всего. Ей присущи субъективизм и избирательность. Эта книга — попытка сохранить и донести до потомков крупицы воспоминаний ветеранов и участников описываемых в книге событий. Часто это сугубо личный взгляд, иногда — общепризнанная позиция. Но у читателя всегда есть возможность остаться при своём мнении или, к примеру, написать свою историю о том времени. К сожалению, авторы не смогли упомянуть в этой книге фамилии всех, кого хотели бы и нужно было бы вспомнить. Не смогли вместить в книгу и весь иллюстративный материал, имеющийся в архивах. Временные рамки, заданные для осуществления этого проекта, не позволили авторам и редакторам реализовать всё задуманное. Надеемся, что новая плеяда писателей поправит все неточности, невольно допущенные в этой редакции книги, а это издание явится высокой оценкой грандиозной работы, которая была проделана за первые шестьдесят лет самоотверженного добросовестного труда тысяч сотрудников института, и послужит подспорьем тем, кто решится писать в дальнейшем историю предприятия.

Второе издание книги дополнено сведениями об истории становления некоторых коллективов, о направлениях исследований, не упомянутых или не полностью отражённых в первом издании. На страницах переработанного и дополненного издания появились новые имена и лица, яркие цветные иллюстрации. Редакторы и дизайнеры постарались, сохраняя общую задумку юбилейной книги, внести во второе издание новое дыхание, сделать его более красочным, исправить все не-

вольно допущенные недочёты, выявленные при подготовке к печати этого труда. Без сомнения, ещё много ошибок и неточностей таит в себе эта книга. Срок, отвeдeнный на подготовку второго издания, не позволил редакторам осуществить все предложения по улучшению, но это широкое поле деятельности остаётся для следующих поколений.

Авторы и редакторы выражают искреннюю благодарность всем тем, кто не остался в стороне от процесса создания книги, кто нашёл время прочитать, проанализировать сведения, содержащиеся в первом юбилейном издании, обратиться к своим архивам и направить в редакцию свои замечания и предложения: Ю.А. Кушниру, Н.И. Крошкину, Г.А. Тимофееву, В.Б. Мишинёву, С.К. Вавилову, В.М. Чистякову, В.М. Лебедеву, Е.А. Ерину, А.В. Захарову, В.К. Шамардину, А.С. Ладзину, Г.Г. Кузину, М.Г. Мокеичеву, М.М. Валкину, Е.М. Табакину, Д.В. Уранову, А.П. Малкову, А.Л. Петелину, А.А. Горбачу, Л.С. Демидовой, Ю.А. Кабанову, О.В. Шаренковой, В.А. Лебедеву, И.Н. Сафроновой и другим, а также огромному количеству как бывших, так и ныне действующих сотрудников института, которые с радостью откликнулись на просьбу помочь, скрупулёзно разыскивая необходимые сведения или уточняя какие-то данные.

Особую признательность следует выразить профессору Е.П. Ключкову, стоявшему у истоков создания книги, главному её автору и составителю, чьи упорство и талант организатора сумели убедить всех многочисленных недоброжелателей и скептиков в необходимости издания сего труда.

Большое спасибо хочется сказать и всем сотрудникам управления коммуникаций во главе с А.П. Волковой, которые восприняли эту книгу как своё детище и много затратили душевных сил и времени для того, чтобы все задумки авторов были реализованы и книга увидела свет.

От лица авторов и редакторов хочется отдельные слова благодарности адресовать замечательному и интеллигентнейшему человеку, одному из инициаторов подготовки данной книги, профессору В.В. Калыгину, без вдумчивого отношения к работе, острого взгляда, обширных научных знаний и опыта которого это издание много бы потеряло, чьё чувство юмора поддерживало, нестандартность подходов провоцировала на дальнейший поиск решения, энциклопедичность знаний поражала, умение выхватить суть вещей мобилизовывало, а творчество вдохновляло. В заключение хотелось бы привести строки, написанные им по случаю юбилейной даты и отражающие, на наш взгляд, общий настрой сотрудников института — как ранее трудившихся, так и работающих в настоящее время, их бесконечную преданность своему предприятию, понимание необходимости и важности своей работы, гордость за полученные уникальные результаты.

*Давай, друг мой, поднимем по одной  
За институт до боли нам родной,  
Ведь только с ним нам интересно жить.  
За НИИАР мы будем стоя пить!*

*Наши реакторы, все хоть и разные,  
Очень похожи своей репутацией:  
И результаты работы прекрасные,  
И безопасна эксплуатация.  
Здесь в институте делают Дело.  
И пусть задачи, как правило, сложные,  
Эксперименты проводим мы смелые,  
Данные наши — супернадёжные.*

*Давай за МИР и за ВК!  
СМу — слава на века!  
За РБТ давай, за БОР!  
Какой реакторов подбор!  
За тех, кто на пультах сидит,  
Кто за режимами следит.  
За нишаровцев до дна  
Давай поднимем, старина!*

*Все ледоколы, АЭС и подлодки  
Здесь в институте проходят крещение,  
И марсоходов успех и находки —  
Это удачные наши решения.  
Топливный цикл и изотопы,  
Наших исследований результаты —  
Стресс для Америки, зависть Европы.  
Их изучают все азиаты.*

*Давай за МОКС, за вибротвэл —  
БН-реакторов удел,  
За калифорний, стронций, йод —  
Народ здоровье в них найдёт!  
За ОРМ возьми бокал,  
Чтоб твэл не пух и пэл стоял,  
За славные дела до дна  
Давай поднимем, старина!*

*Нас критикуют редко по делу,  
Мы с каждым разом только крепчаем.  
В завтрашний день смотрим мы смело,  
А тех, кто не с нами, — просто прощаем.  
Чудо прогресса, гордость Средмаши,  
Вряд ли другой такой в мире найдётся.  
Что бы ни делали недруги наши,  
Время течёт — НИИАР остаётся!*

*Давай, друг мой, налей полней!  
Судьба у нас с тобой одна,  
И бесполезно спорить с ней —  
За НИИАР мы пьём до дна!*

*Авторы и редакторы\**

\* Отзывы о книге, информацию о допущенных неточностях просим направлять в адрес редакции, указанный на последней странице издания.

## НИИАР сегодня











## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АГИ — альтернативный гамма-источник.

АЗ — аварийная защита.

АК — автоматизированный комплекс.

АН — Академия наук.

АНИ — альтернативный нейтронный источник.

АО — акционерное общество.

АРБУС — арктическая реакторная блочная установка (на органическом теплоносителе).

АРМ — автоматический регулятор мощности.

АСКРО — автоматическая система контроля радиационной обстановки.

АСНИ — автоматизированная система научных исследований.

АСТ — атомная станция теплоснабжения.

АСУ — автоматизированная система управления.

АТУ — атомная теплофикационная установка.

АТС — автоматическая телефонная станция.

АТЭЦ — атомная теплоэлектроцентраль.

АЭС — атомная электростанция.

АЭУ — атомная энергетическая установка.

БАЭС — Белоярская атомная электростанция.

ББК — библиотечно-библиографическая классификация.

БВ — бассейн выдержки.

БМС — бюро международного сотрудничества.

БН — натриевый реактор на быстрых нейтронах.

БН-600 / 800 — реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем мощностью 600 / 800 МВт.

БОР-60 — быстрый (на быстрых нейтронах) опытный реактор; исследовательский реактор мощностью 60 МВт.

БР — реактор на быстрых нейтронах.

БРЕСТ — быстрый (на быстрых нейтронах) реактор естественной безопасности со свинцовым теплоносителем.

БТИ — бюро технической информации.

БУЛ — библиографический указатель литературы.

БЭСМ — большая (быстродействующая) электронно-счётная машина.

ВАНТ — Вопросы атомной науки и техники (журнал).

ВВЭР — водо-водяной энергетический реактор.

ВДНХ — Выставка достижений народного хозяйства.

ВИЗУС — установка для обеспечения визуального контроля пространства между ТВС и поворотными пробками при перегрузке реактора.

ВИЗУС-КОРН — объединённый общей системой циркуляции и очистки натрия совмещённый метрологический стенд (ВИЗУС — «визуальная установка» и КОРН — «корреляция расхода натрия») для проверки электромагнитных корреляционных методов измерения расхода натрия, испытания и тарирования расходомеров различного назначения, элементов системы звуковидения под слоем натрия и другого.

ВК-50 — водо-водяной кипящий реактор.

ВМ — военно-морской; серия советских водо-водяных ядерных реакторов на тепловых нейтронах, размещаемых на подводных лодках.

ВМ-А — серия советских водо-водяных ядерных реакторов (под давлением) на тепловых нейтронах, размещаемых на подводных лодках.

ВНИИНМ (АО «ВНИИНМ») — Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов.

ВНИИРТ (АО «НИИТФА») — Всероссийский научно-исследовательский институт радиационной техники. То же, что и ВНИИТФА.

ВНИИТФА (АО «НИИТФА») — Всесоюзный научно-исследовательский институт технической физики и автоматизации. То же, что и ВНИИРТ.

ВНИИЭФ (ФГУП «РФЯЦ — ВНИИЭФ») — Всесоюзный научно-исследовательский институт экспериментальной физики.

ВНИИЯГГ (ФГУП «ГНЦ "ВНИИгеосистем"») — Всесоюзный научно-исследовательский институт ядерной геофизики и геохимии. То же, что и Всероссийский научно-исследовательский институт геологических, геофизических и геохимических систем.

ВНИПИЭТ (АО «Атомпроект») — Всероссийский научно-исследовательский и проектный институт комплексной энергетической технологии (ранее ГСПИ-11). То же, что и ОАО «ГИ "ВНИПИЭТ"» (Головной институт «Восточно-Европейский научно-исследовательский и проектный институт энергетических технологий»).

ВП — то же, что и ПВ.

ВПО — высшее профессиональное образование.

ВТГР — высокотемпературный газоохлаждаемый реактор.

Вуз — высшее учебное заведение, учреждение высшего профессионального образования.

ВЭД — вибратор электродинамический.

ВЭК — вертикальный экспериментальный канал.

ГДР — Германская Демократическая Республика.

ГЕОХИ (ФГБУН «ГЕОХИ РАН») — Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского Российской академии наук.

ГК — горизонтальный канал.

ГК60М — источник ионизирующего излучения на основе кобальта-60.

Главк — главное управление при Совете Министров СССР.

ГН — графитовый натриевый реактор.

ГНЦ — государственный научный центр.

Госгортехнадзор — Государственный горный и промышленный надзор РФ (ныне Ростехнадзор).

Госкомитет — государственный комитет.

Госкорпорация «Росатом», Росатом — Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом».

ГОСТ — государственный стандарт.

ГПП — главная понизительная подстанция.

ГРНТИ — государственный рубрикатор научно-технической информации, представляющий собой универсальную иерархическую классификационную систему областей знаний, принятую для систематизации всего потока научно-технической информации в России и государствах СНГ.

ГРО — газообразные радиоактивные отходы.

ГСПИ-11 — Государственный строительно-проектный институт № 11, то же, что и ВНИПИЭТ.

ГС75 — источник гамма-излучения на основе селена-75.

ГХК (ФЯО «ФГУП "ГХК"») — Горно-химический комбинат.

ГЭС — гидроэлектростанция.

ДИНБОР — программный комплекс, предназначенный для теплогидравлических расчётов (например, расхода теплоносителя реактора БОР-60 (ДИНамика БОР)).

ДИТИ НИЯУ МИФИ — Димитровградский инженерно-технологический институт — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет "Московский инженерно-физический институт"».

ДОР — дифференцированное обеспечение руководства.

ДОСААФ — добровольное общество содействия армии, авиации и флоту.

ДСО — добровольное спортивное общество.

ДУС — Димитровградское управление строительства.

ЕС КРБ — единая система контроля радиационной безопасности.

ЖРО — жидкие радиоактивные отходы.

ИАЭ (НИЦ «Курчатовский институт») — Институт атомной энергии. То же, что Институт атомной энергии имени И.В. Курчатова, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

ИАЭС — Игналинская электростанция.

ИВТЭ УрО РАН (ФГБУН «ИВТЭ УрО РАН») — Институт высокотемпературной электрохимии Уральского филиала Российской академии наук.

ИДК — индивидуальный дозиметрический контроль.

ИКИ РАН (ФГБУН «ИКИ РАН») — Институт космических исследований Российской академии наук.

ИМ — исполнительный механизм.

ИМБП (ФГБУН «ГНЦ РФ — ИМБП РАН») — Институт медико-биологических проблем.

ИМР (ФГБУ «МРНЦ Минздрава РФ») — Институт медицинской радиологии Академии медицинских наук СССР. То же, что и Медицинский радиологический научный центр Министерства здравоохранения Российской Федерации.

ИНЕС — международная шкала ядерных событий.

ИПП НАН УССР (ИПП НАН Украины) — Институт проблем прочности имени Г.С. Писаренко Национальной академии наук Украины.

ИР — исследовательский реактор.

ИРИ — избирательное распределение информации.

ИС — информационная система.

ИТЕР (англ. *International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER)*) — международный экспериментальный термоядерный реактор.

ИЯИ — Институт ядерных исследований.

ИЯФ (ФГБУ «ПНИЯФ») — Институт ядерной физики. То же, что и Петербургский институт ядерной физики имени Б.П. Константинова.

КВ-1 — наземный стенд, предназначенный для испытаний реакторов атомных подводных лодок III поколения.

КГИ — коэффициент гармонических искажений.

КИАЭ — Китайский институт атомной энергии.

КИП и А — контрольно-измерительные приборы и автоматика.

КН-3 — реакторная установка для тяжёлых атомных крейсеров.

КОРО — комплекс по обращению с радиоактивными отходами.

КПСС — Коммунистическая партия Советского Союза.

КЭ — квазиэлектронный.

ЛАЭС — Ленинградская атомная электростанция.

ЛЕНД (англ. *Lunar exploration neutron detector*) — лунный исследовательский нейтронный детектор.

ЛОРО — лаборатория отработавших радиоактивных отходов.

ЛПИ (ФГАОУ ВО «СПБПУ») — Ленинградский политехнический институт имени М. И. Калинина. То же, что Ленинградский государственный технический университет, Санкт-Петербургский государственный технический университет, Санкт-Петербургский государственный технический университет, Санкт-Петербургский государственный технический университет.

бургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

ЛРО (англ. *Lunar reconnaissance orbiter*) — лунный разведывательный орбитер (космический аппарат и проект).

ЛТИ (ФГАОУ ВО «СПбГТИ (ТУ)») — Ленинградский технологический институт. То же, что Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет).

ЛЭП — линия электропередач.

МАВР — малогабаритный абсорбер для выведения радиоактивности, предназначенный для реакторов на быстрых нейтронах.

МАГАТЭ — Международное агентство по атомной энергии.

МБИР — многоцелевой исследовательский реактор на быстрых нейтронах.

МВО — материаловедческий отдел.

МГУ (ФГБОУ ВО «МГУ») — Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова.

МЗП (АО «МЗП») — Московский завод полиметаллов.

Минатом — Министерство Российской Федерации по атомной энергии.

Минсредмаш — Министерство среднего машиностроения.

МИР — материаловедческий исследовательский реактор, многопетлевой.

МИФИ (ФГАОУ ВО «НИЯУ МИФИ») — Московский инженерно-физический институт. То же, что и Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт».

МОКС — смешанное уран-плутониевое оксидное (топливо).

МР — материаловедческий реактор.

МСМ — то же, что и Минсредмаш.

МСЗ (ПАО «МСЗ») — Машиностроительный завод имени М.И. Калинина.

МСУ — монтажно-строительное управление.

МСЧ — медико-санитарная часть.

МЭИ (ФГБОУ ВО «НИУ "МЭИ"») — Московский ордена Ленина и ордена Октябрьской революции энергетический институт. То же, что и Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт».

НАА — нейтронно-активационный анализ.

НИИАР (АО «ГНЦ НИИАР») — Научно-исследовательский институт атомных реакторов.

НИКИМТ (АО «НИКИМТ-Атомстрой») — Научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии.

НИКИЭТ (АО «НИКИЭТ») — Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежала.

- НИОКР — научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа.
- НИЦ — Национальный исследовательский центр.
- НК252М — источник нейтронный с калифорнием-252.
- НПИ (НГУ, ГИИ, ГПИ, НГТУ, ФГБОУ ВО «ННГТУ») — Нижегородский политехнический институт. То же, что и Нижегородский государственный университет, Горьковский индустриальный институт, Горьковский политехнический институт, Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева.
- НПО — Научно-производственное объединение.
- ОАО — открытое акционерное общество.
- ОВТ и А (ОВТА) — отдел вычислительной техники и автоматизации.
- ОГМ — отдел главного механика.
- ОГС — отдел главного сварщика.
- ОГЭ — отдел главного энергетика.
- ОДУ — объединённое диспетчерское управление.
- ОИР — отдел исследовательских реакторов.
- ОИТ — отдел измерительной техники.
- ОИЯИ — Объединённый институт ядерных исследований.
- ОКБ «Гидропресс» (АО «ОКБ "Гидропресс"») — Ордена Трудового Красного Знамени и ордена труда ЧССР опытное конструкторское бюро по конструкциям гидропрессового оборудования «Гидропресс».
- ОКБМ (АО «ОКБМ Африкантов») — Опытное конструкторское бюро машиностроения. То же, что и Опытное конструкторское бюро машиностроения имени И.И. Африкантова.
- ОМВ и Т — отдел материаловедения и технологии.
- ОНТИ — отдел научно-технической информации.
- ОПГ — обратный парогенератор.
- ОРБ — отдел радиационной безопасности.
- ОРС — отдел рабочего снабжения.
- ОСК — отдел средств контроля.
- ОСК-ИС — отдел средств контроля информационных систем.
- ОТВС — отработавшая тепловыделяющая сборка.
- ОУС и М — отдел управления собственностью и маркетинга.
- ОФИБР — отдел физики и безопасности быстрых реакторов.
- ОЭЦ — опытно-экспериментальный цех.
- ОЯТ — отработавшее ядерное топливо.
- П/я — почтовый ящик.
- ПАО — публичное акционерное общество.
- ПВ — петлевая установка с водяным теплоносителем.

- ПВК — петлевая установка с водяным теплоносителем, кипящая.
- ПВП — петлевая установка с водяным теплоносителем, перегревная, то есть предназначенная для моделирования аварий с потерей теплообмена.
- ПГ — петлевая установка с газовым теплоносителем; в некоторых главах может обозначать парогенератор.
- ПМ — петлевая установка с жидкометаллическим теплоносителем.
- ПО — производственное объединение.
- ПО «Маяк» (ФГУП «ПО "Маяк"») — производственное объединение «Маяк».
- ППР — плановый предупредительный ремонт.
- ПРИМА — петлевой реактор для исследования и моделирования аварий.
- ПТВМ — первый водогрейный котёл.
- ПТНА — питательный турбонасосный агрегат.
- ПТО — производственно-технический отдел.
- ПЭВМ — персональная электронная вычислительная машина.
- Пэл — поглощающий элемент.
- РАЕН — Российской академии естественных наук.
- РАН — Российская академия наук.
- РБ — радиационная безопасность.
- РБМК — кипящий реактор большой мощности.
- РБН — реактор на быстрых нейтронах.
- РБТ — реактор бассейнового типа.
- РЕМИКС (от англ. *regenerated mixture* — *REMIX*) — инновационное российское ядерное топливо для водо-водяных энергетических реакторов типа ВВЭР, получаемое из неразделённой смеси регенерированного урана и плутония, которая образуется при переработке отработавшего ядерного топлива.
- РИК — реакторный исследовательский комплекс.
- РИТМ — реактор интегрального типа, модульный.
- РК — радиационный контроль.
- РМЗ — ремонтно-механический завод.
- Роскосмос — Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос».
- Ростехнадзор — Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору.
- Росэнергоатом (АО «Концерн Росэнергоатом») — Концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях.
- РР — ручной регулятор.
- РСФСР — Российская Советская Федеративная Социалистическая Республика.
- РУ — реакторная установка.

РФ — Российская Федерация.

РФТ — физико-технический реактор.

РФЯЦ — Российский федеральный ядерный центр.

РХО — радиохимическое отделение

САВР — система аккумулирования воды реактора.

САИ — Связьатоминформ.

САОР — система аварийного охлаждения реактора.

СВБР — реактор на быстрых нейтронах со свинцово-висмутовым теплоносителем.

СвердНИИхиммаш (АО «СвердНИИхиммаш») — Свердловский научно-исследовательский институт химического машиностроения.

СГМ — служба главного механика.

СИЧ — спектрометр излучения человека.

СМ — высокопоточный корпусной водо-водяной реактор, названный самым мощным из-за высокой плотности потока тепловых нейтронов.

СНГ — Содружество Независимых Государств.

СНМ-17 — коронный счётчик нейтронов для регистрации малых потоков медленных нейтронов.

СОКВ — система оперативного контроля выбросов.

СОМП — стандартный образец массы плутония.

СОМУ — стандартный образец массы урана.

СП — сепарационный стенд.

СССР — Союз Советских Социалистических Республик.

СУЗ — система управления и защиты.

США — Соединённые Штаты Америки.

СЭВ — Совет экономической взаимопомощи.

Т. а. — тяжёлый атом.

ТВС — тепловыделяющая сборка.

ТВС-2 — ТВС с жёстким каркасом, образованным приваркой двенадцати дистанционирующих решёток к направляющим каналам.

ТВС-2М — модификация ТВС-2 с укороченными концевыми деталями и удлинённым топливным столбом активной зоны, дополнительно оптимизированными дистанционирующими решётками для уменьшения гидродинамического сопротивления (тринадцатая решётка внизу закрепляет пучок в зоне гидродинамической неустойчивости), предназначена для восемнадцатимесячного топливного цикла.

ТВСА — тепловыделяющая сборка, альтернативная; с жёстким каркасом, формируемым шестью уголками и дистанционирующими решётками.

ТВСА-PLUS — разрабатываемая конструкция ТВСА, рассчитанная на эксплуатацию в восемнадцатимесячном топливном цикле при работе на мощности 104 % от номинальной.

ТВСА-Т — ТВСА с сокращённым до восьми количеством дистанционирующих решёток, модификация ТВСА для поставок на АЭС «Темелин» (Чехия) для замены топлива американской компании «Вестингауз».

ТВСА-АЛЬФА — тепловыделяющая сборка, комплектуемая восьмью дистанционирующими решётками увеличенной высоты с оптимизированной геометрией ячейки, твэлами с оболочкой меньшей толщины и таблетками без отверстия.

ТВСА-У — ТВСА с удлиненной активной частью.

Твзг — тепловыделяющий элемент с оксидом гадолиния.

Твэл — тепловыделяющий элемент.

ТГ — тяжёловодный гомогенный реактор.

ТК — транспортный контейнер.

ТО и Р — техническое обслуживание и ремонт.

ТОБ — техническое обоснование безопасности.

ТПИ (ТПУ, ФГАОУ ВО «НИ ТПУ») — Томский политехнический институт. То же, что и Томский политехнический университет, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

ТРО — твёрдые радиоактивные отходы.

ТУК — транспортно-упаковочный комплект.

ТФУ — теплофикационная установка.

ТЦН — циркуляционный турбонасос.

ТЭП — термоэлектрический преобразователь.

ТЭЦ — теплоэлектроцентраль.

У — ускоритель ядер и тяжёлых ионов, циклотрон тяжёлых ионов с рекордными параметрами пучков для проведения экспериментов по синтезу тяжёлых и экзотических ядер.

УАТС — управление автоматической телефонной станции.

УГЭ — управление главного энергетика.

УДК — универсальная десятичная классификация книг, широко применяемая во всём мире, и её индекс — обязательный элемент выходных сведений издания.

УДОТ — устройство дооблучения облучённых твэлов.

УКС — управления капитального строительства.

УлГТУ (ФГБОУ ВО «УлГТУ») — Ульяновский государственный технический университет.

УлГУ (ФГБОУ ВО «УлГУ») — Ульяновский государственный университет.

УПАК — установка подавления газовой активности.

УПИ (УГТУ, ФГАОУ ВО «УФУ им. Б.Н. Ельцина») — Уральский политехнический институт имени С.М. Кирова. То же, что и Уральский государственный технический университет, Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина.

УР — установка радиохимическая.

УССР — Украинская Советская Социалистическая Республика.

УТВС — усовершенствованная тепловыделяющая сборка, каркас которой изготовлен из циркония, в качестве выгорающего поглотителя используется оксид гадолиния, равномерно распределённый по объёму топливных таблеток нескольких твэгов; разборная ТВС (при обнаружении негерметичного твэла кассету можно отремонтировать, заменив повреждённый твэл на герметичный).

ФГАОУ ВО — федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования.

ФГБОУ ВО — федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования.

ФГБУ — федеральное государственное бюджетное учреждение.

ФГБУН — федеральное государственное бюджетное учреждение науки.

ФГУП — федеральное государственное унитарное предприятие.

Фрегат — фторидная регенерация «горячего» атомного топлива.

ФЭИ (АО «ГНЦ РФ — ФЭИ») — Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского.

ФЭУ — фотоэлектронный умножитель.

ФЯО — федеральная ядерная организация.

ХФТИ (УФТИ, ННЦ «ХФТИ») — Харьковский физико-технический институт. То же, что и Украинский физико-технический институт, Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт».

ЦЕНА — устройство контроля герметичности оболочек твэлов тепловыделяющих сборок реакторов на быстрых нейтронах по измерению содержания цезия в натрии (ЦЕзий — НАтрий).

ЦИЯИ АН ГДР — Центральный институт ядерных исследований Академии наук ГДР.

ЦКБМ (АО «ЦКБМ») — Центральное конструкторское бюро машиностроения.

ЦНИИ КМ «Прометей» (ФГУП «ЦНИИ КМ "Прометей"») — Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей».

ЦНИИТМАШ (АО «НПО "ЦНИИТМАШ"») — Центральный научно-исследовательский институт технологий машиностроения.

ЦСР — централизованная служба ремонта.

ЦЦР — цех централизованного ремонта.

ЧССР — Чехословацкая Социалистическая Республика.

ЭВМ — то же, что ПЭВМ.

ЭМО — энергомеханический отдел.

ЭП — экспериментальная петля.

ЭТВС — экспериментальная тепловыделяющая сборка.

ЯЛК — ядерно-легированный кремний.

27/ВМ (стенд) — наземный прототип реакторной установки ВМ-А с водо-водяным реактором под давлением.

27/ВТ (стенд) — наземный прототип установки 645ВТ с реактором, для которого в качестве теплоносителя использовался жидкий металл (Pb–Bi).

APXS — альфа-протонно-рентгеновский спектрометр.

ASTM International (*American Society for Testing and Materials*) — американская международная организация, разрабатывающая и издающая добровольные стандарты для материалов, продуктов, систем и услуг.

CARR (*China Advanced Research Reactor*) — китайский усовершенствованный исследовательский реактор.

CMRR (*Chinese Mianyang Research Reactor*) — китайский исследовательский реактор (Мяньян).

DFR (*Dual Fluid Reactor*) — двухконтурный водный реактор.

EBR (*Experimental Breeder Reactor*) — экспериментальный реактор-размножитель.

ICERR (*International Centres based on Research Reactor*) — Международный центр на базе исследовательских реакторов.

ISBN (*International Standard Book Number*) — международный стандартный книжный номер, обязательный элемент выходных данных издания.

KNK (*Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage Karlsruhe*) — компактная ядерная установка с натриевым охлаждением (г. Карлсруэ).

LOCA (*loss-of-coolant accident*) — авария с потерей теплоносителя.

RIA (*reactivity-initiation accident*) — авария с неконтролируемым возрастанием реактивности.

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Атомный проект СССР. Документы и материалы: в 3 т. / под общей редакцией Л.Д. Рябева. Том I. 1938–1945. Ч. 2. — М.: Московский физико-технический институт, 2002. — 800 с.
2. Атомный проект СССР. Документы и материалы: в 3 т. / под общей редакцией Л.Д. Рябева. Том II. Атомная бомба. 1945–1954. Книга 1. — Москва: Наука, Физматлит — Саров: ФГУП «Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», 1999. — 719 с.
3. Атомный проект СССР. Документы и материалы: в 3 т. / под общей редакцией Л.Д. Рябева. Том II. Атомная бомба. 1945–1954. Книга 4. — Там же. — 816 с.
4. Круглов А.К. Штаб Атомпрома. — М.: ЦНИИАтоминформ, 1998. — 496 с.
5. Круглов А.К. Как создавалась атомная промышленность в СССР. — М.: ЦНИИАтоминформ, 1994. — 379 с.
6. Создание первой советской ядерной бомбы / под редакцией В.Н. Михайлова. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 445 с.
7. Серия «Творцы ядерного века». Славский Е.П. Страницы жизни. — М.: Издат, 1998. — 240 с.
8. На благо России. К 75-летию академика РАН Ю.А. Трутнева / под редакцией Р.И. Илькаева. — Саров: ФГУП «Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» — Саранск: Типография «Красный Октябрь», 2002. — 264 с.
9. Ядерная индустрия России / под ред. А.М. Петросьянца. — М.: Энергоатомиздат, 1999. — 240 с.
10. Герои атомного проекта. — Саров: ФГУП «Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», 2005. — 566 с.
11. Энциклопедия «Машиностроение» / под редакцией академика Российской академии наук К.В. Фролова: в 40 т. Т. IV-25. Машиностроение ядерной техники. Книга 1. — М.: Машиностроение, 2005.— 960 с.
12. Энциклопедия «Машиностроение» / под редакцией академика Российской академии наук К.В. Фролова: в 40 т. Т. IV-25. Машиностроение ядерной техники. Книга 2. — Там же. — 944 с.

13. Александров А.П. Документы и воспоминания. К 100-летию со дня рождения / под редакцией академика Российской академии наук Н.С. Хлопкина. — М.: Издат, 2003. — 454 с.
14. Серия «Творцы ядерного века». Доллежалъ Н.А. У истоков рукотворного мира. Записки конструктора. — 2-е изд., доп. — М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники», 1999. — 255 с.
15. Цыканов В.А. Из истории создания реактора СМ. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 1996. — 32 с.
16. Кузнецов А.И. Памятные вехи. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 1996. — 8 с.
17. Гаджиев Г.И., Нечаев Б.Н. История реакторной установки БОР-60. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 1996. — 18 с.
18. Цыканов В.А., Старков В.А., Клинов А.В., Святкин М.Н. Высокопоточный реактор СМ-2 и его роль в развитии атомной науки и техники. — Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2011 г. — 32 с.
19. Цыканов В.А. Роль исследовательских реакторов в развитии ядерных технологий. — Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2011 г. — 32 с.
20. Цыканов В.А. НИИАРу — 50 лет. История, достижения, перспективы. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2006. — 96 с.
21. Хубльдииков Ю.Н. Люди большой стройки. — Димитровград: ООО «ПФ "ДИАМ"», 2010. — 320 с.
22. Димитровград. 300 лет / под редакцией Л. Плешановой. — Тольятти: Редакционно-издательская фирма «НИКА», 1998. — 158 с.
23. Семёнычев С.Б. Этапы большого пути. От п/я 30 к ГНЦ НИИАР. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2006. — 222 с.
24. Садун В.Г., Карпов А.Н. Изготовление и монтаж реактора МИР: к 30-летию эксплуатации. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 1998. — 10 с.
25. Рыков А.Г., Карелин Е.А., Клинов А.В. и др. Работы института по получению трансплутониевых элементов: препринт: НИИАР 11(464). — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 1981. — 12 с.
26. Николаев В.М., Тимофеев Г.А., Васильков В.Я. и др. Исследования химии и химической технологии трансурановых элементов. — М.: ЦНИИАтоминформ, 1986. — 23 с.

27. Тимофеев Г.А. Методы аналитического контроля в технологии трансплутониевых элементов. Кн. «Современные методы разделения и определения радиоактивных элементов» / под редакцией Б.Ф. Мясоедова. — М.: Наука, 1989. — 22 с.
28. Nikolaev V.M., Gordeev Ya.N., Karelin E.A. et al. An experience in transplutonium element production and application // J. of Less Common Metals, 1986. V. 122. P. 401–410.
29. Timofeev G.A., Rykov A.G., Gabeskiriya V.Ya. et al. Nuclear oxide fuel analysis // J. of Radioanal Chem., 1979. № 2. P. 377–383.
30. Отделение реакторного материаловедения НИИАР. 1964–2014. Страницы воспоминаний / под редакцией Ф.Н. Крюкова. — Ульяновск: ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный университет», 2014. — 232 с.
31. Страницы истории. 40 лет ОПИНТИ. — Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 1999. — 36 с.



Научно-популярное издание

**Клочков Евгений Петрович**  
**Гордеев Ян Николаевич**  
**Вавилов Сергей Константинович**  
**Крюков Фёдор Николаевич**  
**Ладзин Александр Степанович**  
**Скиба Олег Владимирович**  
**Туртаев Николай Павлович**  
**Шишин Валерий Юрьевич**  
**Шулимов Виталий Николаевич**

## **НИИАРу — 60: люди, годы, свершения**

*под общей редакцией  
доктора технических наук, профессора В.В. Калыгина*

Издание второе, переработанное и дополненное

Редакторы: Т.А. МаксUTOва (24–108, 271–289, 350–370, 372–391 с.)  
и Н.В. Чертухина (1–23, 109–270, 290–349, 370–372, 392–416 с.)

Компьютерная вёрстка Л.Н. Никишиной  
Дизайн издания М.Н. Мурзиной и В.М. Недашковского

Подписано в печать 09.06.17. Формат 84×108/16.

Уч.-изд. л. 35,11. Усл. печ. л. 43,68. Печать полноцветная. Бумага офсетная.

Гарнитура Arial, Times New Roman, Myriad Pro Cond, Myriad Pro.

Тираж 500 экз. Заказ № 792.

Оригинал-макет подготовлен специалистами  
управления коммуникаций АО «ГНЦ НИИАР»  
433510, Ульяновская область, г. Димитровград, Западное шоссе, 9  
Тел.: 8 (84-235) 6-51-46, e-mail: bri@niiar.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством  
предоставленного электронного оригинал-макета  
в АО «Областная типография «Печатный двор»  
432049, г. Ульяновск, ул. Пушкирева, 27.