

АТОМ

№ 96²⁰²²



70 ЛЕТ
ФИЗИЧЕСКОМУ ОТДЕЛЕНИЮ
РЯЦ-ВНИИЭФ,
1952–2022



ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ ФИЗИКИ

Уважаемые ветераны и сотрудники ИЯРФ,
поздравляю Вас с 70-летием со дня образования физического сектора!

Итоги многолетнего увлеченного и напряженного труда Вашего коллектива, начало которому было положено выдающимися учеными-энтузиастами Г. Н. Флеровым, В. А. Давиденко, А. И. Павловским, дают все основания гордиться достигнутым! Вы обеспечили ядерно-физическими константами и данными критмассовых экспериментов создание первых образцов ядерных зарядов.

Вами отработаны конструкция и технология изготовления устройства внешнего нейтронного инициирования, разработаны свыше сотни физических и радиохимических методик измерения параметров изделий и обеспечены измерения их характеристик во всех испытаниях, проведенных Российским федеральным ядерным центром.

Коллективом ИЯРФ внесен определяющий вклад в создание в стране новой научно-технической отрасли – регистрации импульсных ионизирующих излучений в широком диапазоне пространственных, временных, спектральных и энергетических характеристик. Разработана огромная номенклатура лабораторных источников ионизирующих излучений, на которых проведены, во многих случаях впервые в мире, ядерно-физические исследования взаимодействия излучений с веществом, выполнены исследования возможностей использования радиационных технологий в промышленности.

Большой объем работ проведен по созданию облучательных комплексов, моделирующих воздействие высокоинтенсивных излучений ядерного взрыва, и по испытаниям радиационной стойкости широкой номенклатуры образцов военной техники. В современных условиях фронт работ не иссякает, а расширяется в область интересов космической отрасли, а также моделирования различных источников ИИ.

Сегодня ИЯРФ – центр компетенций в области ядерной и радиационной физики, на уникальной базе которого сотрудники института совместно с другими подразделениями ВНИИЭФ обеспечивают возможность экспериментально-расчетными методами подтверждать надежность ядерного оружия России.

Желаю коллективу ИЯРФ новых успехов и достижений на благо Отечества!

Директор РФЯЦ-ВНИИЭФ В. Е. Костюков

Уважаемые коллеги!

Примите мои самые теплые поздравления с юбилеем!

Создание в 1952 году в КБ-11 специального сектора по ядерно-физическим исследованиям стало знаковым событием для всей деятельности нашего ядерного центра вплоть до настоящего времени.

Это было определено двумя факторами. Во-первых, наличием молодого, но высокопрофессионального коллектива специалистов, успешно решавших задачи в области ядерной физики, необходимые для ядерно-оружейной деятельности. Во-вторых, расширением тематики, связанной прежде всего с созданием термоядерного оружия и специальной экспериментальной базы.

У истоков ядерно-физических исследований в КБ-11 стоял выдающийся ученый Георгий Николаевич Флеров, внесший большой вклад в создание первой атомной бомбы РДС-1, а затем определивший и развивший новое направление в ядерной физике – получение и изучение трансплутониевых элементов.

Многогранная и плодотворная деятельность ядерно-физического сектора на протяжении многих десятилетий отмечена выдающимися научными и практическими достижениями в развитии ядерно-физических исследований и в создании новой техники, прежде всего ядерных импульсных реакторов и ускорительных систем.

Невозможно в кратком обращении перечислить даже основные имена выдающихся ученых, сформировавших облик Вашего института, но нельзя не указать хотя бы несколько имен: В. А. Давиденко, А. И. Павловский, В. А. Цукерман, Ю. С. Замятин, А. А. Малинкин, В. С. Босамыкин.

Сегодня Институт ядерной и радиационной физики – базовый научный центр РФЯЦ-ВНИИЭФ и ядерной отрасли, обеспечивающий широкий спектр работ от решения ключевых задач по гособоронзаказу до фундаментальных исследований в открытой науке.

К ключевым направлениям Вашей деятельности относятся и совершенствование уникальных облучательных комплексов, и развитие новых возможностей радиографии, и работы в интересах космической техники. Новый импульс развития мы связываем с работами ИЯРФ в рамках проектов Национального центра физики и математики.

Желаю Вам новых крупных свершений в Вашей славной деятельности для обеспечения безопасности и научно-технического развития России!

Научный руководитель РФЯЦ-ВНИИЭФ –
директор ИТМФ В. П. Соловьев

Институт ядерной и радиационной физики является одним из основателей экспериментальной научной основы РФЯЦ-ВНИИЭФ, которая сыграла выдающуюся роль в создании ядерного могущества нашей страны. Сейчас и в будущем институту предстоит решать грандиозные задачи по коренной модернизации экспериментальной базы – гаранта успешного развития РФЯЦ-ВНИИЭФ на многие годы.

Успехов вам, дорогие товарищи!

Почетный научный руководитель РФЯЦ-ВНИИЭФ –
академик РАН Р. И. Ильяев

В НОМЕРЕ:

70 ЛЕТ ФИЗИЧЕСКОМУ ОТДЕЛЕНИЮ РФЯЦ-ВНИИЭФ

- | | | |
|----|---|--|
| 3 | <i>Н. В. Завьялов</i> | Богатство ИЯРФ |
| 4 | <i>Ю. Я. Нефедов,
В. И. Смердов,
Г. М. Скрипка</i> | Измерения параметров ЯЗ в натуральных испытаниях |
| 10 | <i>С. М. Селянкина,
М. В. Таценко</i> | К истории развития ядерно-физических исследований |
| 14 | <i>С. В. Воронцов,
А. А. Девяткин</i> | Ядерно-физические установки ИЯРФ: 70 лет развития, этапы большого пути |
| 23 | <i>В. С. Гордеев,
Г. А. Мысков,
К. В. Страбыкин</i> | Сильноточные импульсные ускорители электронов |
| 27 | <i>М. Л. Сметанин,
А. В. Тельнов,
И. В. Шориков</i> | Развитие резонансных ускорителей ВНИИЭФ: гибкость и мощность |
| 30 | <i>А. В. Грунин,
С. А. Лазарев,
А. В. Тельнов</i> | Радиационная физика |
| 32 | <i>В. Б. Гречушкин</i> | Из истории теоретического подразделения ИЯРФ |
| 34 | <i>Д. В. Будников</i> | Конструктивно о конструкторах |
| 38 | <i>А. В. Козачек,
В. С. Павлов</i> | Инженерно-техническое обеспечение деятельности ИЯРФ |
| 41 | <i>С. В. Фролова</i> | Воспитание высококлассных профессионалов |
| 43 | <i>Ю. А. Астайкина</i> | Зинаида Матвеевна Азарх |
| 46 | <i>А. А. Калинина,
К. Б. Жогова</i> | Роль аналитической химии в разработках РФЯЦ-ВНИИЭФ |

Главный редактор

В. А. Разуваев (главный научный сотрудник ИТМФ, доктор физ.-мат. наук);
Н. А. Волкова (зам. гл. редактора);
А. К. Музыря (зам. гл. редактора, доктор техн. наук ВНИИТФ)

Редакционная коллегия

В. Е. Аблесимов (ведущий научный сотрудник ИЛФИ, канд. физ.-мат. наук);
Ю. А. Астайкина (старший научный сотрудник КБ-3);
И. Л. Жильцова (старший научный сотрудник КБ-3);
Г. А. Карташов (советник при дирекции РФЯЦ-ВНИИЭФ, профессор);
В. И. Лукьянов (главный специалист СДС РФЯЦ-ВНИИЭФ);
В. Л. Львов (старший научный сотрудник ИТМФ);
А. Е. Малеев (художник-инженер ИЯРФ);
А. О. Наумов (старший научный сотрудник ИТМФ);
Л. Н. Пляшкевич (ведущий научный сотрудник НПЦФ, канд. техн. наук);
А. А. Косоголов (начальник отдела ИЯРФ);
А. В. Чувиковский (начальник ИПЦ РФЯЦ-ВНИИЭФ)

Редактор

Н. П. Гомонова

Компьютерная подготовка оригинала-макета

М. С. Мещерякова

© ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2022
© Авторы публикаций, 2022

Отпечатано
в Издательско-полиграфическом цехе
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,
2022 г.

Свободная цена

На 3 стр. обложки: фото к статье Ю. А. Астайкиной.

Адрес редакции: 607188, г. Саров Нижегородской обл., пр. Мира, д. 37, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Телефон: (831-30)775-85. E-mail: volkova@vniief.ru

Подписано в печать
29.11.2022 г.
Формат 84×108/16
Печать офсетная
Усл. печ. л. ~ 6,0
Уч.-изд. л. ~ 5,5
Тираж 1000 экз.
Заказ 2229-2022



НАЧАЛЬНИКИ ОТДЕЛЕНИЯ (СЕКТОРА) 4 ИЯРФ



1955



Давиденко Виктор Александрович

Герой Социалистического Труда,
доктор физико-математических наук,
профессор, лауреат Ленинской и двух
Сталинских премий



1957



Глотов Иван Иванович

Доктор технических наук,
профессор,
лауреат Государственной премии



1971



Павловский Александр Иванович

Академик, Герой Социалистического Труда,
доктор физико-математических наук,
профессор, лауреат Ленинской
и Государственной премий



1993



Босамыкин Валерий Семёнович

Кандидат
физико-математических наук,
лауреат Ленинской премии



1996



Пунин Валерий Тихонович

Доктор физико-математических наук,
лауреат Государственной премии
и премии Правительства РФ,
член-корреспондент РАН



2009



Завьялов Николай Валентинович

Доктор физико-математических наук,
лауреат премии Правительства РФ,
член-корреспондент РАН

Богатство ИЯРФ

Н. В. ЗАВЬЯЛОВ

В 2022 г. Институт ядерной и радиационной физики отмечает свое 70-летие. В КБ-11, в научно-исследовательском секторе (НИС), под руководством трижды Героя Социалистического Труда, трижды лауреата Сталинской и лауреата Ленинской премий, первым заместителем Ю. Б. Харитона Кириллом Ивановичем Щёлкиным было создано физическое подразделение «с целью экспериментального обоснования в лабораторных и экспедиционных условиях ИДЕЙ, методов расчета и характеристик изделий предприятия...», которое можно по праву считать основателем Института ядерной и радиационной физики.

Кроме того, надо было экспериментально определить критические массы делящихся материалов. А потом, с появлением образца ядерного заряда, при испытаниях оценить, что же получилось, т. е. измерить параметры ядерного заряда. Вот для ответов на эти «простые» вопросы и был создан физический сектор. На получении ответов концентрировались усилия всех структурных звеньев и сотрудников физического сектора.

В процессе поиска ответов эти «простые» вопросы, как снежный ком, стали обрастать дополнительными проблемами: как проводить исследования, как моделировать процессы, которые происходят в заряде, что и какими средствами нужно измерять при взрыве. Так возникли и начали стремительно развиваться методы физических и радиохимических измерений при испытаниях, вопросы создания лабораторных источников ионизирующих излучений и аппаратурных комплексов их регистрации. Это уже многолетние работы, берущие начало в первых исследованиях.

В статье об ИЯРФ в журнале УФН (№ 5, т. 192 за 2002 г.) говорится: «Современное состояние экспериментальной базы – это результат многолетней деятельности подразделения экспериментальной физики по направлениям, берущим свое начало в решении задач создания и совершенствования ядерных зарядов. Процесс развития экспериментальной базы сопровождался появлением новых возможностей ее использования в смежных областях».

Наше главное богатство – уникальная экспериментальная база электрофизических и ядерных установок, измерительных комплексов радиационной и аналитической химии и возможность проведения научных исследований и испытаний. С этим связано наше прошлое, настоящее и будущее.

Сегодня научный потенциал ИЯРФ, его производственные возможности, испытательная база и опыт, накопленный за многие десятилетия выполнения работ по созданию и сопровождению ЯО, образуют уникальные основы для научно-методических исследований и разработок в области ядерных и радиационных технологий. Такие исследования и разработки – важнейшая часть деятельности ВНИИЭФ по обеспечению геополитических интересов России и поддержке ее ядерного щита для проведения политики ядерного сдерживания.

Наше богатство и наши достижения – это не только результат наших действий, но в огромной степени наследие труда предыдущих поколений, сложение усилий множества увлеченных людей различных профессий и различного статуса.

Спасибо и низкий поклон бывшим сотрудникам ИЯРФ, здравствующим ветеранам и ныне работающим в ИЯРФ ученым, инженерам, рабочим-специалистам и руководителям. Воспользуемся строками поэта-физика, человека из династии, много лет проработавшей в физическом секторе, Э.-Г. Александровича:

*Пусть лица их не окружают нимбы,
но им бы поклониться до земли,
и славу должную воздать бы им бы,
за то, что совершить они смогли.
Ведь это с их трудами четко связан
баланс противодействия миров,
и возрождением своим обязан
сегодняшний разросшийся Саров.*

ЗАВЬЯЛОВ Николай Валентинович –
директор ИЯРФ, доктор физ.-мат. наук



Измерения параметров ЯЗ в натуральных испытаниях

Ю. Я. НЕФЕДОВ, В. И. СМЕРДОВ, Г. М. СКРИПКА

Введение

Ядерный взрыв — чрезвычайно сложный, ресурсоемкий и дорогостоящий эксперимент. В его подготовке и проведении участвуют тысячи специалистов и, естественно, что измеренные результаты эксперимента — это конечный итог всей многоплановой деятельности большого коллектива.

Измерения при ядерном взрыве позволяют получать информацию о режиме работы ЯЗ, подтверждать правильность выбранной расчетно-конструкторской схемы, уточнять механизмы и уровни воздействия поражающих факторов ЯВ на различные объекты военного и гражданского назначений, осуществлять выбор необходимых средств защиты.

Перечисленные факторы указывают на исключительную важность «физических наблюдений» при испытании уже первых ЯЗ, т. е. регистрации параметров испытуемого образца изделия, стремления получить максимальную информацию по исследуемым явлениям, минимизировать погрешности измерений, обеспечить высокую степень надежности и доверия измерениям (хорошо бы измерять параметры хотя бы двумя способами, основанными на разных физических принципах).

Определение параметров ЯЗ предполагает предложение, отработку, освоение и реализацию множества диагностических методов: способы регистрации параметров излучений ЯВ (оптического, теплового, гамма-нейтронного, электромагнитного), измерение параметров ударной и сейсмических волн, радиохимический

анализ продуктов взрыва, выявление характера и величины отклика конструкций и материалов на воздействие поражающих факторов ЯВ (деградация функциональных характеристик, структурные изменения вещества и др.).

Надо ли говорить, о зависимости измерительных методик от редакции экспериментов (наземные или воздушные взрывы, испытания в скважинах или штольнях). Различные редакции испытаний объясняют изменения отношений к различным методам измерений. Так, например, в первых наземных и воздушных опытах энерговыделение заряда определялось следующими основными методами: методом «огненного шара» — по размерам и температуре огненного шара (полушария для наземных опытов), по измерениям параметров ударной волны (УВ) и на основе радиохимического анализа проб из радиоактивного облака. С изменением редакций испытаний все более заметно стала возрастать роль физических методов оценки характеристик специзделий по результатам регистрации ионизирующих излучений.

Аппаратурно-методическое обеспечение и проведение физических измерений при испытаниях ЯЗ было ключевой задачей создания физического сектора в КБ-11.

Измерения при испытании первых ядерных зарядов СССР

При испытании РДС-1 перед измерителями (в основном, военные и привлекаемые сотрудники из институтов АН СССР) ставились задачи:

- получить данные для оценки КПД изделия (использовались методы оптического наблюдения огненного шара, измерения тепловых, нейтронных потоков, гамма-излучения, параметров УВ);
- оценить поражающие и разрушающие действия взрыва.

Задачи измерений при испытании РДС-2:

- изучить физическую картину «явления взрыва» изделия;
- получить исходные данные для определения КПД изделия;
- обеспечить измерение интенсивности гамма-излучения и потока нейтронов во времени на разных расстояниях от центра;
- исследовать поток светового излучения при взрыве изделия;
- произвести наблюдения УВ;
- обеспечить безотказную работу автоматики поля.

Группа обеспечения измерений: офицеров – 43, солдат и сержантов – 30, гражданских лиц – 26.

РДС-1 и РДС-2 испытывались на башне (наземные испытания), от которой после взрыва ничего не осталось.

Устояли только «гуси», на которых крепилась регистрирующая аппаратура («гусиный клин» еще долго сохранялся на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП)). Опыты прошли успешно, необходимая информация была получена.

Особенности диагностики при испытании РДС-3 были обусловлены тем, что это было первое воздушное испытание (сброс изделия с самолета на парашюте): неопределенность координат места взрыва; сложность синхронизации регистрирующей аппаратуры с временем подрыва изделия. Специалисты КБ-11 осуществляли контроль и сборку нейтронного запала («НЗ»), установку в изделие, измерение нейтронного фона, проводили физические измерения (ФИ) при снаряжении «тяжелого топлива» (делящегося вещества).

Руководителем ФИ от КБ-11 в первом опыте был Г. Н. Флевров, во втором – В. Ю. Гаврилов.

ИСПЫТАНИЕ РДС-6с

Ключевой вехой в становлении физического сектора как ведущего подразделения в разработке методов и проведении

ядерно-физических исследований процессов, сопровождающих ЯВ, является подготовка и испытание первого термоядерного заряда СССР РДС-6с – так называемой «слойки» А. Д. Сахарова (12.08.1953, СИП).

Составной частью подготовки испытаний был план (утвержден в феврале 1953 г.) научно-исследовательских работ по ядерной физике, включающий:

- изучение реакций $p(n,2n)H$ для энергий 14 МэВ (сечения и угловое распределение);
- определение эффективных сечений захвата нейтронов различных энергий ядрами U-238 и Th-232;
- определение числа вторичных нейтронов, образующихся при захвате 14 МэВ нейтронов ядрами U-235 и Pu-239;
- определение числа делений и числа захватов в толстой оболочке U-238 для нейтронов спектра деления;
- изучение спектра нейтронов после прохождения 14 МэВ нейтронов через слои активных веществ и др.

Ответственные руководители исследований – В. А. Давиденко и Ю. С. Замятнин.

В лабораторных экспериментах в максимальной степени моделировалась физическая схема «слойки».

Ю. А. Зысин руководил модельными измерениями на генераторе ДТ-нейтронов. Измерения активности индикаторов и выходы осколков проводились А. А. Лбовым, Л. И. Сельченковым и др.

Измерения элементарных нейтронных констант и спектров нейтронов осуществлялись



Результаты испытания РДС-1: а, б – до опыта; в, г – после опыта



Г. Н. Флеров



В. Ю. Гаврилов



А. И. Веретенников



В. А. Давиденко



Ю. С. Замятин



Д. П. Ширшов



Ю. К. Пужляков



Е. Ф. Вырский

под руководством Ю. С. Замятнина. Работы на критмассовых сборках проводились на специальном стенде.

Особое внимание уделялось изучению специфики работы заряда РДС-6с – термоядерному горению. Были применены новые методы определения параметров термоядерной реакции, в первую очередь – методы измерения потоков и полного числа ДТ-нейтронов, изучения кинетики термоядерной реакции по изменению во времени потоков нейтронного (14 МэВ) и гамма-излучения.

Потоки ДТ-нейтронов определялись пороговыми радиоактивными индикаторами. С помощью вновь разработанных детекторов и скоростных осциллографов получали данные о кинетике термоядерной реакции.

Опыт прошел успешно. Радиохимический анализ проб показал, что взрыв был термоядерным. Мощность составила 400 ± 50 кт.

По воспоминаниям участника испытаний А. И. Веретенникова: «...Следов от подземных сооружений в ближней зоне и установленного в них уникального оборудования не осталось».

По результатам испытаний многие сотрудники физического сектора были представлены к правительственным наградам и присвоению звания лауреатов Сталинских премий разной степени.

Можно сказать, что к 1953 г. фактически сложился диагностический комплекс для воздушных испытаний, который в общей сложности обеспечил измерения 32 наземных и 177 воздушных взрывов ядерных и термоядерных зарядов в диапазоне мощности от единиц до многих сотен килотонн в тротиловом эквиваленте.

Роль радиохимии при испытании ЯЗ.

При испытании РДС-6с в полной мере проявилась роль радиохимии в определении параметров взрыва, в первую

очередь – реализовавшегося энерговыделения. В опыте участвовала большая группа специалистов РИАН. Сотрудники физического сектора также принимали участие в подготовке и проведении радиохимических измерений, в основном, в лабораторных экспериментах.

При подготовке к испытанию РДС-6с потребовалось провести лабораторные исследования по изучению сечений ядерных реакций, измерению выхода осколков деления U-233, U-235, U-238 ДТ-нейтронами и нейтронами деления, разработке методов идентификации радиоактивных изотопов, проведению калибровочных экспериментов.

Радиохимические исследования начинались еще в лаборатории В. А. Александровича, где занимались разработкой технологий изготовления нейтронных источников. А радиохимический отдел, как специализированная структура, в секторе появился в декабре 1952 г. Руководитель отдела – «прикомандированный» сотрудник РИАН – В. Н. Ушатский.

Непосредственно специалистами радиохимического отдела были разработаны и практически использовались на полигонах методики определения энерговыделения и числа актов деления по радиоактивным продуктам взрыва:

– комплекс методик «РХ»;

– методики, основанные на анализе газообразных продуктов взрыва.

Последние методики имели модификации, предназначенные для применения при испытаниях в скважине.

Роль радиохимического отдела существенно возросла

при переходе к подземным испытаниям. Появились новые задачи, новые условия, потребовались оригинальные научные и инженерно-технические решения.

Тесный контакт теоретиков и экспериментаторов значительно повышал эффективность взаимодействия, степень проработки постановки экспериментов, сокращал сроки разработки методов и технологий. Созданные в РХО пробоотборные технологии позволили брать радиоактивные пробы для анализа из котловой полости взрыва.

Новизна решений, предложенных сотрудниками радиохимического направления, значимость полученных результатов были отмечены высокими правительственными наградами. Среди них Ленинская премия 1959 г. (В. А. Александрович, И. А. Тищенко, Ю. К. Пужляков), Сталинские премии 1951 и 1953 г. (А. А. Лбов, Ю. К. Пужляков, И. А. Тищенко, М. В. Дмитриев, П. А. Ярытик), Государственные премии 1985 г. (А. А. Лбов, С. П. Весновский, А. А. Дружинин, Н. П. Мартынов) и 1994 г. (Ю. И. Чубаров), премия Правительства РФ 1999 г. (В. Я. Семенов).

Начальниками радиохимического отдела (численность отдела достигала 180 человек) были: В. Н. Ушатский (1952–1954 гг.), И. С. Ки-



Ю. А. Зысин



А. А. Лбов



А. А. Малинкин



Б. Д. Сидорский

рин (1954–1959 гг.), А. А. Лбов (1959–1963 гг. и 1973–1984 гг.), А. И. Павлова-Веревкина (1963–1973 гг.), С. П. Весновский (1985–1997 гг.), Л. Д. Данилин (1998–2002 гг.), А. А. Крыжановский (2002 г.–н/в).

Испытания первого двухступенчатого заряда

Испытание первого двухступенчатого термоядерного заряда РДС-37 было проведено 22 ноября 1955 г. При испытании изделия осуществлялся стандартный, сложившийся к тому времени объем измерений. Испытание прошло успешно, энерговыделение составило 1,6 Мт. Дальнейшая разработка термоядерных зарядов велась на принципах, заложенных в РДС-37. Испытания позволили завершить отработку ряда перспективных изделий, существенно уменьшить разрыв в ядерных потенциалах СССР и США.

Подземные испытания. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний в трех средах (ДВЗЯИ) – атмосфере, космосе, под водой – кардинально изменил подход к ФИ параметров ЯЗ. Постановка измерений при испытании под землей существенно отличается от атмосферного испытания.

В предложении по постановке ФИ в первом подземном испытании (1959 г. – Е. К. Бонюш-

Первые сотрудники отдела



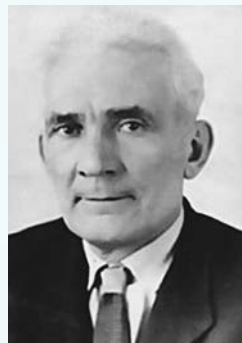
В. Р. Негина



М. В. Дмитриев



Н. П. Мартынов



И. С. Кирин



Э. А. Евтерева (Козырева)



И. А. Тищенко



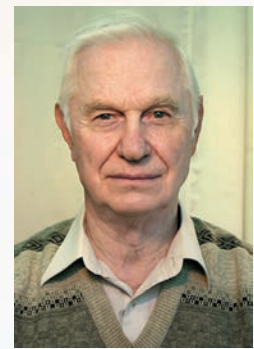
П. А. Ярытик



А. А. Дружинин



Ю. И. Чубаров



В. Я. Семенов

кин, В. М. Горбачев, А. А. Лбов, И. Ш. Модель, Ю. А. Спехов, О. К. Сурский, В. А. Цукерман, А. И. Веретенников) сформулированы технические требования на проектирование штольни, а также определены направления развития ФИ при подземных испытаниях.

В первом подземном опыте в штольне (1961 г.) основными задачами были:

- измерение характеристик нейтронного и гамма-излучений;
- измерение кинетики ядерных реакций и характеристик блоков автоматики изделий;
- исследование волны сжатия и сейсмических волн взрыва с целью разработки методов определения полной энергии взрыва.

Первый подземный взрыв в скважине был проведен 15.01.1965 г. (р. Чаган, Казахская ССР) в интересах народного хозяйства. Подземные испытания по оружейной тематике начались с 1967 г. Считалось, что скважинный вариант испытаний более дешевый и экологически безопасный.

Первая разработка схемы ФИ при испытании ЯЗ в скважине была проведена под руководством А. И. Веретенникова. Для размещения ЯЗ и детекторов физических измерений были разработаны контейнеры – зарядный и приборный, которые должны были обеспечить работоспособ-

ность аппаратуры в условиях высоких гидростатических нагрузок.

Наряду с измерениями, в которых использовались приборные контейнеры, В. М. Горбачевым, Н. А. Уваровым, В. Н. Кудрей, А. Л. Соколовым были разработаны детекторы, которые могли работать, находясь непосредственно в забивке скважины – датчики-«водолазы», как их стали называть в дальнейшем.

В 1974 г. в полигонном отделе сектора 4 была создана специальная лаборатория (начальник – Н. А. Уваров) для обеспечения ФИ в скважинах.

Методы физических измерений параметров ЯЗ

Если в первых воздушных испытаниях ФИ проводились в основном институтами АН СССР (ИХФ, ГОИ, РИАН СССР и др.), то со второй половины 1950-х гг. эта задача постепенно перемещается на специалистов КБ-11.

За разработку и применение новых методов исследования параметров ЯЗ в воздушных испытаниях Ленинская премия за 1962 г. была присуждена Е. К. Бонюшкину, А. И. Веретенникову, В. М. Горбачеву, Ю. С. Замятнину, Ю. А. Спехову, Ю. М. Стяжкину, О. К. Сурскому, Н. А. Уварову.

В 1983 г. за разработку метода пространственных гамма-нейтронных изображений в различных модификациях удостоены Государственной



С. П. Весновский



Л. Д. Данилин



А. А. Крыжановский



В. М. Горбачев



А. И. Павлова-Веревкина



Радиохимический комплекс сектора 4

премии В. Л. Гладченко, В. М. Горбачев, В. Н. Королев, Б. А. Никитенко, А. И. Павловский.

Физопыты. Большое значение в работах ВНИИЭФ имели межведомственные физические облучательные опыты. Это были масштабные эксперименты по определению стойкости образцов вооружения и военной техники к поражающему действию ядерного взрыва. Во ВНИИЭФ идеологами и организаторами этих опытов являлись Ю. А. Трутнев, В. Н. Родигин, А. К. Чернышев.

В физическом секторе коллективу, возглавляемому В. А. Цукерманом, а затем Н. Г. Макаевым, удалось выполнить технически сложную задачу создания условий для вывода нужной части спектра излучений ЯВ на облучательные позиции (И. Ш. Модель, А. А. Разин, А. П. Зыков, Н. И. Орлов и др.).

В 2022 г. исполняется 55 лет полигонному отделу ИЯРФ.

За свою историю отдел полигонных физических измерений обеспечил сложные измерения и исследования при полномасштабных испытаниях сотен ЯЗ. Это большой, тяжелый, героический и благородный труд.

Сотрудниками отдела защищено 6 докторских и 25 кандидатских диссертаций.

В настоящее время, в условиях ДВЗЯИ, специалисты отдела с той же активностью участвуют в отработке новых технологий проверки надежности и безопасности составных частей ЯЗ.

В отделе работали 5 лауреатов Ленинской премии, 2 сотрудника, ранее удостоенные Сталинской премии; 5 человек удостоены высокого звания лауреата Государственной премии СССР, 2 сотрудника стали лауреатами премии Правительства РФ. Многие сотрудники отдела отмечены государственными наградами, ведомственными знаками отличия.



И. Ш. Модель



Ю. А. Слехов



О. К. Сурский

В настоящее время работы по физическим измерениям при проведении неядерных физических экспериментов ведутся под руководством Н. В. Завьялова, С. В. Воронцова, Ю. Я. Нефедова, В. И. Смердова, А. В. Калущкого.

Достигнутые отделом успехи, награды, звания получены благодаря усилиям большого количества ветеранов и ныне работающих специалистов различного возраста, различного профессионального и социального статуса, часто благодаря результатам, полученным в нелегких экспедиционных условиях. В эти юбилейные дни необходимо отдать дань уважения первопроходцам – испытателям ЯЗ, тем, кто стоял у истоков направления, которое называется «физические измерения параметров ЯЗ при их натурных испытаниях». Пожелать продолжателям славных традиций – достойно нести высоко поднятое знамя, развивать и совершенствовать ядерно-физические методы исследования.

НЕФЕДОВ Юрий Яковлевич –

доктор физ.-мат. наук, главный научный сотрудник

СМЕРДОВ Вячеслав Иванович –

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

СКРИПКА Георгий Михайлович –

кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник

К истории развития ядерно-физических исследований

С. М. СЕЛЯНКИНА, М. В. ТАЦЕНКО

При реализации Атомного проекта одной из основных проблем, требующих первоочередного решения, было проведение ядерно-физических исследований. Это предусматривало создание и развитие как расчетной, так и экспериментальной базы, поэтому в структуре КБ-11 был создан физический сектор. Его руководителем был назначен Виктор Александрович Давиденко. За проведение ядерно-физических исследований до создания сектора отвечал Георгий Николаевич Флеров. По его инициативе создавалась и развивалась материально-техническая база для обеспечения расчетов изделий (ядерных и термоядерных зарядов) ядерно-физическими константами (ЯФК), данными для конструирования изделий, проведения испытаний и оценки характеристик (параметров) образцов.

Работами по измерению элементарных ЯФК (сечений реакций, спектров частиц, множественностей и др.), а также созданием экспериментальной базы для проведения подобных измерений руководил Ю. С. Замятнин. Полигонные измерения интегральных характеристик изделий (выходов нейтронов, энергетических спектров нейтронов, гамма-квантов и др.) проводились под руководством Ю. А. Зысина.

С момента образования сектора его экспериментальная база постоянно претерпевала активное развитие: это создание электростатических ускорителей ионов (ЭГ-2 (1952–1954 гг.), ЭГ-5 (1957 г.), ЭГП-10 (1962 г.)), новых ускорителей электронов (МВ-15 (1957 г.), ЛУ-50 (1981 г.)), стенда ФКБН и его модификаций, бетатрона В-30 (1960 г.), парка импульсных аperiodиче-

ских реакторов, установок для изучения взаимодействия нейтронов, гамма-квантов, заряженных частиц с веществом, 4л-детектора нейтронов и гамма-квантов, масссепаратора и др. Значительный вклад в развитие экспериментальной базы внесен академиком А. И. Павловским – руководителем сектора с 1971 по 1993 г.

Условно в проводимых ядерно-физических исследованиях можно выделить следующие направления:

– нейтронная физика (упругое и неупругое рассеяние, полные сечения реакций, гамма-образование и др.);

– ядерные реакции на пучках заряженных частиц (деление ядер в сложных реакциях, измерения ЯФК, фундаментальные исследования, например, изучение изобар-аналоговых резонансов и др.);

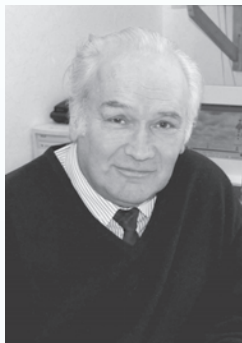
– прикладные применения ионизирующих излучений (или технологическое направление) (контроль за разоружением, обеспечение сохранности ядерных и делящихся материалов, термодесорбция трития, нейтронная и гамма-интроскопия, регистрация нейтронов с помощью пузырьковой камеры и др.).

Исследованиями в области нейтронной физики занимались и руководили – Георгий Николаевич Флеров, Юрий Сергеевич Замятнин, Юрий Аронович Зысин, Юрий Анатольевич Васильев, Михаил Васильевич Савин, Юрий Анатольевич Хохлов, Эдуард Федорович Фомушкин и др. Это направление охватывало большой круг вопросов, таких как свойства тяжелых ядер, в том числе физика деления тяжелых ядер – исследо-

вание механизмов деления, измерение основных характеристик делящихся ядер (сечений деления и радиационного захвата, среднего числа нейтронов и гамма-квантов на акт деления и т. д.). Сюда же можно отнести исследования



Ю. А. Васильев



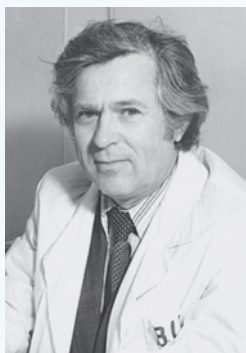
Э. Ф. Фомушкин



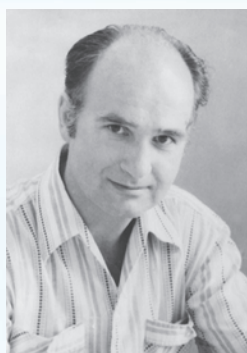
Ю. А. Хохлов



М. В. Савин



В. И. Серов



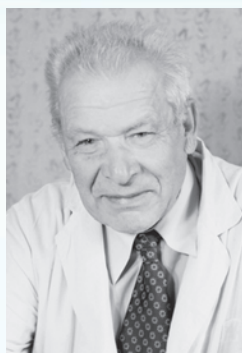
Б. Я. Гужовский



С. Н. Абрамович



А. Г. Звенигородский



А. В. Алмазов

сечений образования гамма-квантов и других реакций, вызываемых нейтронами.

Еще одним уникальным направлением исследований по нейтронной физике можно назвать нейтронные измерения по времени пролета с использованием ядерного взрыва как импульсного источника нейтронов. Изучением этих вопросов занималась группа Э. Ф. Фомушкина, которой были получены уникальные данные по сечению деления трансурановых элементов.

Яркими представителями в области исследований реакций взаимодействия заряженных частиц с ядрами можно назвать Виктора Ивановича Серова, Бориса Яковлевича Гужовского, Сергея Николаевича Абрамовича, Анатолия Григорьевича Звенигородского, Михаила Федоровича Андреева и др.

Прикладное направление представлено большим количеством емких разноплановых работ. Результаты работ этого направления были отмечены Государственной премией (1982 г.) и премиями Правительства РФ (2000 и 2014 г.). Значимым вкладом стала разработка в ИЯРФ и внедрение Государственных стандартов по аппаратуре радиационного контроля.

Еще один пример работы большого объема и значения – развитие методов и аппаратуры радиационной интроскопии. Широко используются разработанные методы и аппаратура обнаружения скрытых дефектов элементов конструкций. Метод успешно применяется в диагностике труднодоступных объектов и выявлении их свойств: плотности, агрегатного состояния, состава и др. В дальнейшем сфера применения интроскопии расширилась до прикладных задач в медицинской диагностике и геологоразведке.

Работы этого направления отмечены премией Правительства РФ в 2016 г.

Для изучения реакций взаимодействия заряженных частиц с ядрами с целью определения ЯФК, используемых в расчетах при констру-

ировании атомного и термоядерного оружия, большое значение приобретают установки, необходимые для получения пучков заряженных частиц.

Задачу разработки и внедрения ускорителей поручили специально созданному отделу электростатических ускорителей под руководством Александра Владимировича Алмазова. Первый ускоритель, ЭГ-2, спроектирован и изготовлен в Харьковском физико-техническом институте,



Ускоритель ЭГП-10

ХФТИ, и привезен во ВНИИЭФ в 1952 г. Однако ЭГ-2 обладал низкими эксплуатационными параметрами и нуждался в существенной доработке перед проведением исследований. Все работы по усовершенствованию многих узлов ускорителя производились при непосредственном участии А. В. Алмазова немногочисленной группой сотрудников отдела. Второй ускоритель с более совершенными параметрами, ЭГ-5, поставленный во ВНИИЭФ в 1956 г., также был заказан и изготовлен в ХФТИ. Перед пуском Александром Владимировичем с сотрудниками были предложены и реализованы неординарные технические решения по технологии изготовления ускорительных трубок с высокой электрической прочностью, новым источником ионов, замене традиционного транспортера зарядов с диэлектрической лентой цепным транспортером с индукционным зарядным устройством. В настоящее время оба ускорителя демонтированы.

Когда в 1958 г. в мире появились первые результаты исследований по использованию принципа перезарядки отрицательных ионов, что позволяло вдвое увеличить энергию ускоряемых частиц, перед лабораторией Алмазова была поставлена задача – спроектировать и ввести в эксплуатацию ускоритель с новым принципом ускорения. Эта работа проводилась совместно с НИИ электрофизической аппаратуры им. Д. В. Ефремова, Ленинград. Сначала были изготовлены две модели: источник отрицательных ионов водорода для проверки принципа работы перезарядки и простейшая модель для отработки всех узлов ускорителя.

В 1962 г. ускоритель с перезарядкой ЭПП-10 был введен в эксплуатацию. В последние годы и в настоящее время исследования на ускорителе осуществляются под руководством Леонида Николаевича Генералова.

Конечная задача исследований – получение оцененных значений ЯФК, т. е. значений сече-

ний реакций, определенных в широком энергетическом диапазоне на основе экспериментальных данных с привлечением различных теоретических моделей. Итогом работ стало появление во ВНИИЭФ уникальной, не имеющей мировых аналогов, библиотеки экспериментальных и оцененных ядерно-физических данных по взаимодействию заряженных частиц с легкими ядрами, собранных из собственных материалов, отечественной и зарубежной литературы.

Впервые эта библиотека появилась в 1989 г. в виде справочника «Ядерно-физические константы термоядерного синтеза», авторы: С. Н. Абрамович, Б. Я. Гужовский, В. А. Жеребцов, А. Г. Звенигородский. Для ученых, занимавшихся проблемами оценки, получения и применения ЯФК, пособие стало бесценным источником информации. В 1999 г. этот справочник приобрел электронный вид и стал называться «Библиотека оцененных и экспериментальных ядерных данных для астрофизических и термоядерных приложений SaBa» (от слов Saov Base). За последнее десятилетие эта библиотека существенно дополнена – была получена наиболее полная система ядерных данных по взаимодействию изотопов водорода (p, d, t) с ядрами лития, бериллия, бора. Значительная часть данных получена впервые или существенно уточняет мировые данные.

В 1997 г. приказом министра атомной энергетики и промышленности В. Н. Михайлова был создан Центр ядерно-физических данных, который продолжил работы по сбору экспериментальных данных. Первый руководитель центра – С. А. Дунаева. Центр также состоит в международной сети центров ядерных данных, одной из задач которой является пополнение экспериментальными данными по ядерным реакциям международной библиотеки EXFOR, развивающейся под эгидой МАГАТЭ. С 2003 г. руководителем Центра является С. М. Таова.

Решение прикладных задач сочеталось с задачами фундаментального характера. Уместно вспомнить слова Юлия Борисовича Харитона: «...Именно фундаментальные исследования лежат в основе каждого серьезного шага в развитии техники».

Одной из таких областей фундаментальных исследований было изучение изобараналоговых резонансов (ИАР). Впервые ИАР Б. Я. Гужовский с коллегами наблюдал в функциях возбуждения (p, n)-реакций на средних ядрах в



Л. Н. Генералов



С. А. Дунаева



С. М. Таова

1962 г. По имевшимся на тот момент представлениям это было невозможно из-за сильного перекрытия состояний в компаундсистеме. Борис Яковлевич по этому вопросу решил проконсультироваться со своим учителем, нобелевским лауреатом И. М. Франком, который скептически отнесся к подобному результату эксперимента. Повторно проведенные измерения подтвердили полученные данные. К сожалению, на перепроверку результатов было потрачено много времени, что привело к потере приоритета в открытии изобараналоговых резонансов в составном ядре. В 1964 г. группа американских ученых под руководством Андерсона первой опубликовала свои исследования о новом явлении. Несколько позже работы по открытию и изучению ИАР получила признание и в СССР.

Следующим этапом в исследовании стало изучение гамовтеллеровских резонансов (ГТР). В 1984 г. Б. Я. Гужовским с сотрудниками были проведены измерения, продемонстрировавшие существование этих резонансов в составном ядре, и было высказано предположение об их природе. Однако, в ряде работ известного физика, представителя московской теоретической школы МИФИ – М. Г. Урина – поставлена проблема теоретического объяснения механизма возбуждения резонансов в составном ядре. В 2016 г. сотрудниками ИЯРФ были проведены дополнительные экспериментальные исследования, подтвердившие существование ГТР.

К значимым фундаментальным исследованиям относится изучение пороговых явлений в ядерных реакциях, предсказанных в работах Е. Вигнера и А. И. Базя. Л. М. Лазаревым в 1986 г. разработана собственная теория пороговых явлений, базирующаяся на единой теории ядерных реакций Г. Фешбаха. Пороговые явления считаются тонким инструментом для детального изучения структуры ядер. С помощью теории решается широкий класс задач: от восстановления волновой функции системы и квантовых характеристик уровней ядра до экстраполяции сечений ядерных реакций в область нулевой энергии налетающих частиц и определения свойств короткоживущих ядер.

Другим направлением исследований в области фундаментальной ядерной физики является полоче-



Л. М. Лазарев

ние данных по упругому рассеянию заряженных частиц на ядрах и их оптико-модельное описание. Оптико-модельными расчетами активно занимались во ВНИИЭФ. И в настоящее время эти расчеты не теряют своей актуальности, являясь основой для многих современных ядерно-физических вычислений, проводимых в мире.

В 1962 г. коллективом авторов – И. К. Аверьянов, Б. Я. Гужовский, В. А. Сараев – выпущен «Атлас нейтронных сечений». В нем систематизирована вся имевшаяся на тот момент информация, применяемая для производственных расчетов, в том числе и полученная во ВНИИЭФ, по сечениям взаимодействия нейтронов с ядрами элементов, используемых в конструкциях зарядов. А также были проведены с помощью оптической модели расчеты, дополнившие экспериментальную информацию.

В 2014 г. в ИЯРФ разработан и зарегистрирован в Госреестре специализированный программный продукт – код OptModel, позволяющий анализировать данные по упругому рассеянию частиц на сферических ядрах с применением оптической модели ядра. К настоящему времени с использованием OptModel получена система ЯФК по взаимодействию заряженных частиц с легкими ядрами, что имеет большое значение для прикладных и фундаментальных исследований.

В настоящее время наступает новый этап в научных ядерно-физических исследованиях, связанный с проектом «Ядерная физика» в рамках Национального центра физики и математики, функционирующего на базе экспериментальных установок и вычислительных комплексов ВНИИЭФ. По мнению авторов, это должно способствовать активному возрождению ядерно-физических исследований.

ТАЦЕНКО Михаил Валерьевич –

начальник отдела ИЯРФ, лауреат премии
Правительства РФ

СЕЛЯНКИНА Светлана Михайловна –

научный сотрудник ИЯРФ

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

С. В. ВОРОНЦОВ, А. А. ДЕВЯТКИН

Историческая справка

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

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

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

Критмассовые эксперименты и стенды

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

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

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

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

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

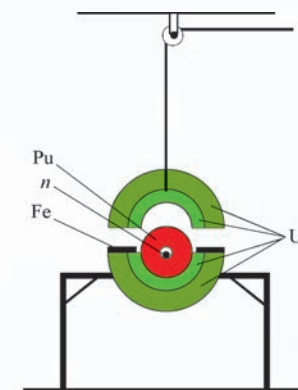


Схема первого критмассового эксперимента, 1949 г.

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

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

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

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

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

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

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



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

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

Первый стенд вступил в строй в 1950 г.

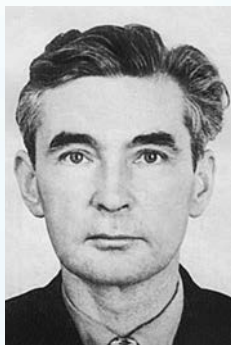
Здесь же потом размещался ФКБН-1 (1955 г.), в котором уже использовался электро-механический подъемник, аварийная защита осуществлялась в результате отключения питания электромагнита и падения стола с нижней частью РС под действием силы тяжести.

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

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



И. А. Курилов



Б. Д. Сциборский



А. М. Воинов



А. А. Малинкин



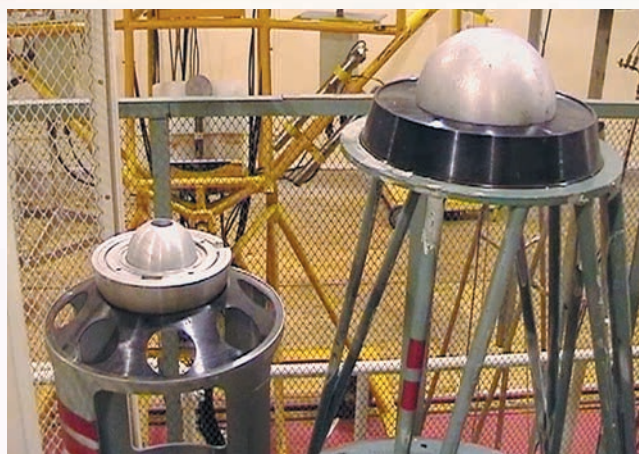
И. Г. Смирнов

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

Пульты управления новыми установками были размещены в том же не очень большом помещении (35 м²), где находился пульт управления ФКБН-1. Была очевидна недостаточность площади помещений отдела. Поэтому в середине 1950-х гг. по инициативе начальника сектора В. А. Давиденко, поддержанной Ю. Б. Харитоновым, развернулось грандиозное строительство так называемого «Физгородка» – площадки, расположенной рядом с городской застройкой. В 1961 г. на ее территории вошло в строй новое здание для реакторного отдела. Здание проектировалось для размещения в нем двух новых задуманных в то время установок: критстенда ФКБН-2 (в комплексе с нейтронной трубкой НГ-14) и первого растворного импульсного реактора ВИР.

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

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



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

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

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

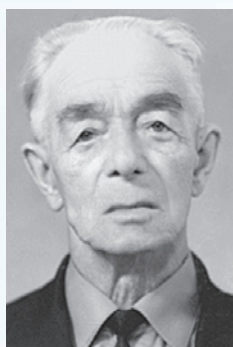
В одном из новых зданий, в конечном итоге, разместился ФКБН-2. В начале 1970-х гг. была проведена его модернизация в части системы управления и защиты (СУЗ) и конструкции механизма подъема стола, в которую были введены две независимые системы аварийного сброса.



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



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



И. Н. Шлейников



А. У. Мельков



Г. С. Прохоров



А. Н. Дегтярев



Ю. П. Демин

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

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

Руководство проведением критических экспериментов во ВНИИЭФ

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



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



М. И. Кувшинов



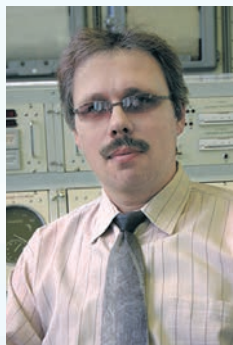
В. Н. Богданов



А. А. Девяткин



А. А. Кайгородов



А. М. Пичугин



В. П. Егоров

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

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

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

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

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

Первые импульсные ядерные реакторы, история развития

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

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

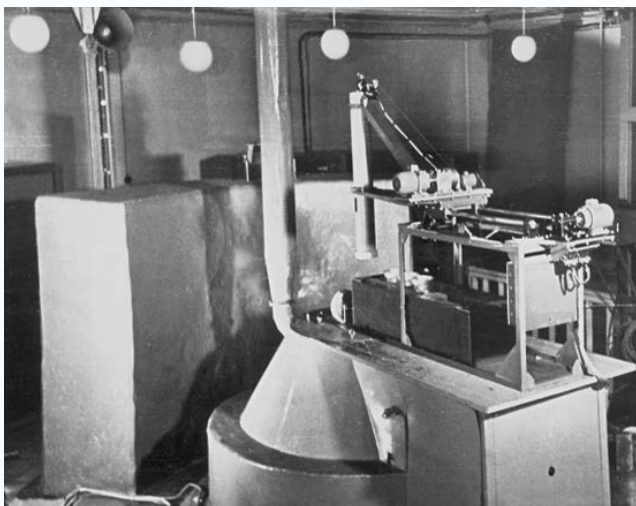
бор оказался удачным, и менее чем за 2 года под его руководством был разработан проект, создан и сдан в эксплуатацию реактор ВР-1. Реактор дал хорошую практику работы многим специалистам реакторного отдела.

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

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

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

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



Реакторный зал ВР-1



В. М. Кульгавчук за пультом управления ВИР-1

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

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

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

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

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

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

- критмассовые измерения и критические стенды;

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

- лазеры с ядерной накачкой, реактор-лазер.

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

Лазеры с ядерной накачкой

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

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

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



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



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

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

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

Импульсные реакторы, современное состояние и развитие

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

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

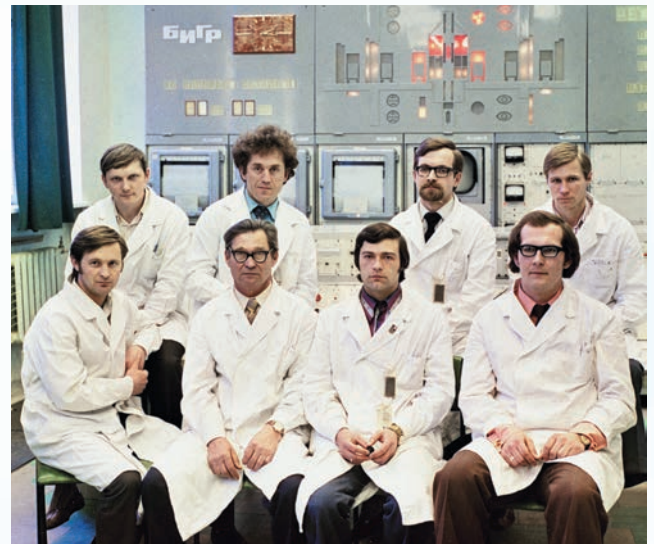
кий к предельной термостойкости топлива на основе сплава урана с молибденом. После всесторонних исследований характеристик реактор транспортирован в НИИП (г. Лыткарино).

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

Импульсные реакторы для облучательных комплексов, бустер-реакторы

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



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

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

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

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



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

по предварительно задаваемой временной программе их последовательного включения.

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

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

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

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

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

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

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

ЦЯРИ и ИЯРФ. Последние структурные и кадровые изменения

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

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

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

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

ВОРОНЦОВ Сергей Владимирович –

кандидат физ.-мат. наук,

первый заместитель директора ИЯРФ

ДЕВЯТКИН Андрей Александрович –

кандидат физ.-мат. наук,

начальник научно-исследовательского отделения ИЯРФ

В. С. ГОРДЕЕВ, Г. А. МЫСКОВ, К. В. СТРАБЫКИН

У ИЯРФ есть все основания гордиться своим вкладом в мировую науку создания ускорителей и формирование принципов физического моделирования воздействия поражающих факторов ЯВ.

При создании ускорителей в некоторых случаях надо было находить и практически реализовывать новые инженерные и технические решения, преодолевая сложившиеся в мире сомнения в их реализации. Довольно часто сложность и новизна задач по выявлению закономерностей впервые полученных данных выводила исполнителей на новый уровень профессиональных знаний.

Задачами создания лабораторных источников ионизирующего излучения на основе ускорителей электронов занимались большие коллективы специалистов и по нескольким направлениям.

Создание ускорителей электронов прямого действия начиналось с идеи использования их в качестве источников ионизирующего излучения в импульсных рентгенографических исследованиях, инициатором и руководителем которых был В. А. Цукерман. Идея себя оправдала, была экспериментально подтверждена и лучшие образцы ускорителей (МИГ-5000) обеспечивали рентгенографирование свинцовых деталей толщиной до 180–200 мм.

Испытания первых образцов ядерных зарядов, работы по их совершенствованию и созданию средств доставки выявили и потребовали соответствующего методического и приборного обеспечения исследований по радиационной стойкости аппаратуры автоматики и электро радиоэлементов. Эти требования, усиленные пониманием ограничений, а потом и близящимся запретом натуральных испытаний, мотивировали развитие работ по созданию для исследований радиационной стойкости лабораторных источников ионизирующих излучений и аппаратуры, регистрирующей излучения. Обращение к ускорителям прямого действия было органически естественным и целесообразным. На ускорителе МИГ-5000 было выполнено свыше 200 первых НИР по исследованию радиационной стойкости материалов, элементов и узлов радиоэлектронной аппаратуры. Активно развивались методы измерений параметров импульсов рентгеновского излучения подобных ускорителей.

Для расширения возможностей ускорителей прямого действия (прежде всего, повышения



Создатели рентгеновских установок. 1-й ряд (слева направо): К. Ф. Зеленский, В. А. Цукерман, Н. К. Плехов; 2-й ряд: В. И. Григорьев, И. А. Трошкин, А. В. Пилипенко, Н. И. Завада, Г. Г. Геворкян, 1970-е гг.

мощности) их стали дополнять формирующими линиями (ФЛ). Было разработано несколько ускорителей такого типа: ОРИОН-1, РИУС-ЗВ, РИУС-5, ИЛТИ. Проведены исследования различных ключевых конструкторских решений (различные варианты диэлектрика в ФЛ – деионизованная вода, глицерин, газ; способы вывода излучения и варианты согласования диода с ФЛ, оптимизация режимов и др.). На ускорителях выполнен большой объем исследований по созданию регистрирующей аппаратуры как для выходного излучения, так и для объектов испытаний. За работы по созданию новых ускорителей, выходные параметры которых на порядок превосходят параметры МИГ-5000, лауреатами Государственной премии СССР стали К. Ф. Зеленский, В. А. Балакин, О. П. Печерский.

Анализ зарубежных разработок и теоретические выкладки показывали, что дальнейшее увеличение параметров в предложенных ускорителях прямого действия было не возможно. Повышение значимости лабораторных исследований и испытаний радиационной стойкости (особенно для крупногабаритных объектов вооружений и военной техники) требовало увеличения площадей облучения, доз и мощностей. Под руководством А. И. Павловского был начат активный поиск новых, обоснованных научно-технических решений, которые позволили бы обеспечить создание мощных ускорителей заряженных частиц и даже обойти США.

Ключевым стартовым моментом явилось предложение (1965 г., В. С. Босамыкин, А. И. Герасимов, А. П. Клементьев, А. И. Павловский) по созданию безжелезного импульсного сильноточного линейного ускорителя (ЛИУ) с «совмещенными индукторами» (так названо авторами). Кроме того, В. С. Босамыкиным, А. И. Герасимовым и А. И. Павловским было предложено техническое решение по транспортировке сильноточных пучков на расстояние 10 м и более. При этом следовало решить сложную техническую задачу – создать многоканальные разрядники, которые бы при большом их количестве (тысячи штук) стабильно и управляемо срабатывали с временным разбросом не более нескольких наносекунд. Предложения вызвали интерес руководства ВНИИЭФ, и при его поддержке направление начало активно развиваться.

В ЛИУ не требуется изоляция на полное ускоряющее напряжение, соответствующее выходной энергии заряженных частиц, что создает значительные преимущества перед ускорителями прямого действия. Максимальная энергия частиц в ЛИУ не имеет принципиальных ограничений, а предельная – определяется габаритами, стоимостью установки и эффективностью транспортировки сильноточных пучков на большие расстояния. ЛИУ собирается из одинаковых ускорительных модулей – индукторов или блоков из них, что упрощает разработку, изготовление и эксплуатацию установки.

В 1967 г. впервые в мире был введен в действие экспериментальный образец ускорителя ЛИУ-2 (руководитель – А. И. Павловский, основные разработчики – А. И. Герасимов, В. С. Босамыкин, Д. И. Зенков, А. П. Клементьев, В. П. Царев, В. А. Тананакин). Ускоритель стабильно и устойчиво работал с момента ввода в действие, подтвердив теоретические предпосылки, схемные и технические решения, положенные в основу его реализации. На ЛИУ-2 выполнен широкий комплекс экспериментальных исследований возможностей таких установок. Главное, была практически подтверждена реализуемость новых предложений: наносекундный разброс группового (48 шт.) включения многоканальных разрядников и эффективная проводка сильноточного пучка электронов на расстояние до 5 м.

Дальнейшим шагом в развитии ЛИУ явилось предложение А. И. Павловского и В. С. Босамыкина (1968 г.) о применении в индукторах радиальных линий. Это техническое решение позволило (1971 г., А. И. Павловский, Г. Д. Ку-

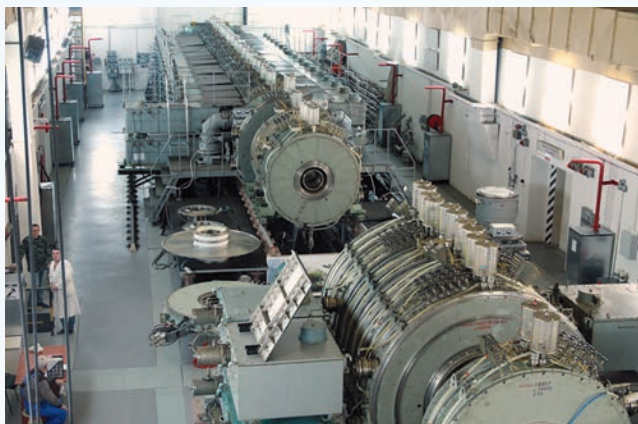
лешов, А. И. Герасимов) обосновать разработку нового мощного ускорителя ЛИУ-30 (30 МэВ, 100 кА, 20–40 нс). Такая установка должна была стать базовой для облучательного комплекса (ускоритель, реактор, ударные стенды), обеспечивающего испытания крупногабаритных объектов военного назначения (вплоть до ракетных отсеков и бронетанковой техники). Положительные результаты исследований, подтверждающих реализуемость предложения (проведены под руководством Г. Д. Кулешова), а также проработки вопросов выполнения проектных работ и создание такого комплекса показали необходимость строительства специальных зданий. Но на международных уровнях уже активно обсуждались вопросы моратория на ядерные испытания, что и мотивировало в 1974 г. Постановление ЦК КПСС и СМ СССР о создании во ВНИИЭФ облучательного комплекса ПУЛЬСАР.

С целью ускорения начала проведения испытаний и для детальной проработки предложений (одновременно с работами по проекту «Пульсар») во ВНИИЭФ было принято решение создать уменьшенный образец ускорителя (ЛИУ-10). К концу 1977 г. ЛИУ-10 (14 МэВ, 40 кА, 20–40 нс) был сдан в опытную эксплуатацию, достаточно быстро на нем были получены расчетные параметры тормозного излучения, и он стал использоваться в качестве облучательной установки. Это был бесспорный успех напряженного труда большого коллектива сотрудников сектора (отмечен Ленинской премией).

В 1984 г. установка ЛИУ-10 была оснащена импульсным ядерным реактором ГИР. На облучательном комплексе ЛИУ-10-ГИР экспериментально подтверждена возможность моделирования комплексного воздействия. На ЛИУ-10 с



Лауреаты Ленинской премии 1982 г. 1-й ряд (слева направо): А. П. Клементьев, А. И. Герасимов, А. И. Павловский (научный руководитель работ), В. С. Босамыкин; 2-й ряд: К. А. Морунов, В. А. Савченко, В. Ф. Басманов



*Базовая установка комплекса ПУЛЬСАР —
ускоритель ЛИУ-30*

1978 по 1990 г. проведено 5 тысяч экспериментов по отработке радиационной стойкости изделий 15 институтов и КБ, с последующей оценкой стойкости (по ряду изделий) в подземных ядерных испытаниях.

ЛИУ-30 был принят в эксплуатацию в 1988 г. Он показал рекордную для установок такого типа энергию ускорения электронов 40 МэВ и максимальную дозу тормозного излучения 10 кР на 1 м от мишени при длительности импульса 20 нс. На ЛИУ-30 сразу же начались исследования и отработка радиационной стойкости компонентов крупногабаритной военной техники (ВТ), а затем и образцов ВТ в целом.

Ускоритель использовался в автономном режиме и в составе облучательного комплекса совместно с ядерным импульсным реактором с компактной металлической активной зоной БР-1.

За период 1988–2001 гг. проведено более 6 тысяч рабочих включений ЛИУ. Минимальный интервал между его запусками составил 5 минут. С таким интервалом производилось до 3-х последовательных срабатываний ЛИУ в одной серии.

В период 2005–2013 гг. при непосредственном руководстве С. А. Горностай-Польского проведены обширные работы по модернизации ускорителя ЛИУ-30 с целью повышения его надежности и стабильности параметров: увеличен осевой зазор в одной из радиальных линий; проведена замена элементов, выработавших ресурс; выполнена модернизация магнитной системы транспортировки и фокусировки сильноточного электронного пучка.

В процессе работы на ускорителях ЛИУ-10 и ЛИУ-30 выявилась возможность (предложение В. С. Гордеева, 1979 г.) замены водоизолированных радиальных линий в индукторах линиями со ступенчатым изменением волнового сопротив-

ления – ступенчатыми формирующими линиями (СФЛ). Это позволяло в несколько раз увеличить амплитуду ускоряющего напряжения, по сравнению с величиной напряжения зарядки этих линий, и снизить количество коммутирующих разрядников. Предложение было поддержано В. С. Босамыкиным и стало активно развиваться. Были последовательно разработаны, изготовлены и исследованы ускорители И-3000, СТРАУС и СТРАУС-2. Наиболее мощным из этих ускорителей был СТРАУС-2 (1989 г.). Он нашел применение как автономная облучательная установка с дозой тормозного излучения около 20 Р на площади диаметром 0,8 м на расстоянии 1 м от мишени.

Таким ускорителем дооснащены комплексы ПУЛЬСАР (1999 г.) и ЛИУ-10М-ГИР2 (2000 г.).

Успехи в разработке СФЛ позволили начать в 1990 г. проектирование (для замены ускорителя ЛИУ-10) более совершенного ускорителя ЛИУ-10М с индукторами на ступенчатых линиях (аналог СТРАУС-2).

Новый ускоритель (20 МэВ, 50 кА, 20 нс) был введен в действие в 1994 г. Ускоритель содержит всего 16 индукторов, число тригатронов в которых уменьшено на 20 % по сравнению с их количеством в ЛИУ-10; упрощена система высоковольтной синхронизации. Как и прежде, высокие результаты были обеспечены увлеченностью и многолетним самоотверженным трудом большого коллектива специалистов физического сектора. Ускоритель создавался под научным руководством (на начальном этапе) А. И. Павловского, а после его кончины (1993 г.) – под руководством В. С. Босамыкина. Коллектив лаборатории во главе с В. С. Гордеевым, несмотря на большие материально-технические трудности, работал над созданием ускорителя с энтузиазмом. Основными ответственными исполнителями работ по этой установке являлись: В. Ф. Басманов, А. П. Гридасов – разработка конструкторской документации; О. Н. Сютин, А. В. Будаков, Г. А. Мысков, А. В. Косачев, А. Н. Петров, М. В. Загускин, Н. Н. Сулин, В. С. Никольский, В. О. Филиппов, А. С. Федоткин.

После запрещения подземных ядерных испытаний и сокращения ядерного потенциала РФ в начале 1990-х гг. стала актуальной проблема создания мощных импульсных установок для рентгенографических комплексов (РГК) и мультитераваттных установок для генерации жесткого короткоимпульсного рентгеновского излучения.

С целью создания РГК был предложен проект (В. С. Гордеев, Г. А. Мысков, Е. С. Михайлов,

1997 г.) ускорителя ЛИУ-Р, представляющий собой лабораторную установку – источник ионизирующего излучения высокой интенсивности с малым фокусным пятном.

С 2000 г. работы выполнялись в отделении В. С. Гордеева в отделе Г. А. Мыскова. В 2007 г. в новом здании начались экспериментальные исследования по отработке режимов функционирования макета ускорителя с инжектором и четырьмя индукторами. Ускоритель ЛИУ-Р-Т запущен в работу в конце 2015 г. Он генерирует одиночные импульсы тормозного излучения высокой интенсивности с малым фокусным пятном на мишени и предназначен для применения в импульсной радиографии быстропротекающих процессов. Как и в случае ЛИУ-10М, инжектор и индукторы ЛИУ-Р-Т созданы на основе ступенчатых формирующих линий с распределенными параметрами. Это позволило вдвое повысить темп ускорения и увеличить в 5–10 раз ток электронного пучка по сравнению с наиболее мощными зарубежными рентгенографическими установками (DARHT, AIRIX, Dragon), выполненными по схеме классических ЛИУ с индукторами на ферромагнитных сердечниках. По дозовым параметрам ускоритель ЛИУ-Р-Т на порядок превосходит аналогичные отечественные установки для импульсной радиографии и сопоставим с лучшими зарубежными установками подобного класса. Благодаря характерной для ЛИУ модульной конструкции, дозовые и энергетические параметры ускорителя, в случае необходимости, могут быть значительно повышены путем добавления индукторов в состав его ускоряющей системы. Большой вклад в создание ускорителя внесли Г. А. Мысков, С. Т. Назаренко, В. С. Никольский, Е. С. Михайлов, В. В. Хвостов, Н. Н. Сулин, О. В. Забелин, Д. Ю. Гарин, Н. Н. Утюмов, И. А. Бабков, Н. П. Наумов и др.

С целью получения мощных коротких импульсов жесткого рентгеновского излучения В. С. Гордеевым, Г. А. Мысковым, Е. С. Михайловым и В. В. Шевченко в 1998 г. выполнено расчетно-теоретическое обоснование шестнадцатимодульной установки ГАММА. В конце 2005 г. под руководством А. В. Гришина и В. С. Гордеева были завершены работы по изготовлению и монтажу сильноточного импульсного ускорителя электронов ГАММА-1 (2 МэВ, 750 кА, 45 нс). Ускоритель создан на базе пятикаскадной формирующей линии и двухкаскадного преобразователя длительности импульса. Данная схема позволяет сформировать достаточ-



Ускоритель ЛИУ-Р-Т

но короткий электромагнитный импульс на низкоимпедансную нагрузку с высоким кпд. Ускоритель может использоваться как самостоятельная установка, так и в составе многомодульной установки, подобно американской установке ДЕКАДА. В 2015 г. для полномасштабной установки было завершено строительство

здания, и в 2020 г. введена в эксплуатацию установка ГАММА-4, состоящая из четырех типовых модулей.

Таким образом, в ИЯРФ впервые в мире предложен и реализован ряд эффективных уникальных сильноточных ускорителей электронов и на их основе – облучательных комплексов с импульсными ядерными реакторами, позволяющих моделировать в лабораторных условиях действие мгновенного гамма-излучения, нейтронов и других видов воздействия поражающих факторов ядерного взрыва на военную технику. В условиях запрещения ядерных испытаний установки служат экспериментальным средством для решения актуальных проблем обеспечения надежности и боеспособности существующей и разрабатываемой ВТ. За прошедшие 70 лет на установках физического отделения отработаны и испытаны на радиационную стойкость системы многих ракетных комплексов. По результатам разработки исследований ускорителей типа ЛИУ с радиальными линиями и СФЛ получено более 80 свидетельств и патентов на изобретения.

За работы по созданию и развитию облучательных комплексов, а также по результатам испытаний техники специального назначения лауреатами премии Правительства РФ (2005 г.) стали: В. С. Гордеев, А. П. Гридасов, А. В. Гришин, А. В. Грунин, В. Ф. Колесов, А. С. Кошелев, В. А. Савченко, В. Д. Селемир.

ГОРДЕЕВ Вячеслав Серафимович –

главный научный сотрудник, доктор физ.-мат. наук,
лауреат премии Правительства РФ

МЫСКОВ Геннадий Алексеевич –

начальник научно-исследовательского отдела

СТРАБЫКИН Кирилл Валерьевич –

начальник научно-исследовательского отдела

Развитие резонансных ускорителей ВНИИЭФ: гибкость и мощность

М. Л. СМЕТАНИН, А. В. ТЕЛЬНОВ, И. В. ШОРИКОВ

В составе экспериментальной базы РФЯЦ-ВНИИЭФ (ИЯРФ) среди установок, моделирующих воздействие ионизирующих излучений с широким диапазоном амплитудно-временных и спектрально-энергетических характеристик, важное место занимают линейные резонансные ускорители электронов. В институте постоянно проводятся исследования по совершенствованию установок и расширению их возможностей. Импульсный режим работы высокочастотных (резонансных) линейных ускорителей электронов, использование тормозного излучения для генерации фотонейтронов и возможность применения в нейтронных исследованиях метода времени пролета послужили основанием (мотивацией) для создания во ВНИИЭФ (разработка Московского радиотехнического института, середина 1950 г.) линейного ускорителя МВ-15 (энергия электронов 15 МэВ). На ускорителе был выполнен ряд оригинальных исследований. В частности, впервые были получены данные по сечениям и спектрам образования γ -квантов в диапазоне энергией γ -квантов 1–5 МэВ на широком спектре нейтронов для ядер Cu, Mo и W, впоследствии включенные в мировую систему констант. Результаты этих исследований позволили обосновать необходимость создания нового сильноточного линейного ускорителя электронов для научных и прикладных исследований. Эти предложения были поддержаны научным руководством института (Ю. Б. Харитонов, А. И. Павловским), а затем и руководством министерства. Огромный вклад в окончательное решение вопроса о создании в институте такого ускорителя внес Л. Д. Рябев. Разработка такого ускорителя была выполнена в Московском радиотехническом институте (с участием ряда организаций) в 1972 г. Во ВНИИЭФ физический пуск ускорителя ЛУ-50 (55 МэВ, 10 А, 10 нс) состоялся в 1981 г. Достигнутые параметры пучка ускоренных электронов не уступали аналогичным показателям лучших в мире ускорителей такого класса и обеспечили высокую точность определения ядерно-физических констант.

Под руководством Ю. А. Хохлова для решения этих задач сформировался коллектив ученых, инженеров и высококвалифицированных лаборантов (Ю. Я. Глазунов, Н. П. Ситников,

В. П. Тарантасов, В. И. Иньков, Н. В. Завьялов, В. И. Панин, В. И. Демчишин, В. Н. Шикин, Ю. В. Соколов и др.), который определил возможность последующего развития и применения высокочастотных резонансных ускорителей на десятилетия вперед.

На ЛУ-50 специалистами в области радиационной и нейтронной физики (М. В. Савин, Л. Н. Генералов, А. Н. Ливке, И. А. Иванов, Д. Н. Шадрин и др.) был проведен большой объем фундаментальных и прикладных исследований. Были уточнены спектры нейтронов деления ^{235}U нейтронами с энергией 14 МэВ под разными углами к направлению разлета осколков в системе координат осколков. Была получена дополнительная информация о механизме образования нейтронов деления, введены в практику исследований диэлектрические трековые детекторы (стекла, полимеры, природные минералы и т. д.), измерены в широком интервале энергий первичных нейтронов зависимости выхода вторичных нейтронов из ^{235}U , ^{237}Np , ^{240}Pu , ^{242}Pu , ^{241}Am , ^{243}Am и ^{245}Cm .

Интересная научно-экспериментальная работа была выполнена (совместно с А. В. Галкиным и А. В. Григоренко) по калибровке кабельных измерительных каналов на прохождение очень коротких импульсов. Особенности временной структуры импульсов электронного пучка были использованы для выделения и регистрации одиночных сгустков электронов длительностью около 30 пс. Это позволило выйти на новый уровень в исследованиях быстропотекающих процессов. Возможность гибкой регулировки режимов работы позволили также провести на ЛУ-50 прецизионные радиографические эксперименты.

В связи с распространением на электроядерные установки принципа каскадных систем и предполагаемой возможностью существенного снижения мощности ускорителя в бланкете каскадного типа во ВНИИЭФ (ИЯРФ, 2000–2004 гг.) впервые в мире были проведены эксперименты с глубоко подкритичными уран-нептуниевыми моделями каскадного бланкета. Эксперименты проводились с использованием в качестве источника нейтронов ускорителя электронов ЛУ-50, а также изотопного источника нейтронов, размещенного в центре моделей. На

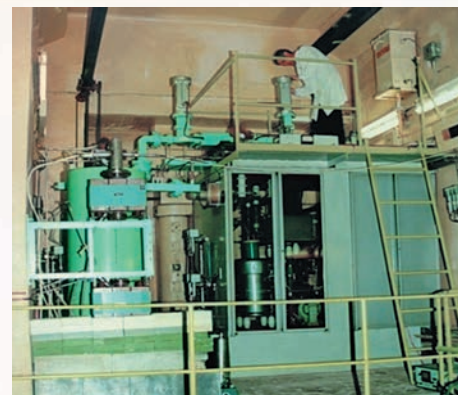
основе измерений определены числа делений в каскадах и числа нейтронов утечки с нормировкой на один нейтрон источника или один электрон ускорителя. Определен главный показатель каскадного blankets – коэффициент каскадного усиления. Эксперименты на моделях подтвердили теоретические заключения о положительных свойствах каскадных blankets и возможность создания электроядерной установки на основе ускорителя частиц и каскадных blankets с использованием нептуния-237.

Опыт, накопленный при создании и эксплуатации ускорителей электронов МВ-15 и ЛУ-50, позволил в 1990-х гг. перейти к разработке линейных резонансных ускорителей промышленного назначения с энергией электронов до 10 МэВ. Сложная экономическая обстановка подтолкнула коллектив лаборатории к созданию в рамках конверсионной тематики высокотехнологичных изделий – надежных резонансных ускорителей электронов для радиационных технологий.

В 1994 г. был разработан и запущен линейный резонансный ускоритель ЛУ-10-20 (энергия электронов до 9 МэВ, средняя мощность пучка до 12 кВт). Работа проводилась в кооперации с МИФИ. В итоге совместных действий специалистов не только появился надежный промышленный образец ускорителя, но и разработаны расчетно-экспериментальные методики, освоены технологии и создана научно-практическая база для проектирования и изготовления резонансных ускорителей электронов с учетом специфики их применения. За счет реализации широких возможностей по регулировке энергии электронов 4–9 МэВ, мощности электронного и тормозного излучений, площади и формы области облучения на ускорителе ЛУ-10-20 проведен впечатляющий объем исследований по радиационной модификации полупроводников и полимеров, моделированию радиационного старения материалов, радиационно-термическому крекингу и радиационной переработке отработанного бутылкаучука. Ускоритель приобрел функции инструмента для радиационной модификации материалов с целью изучения их свойств.



Ускоритель ЛУ-50



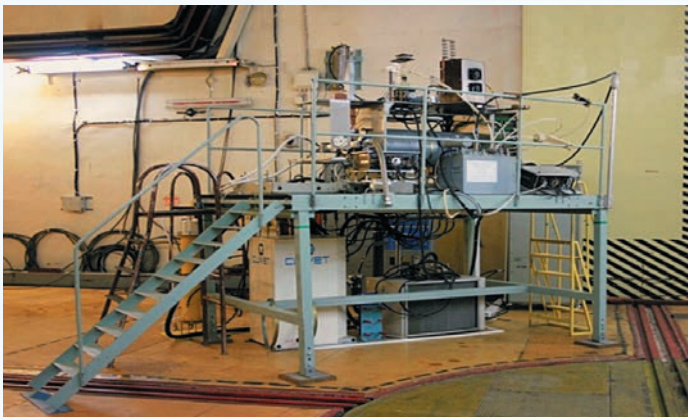
Ускоритель ЛУ-10-20

И вновь опыт, накопленный специалистами, позволил сделать следующий шаг – разработать и изготовить в 2004 г. транспортабельный линейный резонансный ускоритель ЛУ-7-2 (энергия электронов 7 МэВ при средней мощности пучка до 1,5 кВт). Ускоритель отличается компактностью и простотой управления, что существенно для оперативной работы в полевых условиях и обеспечивает различные варианты его использования. Ускорителем ЛУ-7-2 дооснащен облучательный комплекс ПУЛЬСАР в 2007 г.

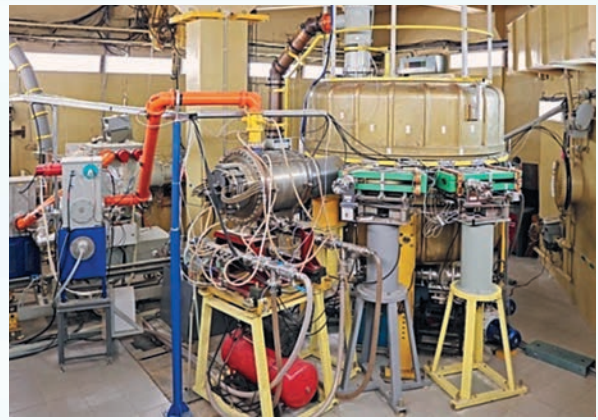
В начале 2000-х гг. совместно со специалистами Всероссийского центра глазной и пластической хирургии (ВЦГиПХ, г. Уфа), под руководством известного офтальмолога Э. Р. Мулдашева на ЛУ-10-20 проведен большой объем исследовательских работ по влиянию электронного и тормозного излучений на биоматериалы в интересах медицинской восстановительной хирургии. По результатам исследований созданы передовые методики стерилизации медицинских биоматериалов без разрушения структуры. Для их внедрения в практику в ИЯРФ разработан вариант конструкции ускорителя ЛУ-7-2, который смонтирован и успешно применяется в ВЦГиПХ с 2005 г. для стерилизации биоматериалов (аллотрансплантатов).

В рамках развития идеи использования активных методов обнаружения делящихся материалов для контроля крупногабаритных морских контейнеров и контроля перевозки высокообогащенного урана (на основе опыта создания ЛУ-7-2) был разработан, изготовлен и успешно испытан в 2008 г. опытный образец линейного резонансного ускорителя электронов ЛУ-8-2 с конвертером для генерации тормозного излучения с максимальной энергией квантов до 8 МэВ.

С 2001 г. ведется разработка перспективной установки БЕТА-8, основанной на последовательной схеме набора ускорения. Установка



Ускоритель ЛУ-7-2



Макет установки БЕТА-8

представляет собой резонансный ускоритель электронов со средней мощностью пучка до 300 кВт и энергией электронов, изменяемой в широком диапазоне от 1,5 до 7,5 МэВ. БЕТА-8 предназначена для исследования длительного воздействия высокоинтенсивных потоков тормозного и электронного излучений на крупногабаритные объекты. Для этого в кооперации с ИЯФ им. Г. И. Будкера (г. Новосибирск) разработан ВЧ генератор, состоящий из трех независимых по управлению и питанию модулей с сумматором выходной мощности. Впервые для установки такой сложности были применены трехмерные расчеты электродинамических характеристик резонатора и динамики пучка электронов, конструкторское проектирование также вышло на новый уровень – было освоено построение трехмерных моделей для сопряжения узлов установки.

К настоящему времени смонтирован и испытан полномасштабный действующий макет установки БЕТА-8, состоящий из коаксиального ускоряющего резонатора и первого модуля ВЧ генератора с мощностью 180 кВт. Физический пуск макета состоялся в 2020 г. На макете БЕТА-8 проводится отработка режимов на пониженной мощности для исследования динамики прохождения пучка через резонатор и магнитно-оптическую структуру для минимизации потерь ускоренных электронов. При увеличении мощности ВЧ питания до проектного уровня в 540 кВт средняя мощность электронного пучка должна достигать 300 кВт. Успешное проведение этих работ в ИЯРФ стало возможным благодаря активной увлеченной работе молодых специалистов физиков и тесному сотрудничеству с конструкторами.

Установка БЕТА-8 позволит проводить радиационные исследования при воздействии боль-

ших интегральных доз электронного и тормозного излучений на крупногабаритные объекты, изучать механизмы радиационной модификации материалов при длительном воздействии ионизирующего излучения на ранее недостижимом прежде уровне мощности.

История развития резонансных ускорителей электронов в РФЯЦ-ВНИИЭФ – это непростой путь коллектива специалистов, которые должны были в любой обстановке давать ответы на вызовы времени. Эта научно-техническая область имеет широчайшие возможности по адаптации для наиболее оптимального решения поставленных задач, при наличии группы специалистов, энтузиастов и просто увлеченных людей, которые сейчас работают по этому направлению.

Резонансные ускорители заряженных частиц – высокотехнологичные устройства, расширение возможностей которых не исчерпано до сих пор за счет гибкого регулирования воздействия ионизирующих излучений по мощности, по проникающей способности (энергии частиц) и типам частиц. Поэтому целевое применение ускорителей простирается от фундаментальных научных исследований до промышленного производства, и от лечения онкологических больных до модификации свойств самых различных материалов, таких как полупроводники, полимеры и металлы.

ТЕЛЬНОВ Александр Валентинович –

кандидат физ.-мат. наук, заместитель директора
по радиационным комплексам –
начальник научно-исследовательского отделения

СМЕТАНИН Максим Леонидович –

начальник научно-исследовательского отдела

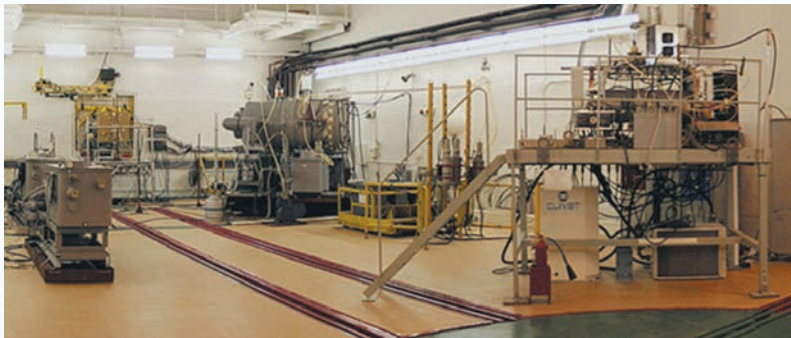
ШОРИКОВ Игорь Витальевич –

начальник научно-исследовательской лаборатории

Радиационная физика, начинавшаяся с обнаружения потенциалов, наведенных излучением ядерного взрыва на полигонных измерительных кабелях, с увеличением объема измеряемых данных и углублением понимания физики обнаруженного явления из частного технического вопроса стала системообразующей наукой. Создание изделий, надежно функционирующих в условиях воздействия ИИ, является сложной задачей. На протяжении десятилетий развивается методология задания, обеспечения и подтверждения требований радиационной стойкости. В становлении и развитии радиационной физики в ИЯРФ участвовало много талантливых научных сотрудников, инженеров и рабочих, внесший большой вклад в обеспечение безопасности страны.

Для ИЯРФ исследования и испытания радиационной стойкости с годами трансформировались в ключевое (основное) направление деятельности, в том числе по растущей вовлеченности ресурсов с учетом всех составляющих.

Пройден огромный путь от полигонных испытаний, в которых источником излучений был ядерный заряд, до лабораторных исследований с моделированием сначала пофакторного, а потом и комплексного воздействия отдельных поражающих факторов ядерного взрыва. Для этой цели во ВНИИЭФ создавалась и развивается экспериментальная база установок, состоящая из сильноточных ускорителей электронов разного типа и импульсных ядерных реакторов, обеспечивающая воздействие ионизирующих излучений с различными амплитудно-временными и спектрально-энергетическими характеристиками.



Испытательный зал облучательного комплекса ПУЛЬСАР

Проведение исследований с использованием экспериментальной базы обеспечивалось также развитием и совершенствованием существующих и разработкой новых детекторов, методов и методик проведения измерений характеристик высокоинтенсивных и высокодозных полей ионизирующих излучений.

Отлажена инфраструктура, обеспечивающая проведение работ, и методические основы постановки исследований для различных объектов и режимов функционирования моделирующих установок. Уникальные характеристики моделирующих установок и облучательных комплексов обеспечивают возможность исследования широкой номенклатуры объектов – от микросхем до крупногабаритной техники.

Проведены испытания огромной номенклатуры изделий военной техники.

Созданная экспериментальная база и предоставляемые ею возможности особенно остро востребованы в связи с прекращением натуральных испытаний ЯЗ.

Следует отметить обострившийся интерес к радиационной физике в связи с освоением космического пространства. Очевидно, что это освоение стратегически значимо и для обороноспособности страны, и для народнохозяйственных задач, и для достижения технологического лидерства. Космическая аппаратура должна обладать высокой надежностью и гарантированными сроками активного существования в условиях воздействия комплекса дестабилизирующих факторов космического пространства.

Одним из важных при этом является требование радиационной стойкости. Достоверное подтверждение радиационной надежности требует длительной и дорогой сертификации элементов и проверки конструкторских, схемно-топологических и алгоритмических решений в наземных условиях, имитирующих условия эксплуатации.

Группой предприятий различной ведомственной подчиненности было сформулировано актуальное предложение по разработке отечественной функционально полной номенклатуры радиационно-стойкой ЭКБ, радиационно-стойких приборов и радио-

электронной аппаратуры, включая космическую технику. Эти предложения несколько лет рассматривались правительственными структурами. В 2018 г. предложения были одобрены Военно-промышленной комиссией, и с 2019 г. на основании поручения правительства проект начал реализовываться.

В рамках проекта под непосредственным руководством директора РФЯЦ-ВНИИЭФ д.т.н. В. Е. Костюкова совместно с предприятиями ГК «Росатом», ГК «Роскосмос», Минпромторга, Миннауки и образования и Министерства обороны обосновано перспективное направление – создание межотраслевого распределенного комплексного Центра радиационных испытаний ЭКБ, приборов и РЭА.

Огромный комплекс работ, проделанный во ВНИИЭФ по исследованиям радиационной стойкости, послужил основанием для принятия решения о создании Центра на базе ВНИИЭФ.

С 2019 г. на основании поручения Правительства РФ во ВНИИЭФ начата реализация проекта по созданию межотраслевого распределенного комплексного Центра радиационных испытаний ЭКБ, приборов и РЭА (МЦКИ). По своим характеристикам и возможностям методическая и экспериментально-испытательная база Центра будет соответствовать характеристикам и возможностям ведущих зарубежных испытательных центров.

Создание центра предполагает переход на новый уровень экспериментального моделирования воздействий. На исследуемые объекты должны воздействовать пучки заряженных частиц (с широким набором ионов от протона до Bi), формируемые ионным ускорителем синхротронного типа. Потоки частиц изменяющейся интенсивности должны воздействовать на объекты испытаний совместно с электронным и тормозным излучением, а также с возможным дополнительным одновременным воздействием электромагнитных полей электростатических разрядов.

Многообразие режимов экспериментальных исследований обеспечивается составом установок комплекса (см. рисунок) и гибкими возможностями их автономных включений и совместного использования по заданным программам.

Создание МЦКИ ведется в рамках широкой кооперации отечественных институтов и промышленных предприятий. В создании Центра участвуют ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН (г. Новосибирск), НИЯУ МИФИ (г. Москва), КИ ГНЦ ИТЭФ (г. Москва), ФГУП «РФЯЦ-



ВНИИТФ» (г. Снежинск), АО НИИЭФА им. Ефремова (г. Санкт-Петербург), НИИЭФА-ЭНЕРГО (г. Санкт-Петербург), ОИЯИ (г. Дубна), АО НИИТФА (г. Москва).

Надо отметить, что характер работ по созданию МЦКИ выходит за рамки объединения и координации усилий организаций. Работа требует освоения новых технологий (например, технологии получения высокодобротных резонансных структур с надежным и долговечным покрытием), создания новых производственных мощностей (например, производства мощных ВЧ генераторов и усилителей), разработки сложных программных продуктов (сравнимых по возможностям с современными зарубежными программными пакетами).

В 2020 г. в ИЯРФ проведены структурные преобразования и появилось специализированное подразделение, функциональной задачей которого является весь комплекс работ по созданию МЦКИ. Руководству ИЯРФ еще предстоит набрать и в процессе выполнения работ обучить большую команду специалистов по новым направлениям. А создание Центра – бесспорно ключевая задача деятельности ИЯРФ на ближайшие годы.

ГРУНИН Анатолий Васильевич –
доктор физ.-мат. наук, главный научный сотрудник

ЛАЗАРЕВ Сергей Анатольевич –
кандидат физ.-мат. наук,
начальник научно-исследовательского отдела

ТЕЛЬНОВ Александр Валентинович –
кандидат физ.-мат. наук, заместитель директора
по радиационным комплексам –
начальник научно-исследовательского отделения

Из истории теоретического подразделения ИЯРФ

В. Б. ГРЕЧУШКИН

С первых дней физического сектора существовала необходимость теоретической интерпретации полученных результатов. С ростом объема исследований и развитием экспериментальной базы все более очевидной была потребность осмысления и выявления закономерностей в результатах опытов, выбора и совершенствования методик обработки результатов и редакций проведения экспериментов. Как говорил Людвиг Больцман: «Экспериментальная физика собирает кирпичи, а строить из них здание – дело теоретической физики».

Для решения таких задач по инициативе и под руководством Ю. С. Замятина в 1959 г. была образована группа, первоначально состоявшая из двух выпускников МГУ: И. К. Аверьянова и Л. М. Лазарева. Для руководства решением конкретных задач из Курчатовского института «вахтовым методом» приглашали ведущих специалистов: П. Э. Немировского, А. И. Базя, Г. А. Пак-Пичака.

Под руководством А. И. Базя были созданы новые методики измерения сечений упругого и неупругого взаимодействия нейтронов и дейтронов с ядрами атомов, важные для моделирования делящихся систем.

Была исследована возможность расчета сечения захвата нейтронов для оценки выхода далеких трансурановых элементов во взрывных опытах.

Постепенно группа теоретиков пополнялась новыми сотрудниками, выпускниками МГУ и МИФИ. В отдел пришли Т. В. Луговцева, А. Е. Савельев, В. П. Зоммер, В. А. Жмайло, А. С. Тяпин, Л. С. Мхитарьян.

В 1964 г. группа была преобразована в теоретическую лабораторию, которая в 1966 г. стала отдельной структурой под руководством В. Г. Заграфова.

В этот период в направлении деятельности лаборатории вошли и стали доминирующими работы по расчетному сопро-

вождению опытов на критических сборках и по созданию во ВНИИЭФ аperiodических импульсных реакторов (АИР). Исполнителем этих работ стал выпускник МГУ В. Ф. Колесов, до этого десять лет проработавший в реакторном отделе.

Он ярко проявил себя на новом месте, успешно теоретически обосновав конструкцию реакторов БИР и ВИР, а также выдвинул физический проект АИР БИГР, ставшего самым мощным реактором ВНИИЭФ. После обсуждения у научного руководителя ВНИИЭФ Ю. Б. Харитона, а затем на заседании НТС проекты реакторов были приняты к реализации. В. Ф. Колесов в 1964 г. защитил диссертацию кандидата физ.-мат. наук, а в 1968 г. – докторскую.

Лаборатория эпизодически пополнялась новыми сотрудниками.

В 1969 г. В. Г. Заграфов вернулся в ИТМФ и увел с собой ряд сотрудников.

Начальником лаборатории был назначен молодой д.ф.-м.н. В. Ф. Колесов. Его кандидатуру поддержали И. И. Глотов и А. И. Павловский,



Научный семинар в кабинете начальника. Слева направо: Ю. Шилов, П. Миронычев, Л. Бабич, В. Матьев, Ю. Петров, И. Аверьянов, В. Колесов, В. Травин, В. Хоружий, С. Штарев, А. Карпиков, В. Ильин, А. Сизов, А. Воронов

высказывавший идею создания собственной «малой академии наук».

Под руководством В. Ф. Колесова подразделение плодотворно работало более 40 лет. Он, как никто другой, умел адаптировать работу отдела к изменяющимся требованиям экспериментаторов, представить результаты работ сотрудников и защитить их интересы перед руководством. Владимир Федорович выполнял функции «камертона» в деятельности теоретиков, и мы стараемся не потерять заданный им тон.

В. Ф. Колесов – ученый с мировым именем в области создания импульсных исследовательских ядерных реакторов, автор монографии «Апериодические импульсные реакторы», изданной на русском и английском языках, – настольной книги специалистов реакторостроения.

За время работы В. Ф. Колесова структура подразделения неоднократно изменялась. В период наибольшего расцвета это был отдел из трех лабораторий: лаборатории нейтронной и реакторной физики под руководством В. Ф. Колесова, лаборатории лазеров с ядерной накачкой и теплофизики под руководством д.ф.-м.н. А. Н. Сизова и лаборатории физики плазмы, которую возглавлял д.ф.-м.н. Л. П. Бабич.

Основные работы, выполненные отделом, – это разработка методов описания теплового удара и радиолитического кипения в импульсных реакторах с твердой и жидкой активными зонами (В. Ф. Колесов, А. И. Сизов, С. К. Штарев, В. Х. Хоружий, В. Б. Гречушкин). Методы позволили моделировать импульсы в существующих реакторах и проектировать новые установки. Таким образом, были спроектированы реакторы БИГР, БР-1, ТИБР, ГИР-2, БР-К1, серия ВИР и реакторно-ускорительные комплексы: ЛИУ-10 + ГИР и ЛИУ-30 + БР-1. Развитием данной темы стала идея (В. Ф. Колесов, С. К. Штарев, Ю. В. Петров, А. А. Малинкин) связанных импульсных реакторов, состоящих из нескольких активных зон. Идея позволила существенно расширить облучательные возможности установок и послужила пусковым импульсом создания в РФЯЦ-ВНИИТФ и ГНЦ РФ ФЭИ реакторов БАРС-4, БАРС-5, БАРС-6, БАРС-5 + РУН, БАРС-6.

Следующим шагом стала концепция каскадных реакторов на основе ускорителя и двухсекционной активной зоны с односторонней реактивной связью на основе порогового делящегося материала ^{237}Np . Это направление вызвало большой интерес в России и за рубежом (проект установки рассматривался в США в 1994 г.).

Лабораторией А. Н. Сизова проводились исследования лазеров с ядерной накачкой. На реакторах ВИР, БР-1, БИГР и стенде ИКАР были изучены неравномерности газовых сред.

С. П. Мельников, А. Н. Сизов, А. А. Силянский в 2008 г. выпустили книгу «Лазеры с ядерной накачкой», ее дополненная версия, с участием профессора из США Дж. Х. Майли, вышла в Нью-Йорке в 2015 г.

Идея использования пороговых делящихся элементов в каскадных бланкетах электроядерных установок (подкритических реакторов для сжигания трансурановых элементов, управляемых ускорителем) была развита В. Ф. Колесовым и В. Х. Хоружим. По материалам аналогичных работ, выполненных в России и за рубежом, была издана монография «Электроядерные установки и приборы ядерной энергетики».

Развивались работы, связанные с расчетным сопровождением критмассовых опытов, интерпретации полученных в них результатов и создания наборов многогрупповых констант.

П. В. Миронычев проводил расчетную оптимизацию соленоидов сильных магнитных полей для фокусировки пучков ускорителей. А. Л. Мозговой принимает участие в расчетном сопровождении и обработке результатов опытов на установке ГАММА.

В лаборатории Л. П. Бабича исследовался разряд в газах: дуговой и тлеющий, низкотемпературная плазма, наносекундный пробой плотных газов, ионизирующие волны и ускорительные процессы при пробое перенапряженных промежутков.

Проводились исследования в области физики высоких плотностей энергии: по динамике устройств магнитной кумуляции и поведению вещества при сверхвысоком давлении.

В последние годы лаборатория ведет активное сотрудничество с радиохимическим отделом испытательного отделения. Продолжаются расчетно-теоретические работы в области модернизации реакторов БР-К1 и ВИР-2М и создания новых импульсных реакторов. В лаборатории заметная роль отводится научному сопровождению работ по спецтемам.

ГРЕЧУШКИН Владимир Борисович –

магистр техники и технологии,
начальник расчетно-теоретической лаборатории

Конструктивно о конструкторах

Д. В. БУДНИКОВ

Пожалуй, ни в одном из подразделений РФЯЦ-ВНИИЭФ, где проводят конструкторское проектирование и выпускают конструкторскую документацию, нет такого, как в ИЯРФ, постоянного многообразия направлений конструирования. Здесь проектируют электрофизические установки (от передвижных до стационарных комплексов); ядерно-физические установки, в том числе стенды критических сборок и исследовательские ядерные реакторы; мощные источники и различные детекторы ионизирующих излучений; оснастку, предусмотренную методиками физизмерений для полигонных испытаний; оборудование и узлы высоковольтной и вакуумной техники; приборы и системы, регистрирующие ионизирующие излучения; электронные приборы и аппаратуру цифровой регистрации; оптоволоконные датчики и датчики на основе видеокамер; средства и системы автоматизации и многое другое.

Каждое из направлений, исходя из функционального назначения проектируемых узлов, имеет свою специфику конструкторских решений и сопровождающих их расчетов, ориентировано на соответствующее производство, технологические особенности которого должен знать конструктор. Вот и получается, что все конструкторы ИЯРФ – «многостаночники», если и имеющие специализацию, то в очень и очень широком направлении.

Конструкторы реализуют или материализуют в металле те идеи, которые зарождаются в головах ученых. Экспериментальная физика, ядерно-физические исследования – это та «печка», от которой «танцевали» все направления конструкторских (и не только!) работ в ИЯРФ. Огромная номенклатура разработок – это только одна, и не единственная, особенность конструкторских работ в ИЯРФ. Все конструкторы сначала «немножко электрофизики», постигающие особенности проектирования (и сопровождающих его расчетов) сильноточного, высоковольтного и вакуумного оборудования, и уже потом специалисты иной области конструирования.

Практически с момента образования физического сектора наметилось два основных направления исследований – ядерно-физические, за которыми стояли А. А. Малинкин, А. М. Воинов, и электрофизические, которые возглав-

ляли В. А. Цукерман, А. И. Павловский. За каждым из этих направлений в итоге оказалась закреплена своя структурная единица сектора – конструкторский отдел под началом В. М. Феррапонтова и, чуть позже, конструкторская группа Д. И. Зенкова в отделе А. И. Павловского, которые со временем сформировались в два полноценных конструкторских отдела.



В. М. Феррапонтов

Для конструкторского сопровождения ядерно-физических исследований и полигонных испытаний в 1953 г. создан конструкторский отдел, начальником которого назначен В. М. Феррапонтов. В активе Валентина Михайловича, который к моменту создания отдела уже имел опыт конструкторских работ, были успешный подбор и воспитание кадров, а также огромный объем конструкторских разработок оснастки для полигонных экспериментов, ядерных и электрофизических установок. В. М. Феррапонтов руководил отделом до 1970 г.



И. Л. Сумкин

В начале 1970-х гг., когда конструкторский отдел возглавлял уже И. Л. Сумкин, были организованы три группы, ведущие работы по полигонному, реакторному и электрофизическому направлениям. Под руководством Игоря Леонидовича созданы наиболее значимые в ИЯРФ установки: ТИБР, ФКВН, БИГР, ВИР-2, ГИР2-КР, БР-1М, ИКАР. Соработниками И. Л. Сумкина в это время были Н. К. Плехов, В. С. Гладков, Б. А. Лемешко, Н. И. Москвин, В. Ф. Гуцин, Е. А. Козлов, В. Н. Яновский, И. А. Никитин. Особое внимание И. Л. Сумкин уделял связям конструкторов с опытным производством. В это время конструкторы часто выезжали в экспедиции на ЦП РФ. Игорь Леонидович руководил отделом до 2003 г.

Электрофизическое направление конструкторских работ в отделе И. Л. Сумкина вел В. Ф. Басманов (с 1982 г. – заместитель на-

чальника отдела). Своей «специализацией» В. Ф. Басманов обязан тому, что начинал трудовую деятельность в 1972 г. в отделе А. И. Павловского в группе Д. И. Зенкова, которая была создана для конструкторского сопровождения и отработки новых идей ученых-физиков. Развитие этих направлений требовало организации практически промышленного (не лабораторного) производства элементов лазерной и ускорительной техники, мощных взрывомагнитных генераторов. Именно в эту группу, кроме В. Ф. Басманова, пришли молодыми специалистами С. Т. Назаренко, Р. М. Гарипов, которые выросли «под крылом» Д. И. Зенкова, стали конструкторами высочайшей квалификации.



Д. И. Зенков

Дмитрий Иванович Зенков – человек творческого склада, с необычным конструкторским зрением. До 1966 г. работал в технологическом отделении, и в физический сектор пришел с огромным опытом. Именно с него началось творческое конструкторское проектирование. Многие конструкторы ИЯРФ считают Д. И. Зенкова основоположником кон-

структорской школы ИЯРФ. Довольно поздно, уже только в 2009 г., Дмитрий Иванович получил давно заслуженное им почетное звание «Заслуженный конструктор РФ».

Совместно с электрофизиками конструкторы разработали самый мощный в СССР и Европе линейный ускоритель – ЛИУ-30 (1980–1988 гг.), в работе над которым приняли участие уже состо-

явшиеся конструкторы отдела: С. Т. Назаренко, Р. М. Гарипов, А. П. Гридасов.

Это было время, когда специалист, уже обозначенный как конструктор, был «внутри» физических проблем, а конструкторские решения принимались на основе физических эксперимен-



В. Ф. Басманов

тов. Не случайно по ускорительной тематике конструкторы: В. Ф. Басманов – лауреат премии Ленинского комсомола за 1977 г. и Ленинской премии за 1982 г., а А. П. Гридасов – лауреат премии Правительства РФ за 2015 г. Валерий Федорович Басманов – к.т.н., конструктор с огромным опытом практических работ в области мощных электроразрядных квантовых генераторов, спиральных и дисковых магнитокумулятивных генераторов, сильноточных линейных ускорителей, создания стендов для отработки систем автоматического управления. В 1985 г. под началом В. Ф. Басманова для проектирования электрофизических установок и облучательных комплексов создан еще один конструкторский отдел. Именно Валерий Федорович стоял в самом начале конструкторских работ в ЦЕРН.

Разнообразие конструкторских проектов, анализ многих вариантов на основе модели и испытаний вариантов конструкции, необходимость высокой оперативности действий конструктора еще в конце 1970-х гг. объективно требовали освоения систем автоматизации проектирования (САПР) и представления конструкторской документации в электронной форме. Именно в отделе В. Ф. Басманова удалось собрать группу специалистов, увлеченных идеей автоматизации проектно-конструкторских работ (С. А. Путевской, С. А. Железов, Е. Г. Колокольников). Очень важно, что такая увлеченность поощрялась и поддерживалась в секторе экспериментальной физики не только руководителями конструкторских отделов, но и руководством сектора. Востребованность САПР была значимо усилена сотрудничеством с ЦЕРН, так как меж-



Конструкторский отдел, 1988 г. Начальник отдела – И. Л. Сумкин (сидит в центре)

дународное научное сообщество как результат конструкторского проектирования признавало только электронную форму КД.

С прекращением полномасштабных испытаний существенно уменьшился объем работ по конструированию оснастки и детекторов для полигонных методик физизмерений, и в 2013 г. оба конструкторских отдела объединили в один под руководством С. Т. Назаренко.

В настоящее время Сергей Тихонович Назаренко – главный специалист ИЯРФ, заслуженный конструктор РФ, кавалер ордена Дружбы народов, ведущий специалист по разработке электрофизических установок. В 1970–1980-е гг. при непосредственном участии С. Т. Назаренко и его



С. Т. Назаренко

значительном личном вкладе в ИЯРФ разработаны и развиты уникальные технологии в области импульсных линейных ускорителей. При поддержке С. Т. Назаренко как специалиста и руководителя конструкторского отдела разработана элементная база как основа конструкции многих электрофизических установок, успешно работающих в настоящее время в ИЯРФ (и не только).

Эти установки предназначены для моделирования воздействия проникающих излучений при ядерных взрывах и являются базовыми при проведении испытаний на радиационную стойкость изделий в лабораторных условиях. Под руководством С. Т. Назаренко и при его непосредственном участии созданы генераторы им-



*Конструкторский отдел, 1996 г.
Начальник – С. Т. Назаренко (стоит, крайний слева)*

пульсов напряжения для ускорителя ЛИУ-10, мультитераваттная установка ГАММА, разработаны конструкции ускорителей СТРАУС-Р, ЛИУ-Р-Т.

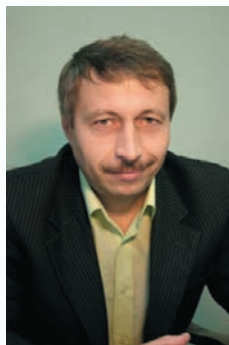
Конструкторы ИЯРФ зарекомендовали себя как высококвалифицированные специалисты и в международных проектах. Одной из ярких страниц такого сотрудничества являются работы с ЦЕРН. РФЯЦ-ВНИИЭФ принят в состав международной коллаборации по разработке детектирующей системы ALICE для Большого адронного коллайдера в конце 1996 г., и, начиная с 1997 г., участвовал в создании двух детекторов: мюонного спектрометра и фотонного спектрометра PHOS. Головным подразделением РФЯЦ-ВНИИЭФ по этим работам был и остается ИЯРФ, который в настоящее время в составе коллаборации проводит научные исследования на детекторе тепловых фотонов PHOS. Наши специалисты много раз доказывали свой высокий профессиональный уровень. По результатам



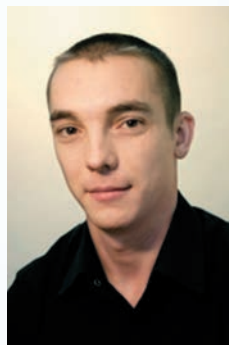
Д. В. Будников



В. А. Юхневич



В. А. Деманов



А. В. Машагин



О. В. Забелин



Отдел стандартизации, 2007 г.

Начальник – В. К. Яновская (сидит, крайняя справа)

работ в ЦЕРН число публикаций в международных изданиях с соавторством специалистов РФЯЦ-ВНИИЭФ, в том числе и ИЯРФ, перевалило за 100.

ИЯРФ – это динамично развивающееся структурное подразделение РФЯЦ-ВНИИЭФ. В современной структуре ИЯРФ три конструкторских отдела (начальники отделов – В. К. Деманов, О. В. Забелин, А. В. Машагин) и один научно-исследовательский (начальник отдела – В. А. Юхневич). Каждый отдел имеет свою специализацию работ. Организационное и научно-техническое руководство конструкторскими работами осуществляет заместитель директора ИЯРФ по НИОКР – начальник отдела стандартизации Д. В. Будников.

Созданная в прошлом веке в ИЯРФ экспериментальная база развивается и активно эксплуатируется. Она состоит из моделирующих установок и облучательных комплексов. Перед подразделением и конструкторами ИЯРФ стоят новые задачи, которые требуют от специалистов хороших базовых знаний, освоения новых технических решений, упорного труда, смекалки, изобретательности.

Много вопросов возникает в части изготовления изделий, обеспечения материальной подготовки производства. Для их решения в 2021 г. в структуру ИЯРФ введена должность заместителя директора ИЯРФ по производству, на которую назначен многоопытный конструктор В. С. Павлов.

Находясь в эксплуатации, экспериментальные установки продолжают совершенствоваться,

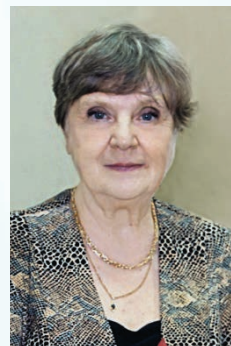
а значит, необходима хорошо отработанная и жестко актуализируемая конструкторская документация. И тут невозможно обойти своим вниманием отдел стандартизации ИЯРФ. Основой создания отдела в конце прошлого века послужила необходимость разработки стандартов для оборудования радиационного контроля ядерных материалов.

«Мотором» и координатором этой работы стала Валентина Константиновна Яновская. Двадцатилетний опыт работы конструктором послужил В. К. Яновской фундаментом. Основу отдела стандартизации составили выходцы из конструкторских отделов. Общее понимание задачи позволило создать коллектив профессионалов-единомышленников. В настоящее время Валентина Константиновна – главный специалист ИЯРФ. Как говорят окружающие

ее люди, она – «круглогодично и круглосуточно действующий консультативный пункт в области нормативного регулирования не только для сотрудников ИЯРФ, но и для других подразделений РФЯЦ-ВНИИЭФ и отрасли».

В цепочке специалистов, выполняющих научные исследования, опытно-конструкторские работы и работы по эксплуатации электрофизических установок, конструкторы присутствуют на всех стадиях жизненного цикла изделия. В определенном смысле конструкторские работы – это та связка, которая цементирует деятельность всех подразделений ИЯРФ. Конструкторов всегда не хватает... Конечно, в конструкторские отделы приходит много молодежи. Им есть чему учиться, есть у кого учиться. Перед ними открываются новые горизонты, стоят новые интересные задачи!

В год 70-летия ИЯРФ пожелаем удачи и реализации самых амбициозных проектов нашим замечательным конструкторам!



В. К. Яновская

БУДНИКОВ Дмитрий Владимирович –
заместитель директора ИЯРФ по НИОКР,
начальник отдела стандартизации

А. В. КОЗАЧЕК, В. С. ПАВЛОВ

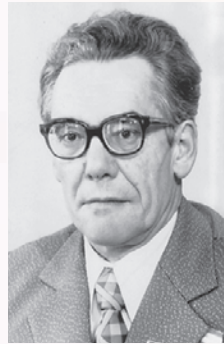
Инженерно-техническая инфраструктура подразделения экспериментальной физики от момента создания сектора и до современного состояния ИЯРФ – это огромное поле деятельности, на котором всегда было множество направлений приложения усилий.

В начальный период одним из основных направлений было создание экспериментального производства для изготовления измерительной оснастки при участии сектора в полигонных испытаниях. Это дополнялось разработкой установок и их составных частей, модернизацией и эксплуатацией установок. Новизна разработок требует неординарного подхода к технологии изготовления изделий, оперативного изготовления деталей для экспериментальной отработки конструкций.

Уже на момент создания подразделения экспериментальной физики предполагалось, что сектор должен и сможет собственными силами изготавливать уникальную оснастку для проводимых экспериментальных исследований, а также изготавливать единичные экземпляры измерительных средств для полигонных испытаний. Основная задача инженерно-технической инфраструктуры в начальный период была связана с проведением полигонных исследований. Затем следовал период, когда основной задачей службы главного инженера стало развитие опытного производства сначала для обеспечения возросшего объема полигонных исследований, а затем по изготовлению установок экспериментальной базы.

Установки, в большинстве своем, основаны на нестандартных решениях и собственных конструкциях составляющих их узлов и блоков. Необходимо было изготавливать быстро, потому что велика доля эмпирической проверки решений; изготавливать по «сырой», практически эскизной документации. Также при создании установок понадобилось еще и массовое изготовление повторяющихся узлов, а не их единичные экземпляры. Таким образом, наличие оперативного опытного производства с изготовлением конструкций по упрощенной (эскизной) документации следует считать одной из особенностей инженерно-технической службы физического сектора.

Большая роль в организации опытного производства принадлежала главному инженеру С. М. Воинову.



С. М. Воинов

Сергей Михайлович Воинов работал заместителем начальника сектора по инженерно-техническим вопросам с 1958 по 1986 г. Это был энергичный и умелый организатор, решительный и уверенный в своих действиях человек, ему были чужды сомнения, он был немножко «буденновец», быстро выхватывавший шашку. На 60-летие сослуживцы подарили ему саблю с надписью: «Вы шли к Победе, врагов круша, и сделали, что сделать невозможно. Так пусть клинок не заржавеет в ножнах и не состарится вовек душа!». Годы работы С. М. Воинова на посту главного инженера отмечены многочисленными поощрениями и награждениями.

Под руководством С. М. Воинова в 1958 г. в секторе возникло, организационно оформилось и потом постоянно развивалось опытное производство: был создан и начал активно развиваться механический цех, появились радиомонтажная и стеклодувная мастерские, участок изготовления сцинтилляционных пластмасс. Сначала, в 1958 г., участок механической обработки и слесарно-сборочных работ размещался в «хвостовом» оперении основного корпуса сектора, но уже в 1964 г. механический цех разместили в специально построенном здании.

«Правой рукой» главного инженера был его заместитель – начальник экспериментального производства сектора (с 1969 г.) Борис Андреевич Ермаков. Он начал трудовую жизнь в 1957 г., демобилизовавшись из рядов Советской армии. Сначала работал электрорадиомонтажником, в 1960 г. становится первым начальником радиомонтажной мастерской в отделе электроники, и в 1969 г. – начальником экспериментального производства сектора и заместителем главного инженера.



Б. А. Ермаков

При создании крупных уникальных физических установок Б. А. Ермаков ру-

ководил всем комплексом работ – от строительства зданий до производства, монтажа и отладки узлов и блоков, занимался расширением технологических возможностей цеха, увязкой планов инженерно-технического обеспечения с планами НИР и ОКР, организацией производства товаров народного потребления, обеспечением роста профессионального мастерства и организацией эффективной работы совета мастеров.

Созданное опытное производство сектора экспериментальной физики обеспечило создание уникальных конструкций оснастки для физических исследований. А высокая оперативность доработок «конструкторских идей», буквально в ходе экспериментов, была объективным требованием времени. Работать производственникам надо было с большой скоростью. А иначе никак. Механический цех позволил разгрузить опытный завод ВНИИЭФ от заказов сектора экспериментальной физики и ускорить изготовление необходимых физикам узлов и деталей.

Начиналось опытное производство с мастерских в научно-исследовательских отделах, а точнее, с умельцев – мастеровых людей, специалистов «на все руки», которые в результате «естественного отбора» появлялись в коллективах и были в большом почете. М. А. Канунов (рабочий, ставший лауреатом Государственной премии в составе команды ученых), П. В. Торопов, А. Туркин, Н. В. Майданов, С. И. Гирич – это замечательные мастера. Наличие в секторе экспериментальной физики «уникального стеклодува», мастерового с творческой жилкой художника – Юрия Константиновича Барсукова завидовали многие коллеги.

Вместе с централизованным секторским опытным производством умельцы в отделах были надежным материальным фундаментом для успешных физических исследований и возможностей экспериментальной проверки новых идей.

В последующие годы должность главного инженера занимали: Е. Ф. Жолобов, В. Ф. Басманов, И. З. Мусин, А. В. Козачек.

Евгений Федорович Жолобов 18 лет занимался исследованиями по разработке новых физических установок. С 1980 по 1985 г. он работал на выборной партийной работе. В 1985 г. был назначен главным инженером сектора. Хороший организатор, он быстро приобрел навыки в оперативном решении вопросов инженерно-техни-



Е. Ф. Жолобов



В. Ф. Басманов



И. З. Мусин

ческого, материального и кадрового обеспечения ведущих работ.

В. Ф. Басманов, сменивший Е. Ф. Жолобова в должности главного инженера, сохранил пристрастие к инженерной деятельности по первой специальности. Своей деятельностью он фактически обосновал необходимость введения в структуру ИЯРФ должности заместителя директора по НИОКР. Под руководством В. Ф. Басманова в 2010 г. были реализованы планы по техпервооружению экспериментального цеха ИЯРФ. Еще в должности главного инженера Валерий Федорович начал готовить себе замену, пригласив своим заместителем И. З. Мусина.

Игорь Зейнурович Мусин – спокойный, широко эрудированный, несуетливый, уравновешенный и благоразумный, умело выделяя главные задачи среди множества повседневных обыденных вопросов, казался подготовленным к должности главного инженера на генетическом уровне.

В секторе он сначала работал ведущим инженером по испытаниям, потом начальником лаборатории, заместителем начальника отделения по ИТВ, с 2005 по 2011 г. – заместителем главного инженера по безопасности и охране труда, с 2011 по 2015 г. – главным инженером ИЯРФ. В 2016 г. И. З. Мусина пригласили на должность главного инженера ВНИИЭФ.

И. З. Мусина в должности главного инженера ИЯРФ сменил А. В. Козачек, победив нескольких конкурентов по результатам конкурса. В современной структуре А. В. Козачек одновременно является начальником инженерно-технического отделения.

Более 30 лет начальником опытного механического цеха физического сектора проработал Евгений Алексеевич Сальников. Он не признавал слов: «Опытный цех не может» и был нацелен на освоение новых уникальных технологий, собрал вокруг себя команду «русских умель-



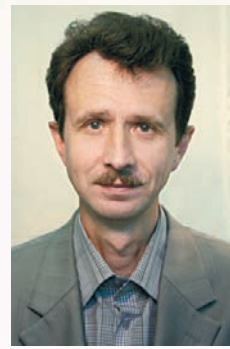
А. В. Козачек



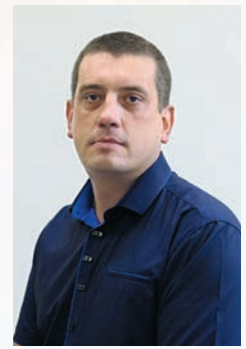
Е. А. Сальников



Ю. И. Никоноров



В. С. Павлов



С. В. Ключков

цев». Он, как никто другой, чувствовал особенности опытного производства.

В должности начальника цеха Е. А. Сальникова сменил много лет проработавший рядом с ним его заместитель Юрий Иванович Никоноров, который прекрасно знал производство, активно занимался внедрением новых технологий. Им разработана программа развития цеха. Продолжая традиции Е. А. Сальникова, опытный цех, возглавляемый Юрием Ивановичем, не один год числился среди лучших опытных производств во ВНИИЭФ.

В настоящее время единый «организм» экспериментального производства ИЯРФ составляют отдел управления производством, технологический отдел и опытный цех. Структура работает под руководством заместителя директора института по производству Владимира Станиславовича Павлова.

Значительно увеличился объем производственных задач по модернизации и эксплуатации существующей экспериментальной базы, созданию новых установок в рамках научной деятельности ИЯРФ.

В настоящий момент опытным цехом руководит Сергей Валерьевич Ключков. Молодой, энергичный руководитель, прекрасно знает производство, душой «болеет» за порученное дело.

Имея опыт работы токаря, мастера, начальника планово-диспетчерского бюро, заместителя начальника цеха, Сергей Валерьевич хорошо знает полный цикл опытного производства – от заготовительных операций до сборки сложных многокомпонентных узлов.

Взросшее количество задач по разработке и внедрению новых технологий, модернизации технологического оборудования, выполняемых в технологическом отделе под руководством Михаила Александровича Сухорукова, сегодня определяет тот высокий уровень экспериментального производства, который необходим для создания современных установок.

Технологическая группа опытного цеха, возглавляемая Сергеем Аркадьевичем Домрачевым, оперативно решает технологические задачи при корректировке конструкторской документации, обеспечивает высокое качество изготовления изделий широкой номенклатуры.

Важнейшую задачу – производственное планирование – выполняет Александр Иванович Аксенов. Ведущий инженер по производству, прекрасно представляя технологические возможности опытного цеха и заводов ВНИИЭФ, умело увязывает планы исследовательских подразделений с производством.

В настоящее время экспериментальное производство ИЯРФ способно решать сложные и актуальные задачи по изготовлению изделий для различных направлений фундаментальных и прикладных исследований.

С каждым годом все острее проблема материально-технического обеспечения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Для создания уникальных комплексов требуется высокотехнологичное оборудование. Умение в сложной политической и экономической обстановке «добыть» необходимое оборудование – это еще одна отличительная



М. А. Сухоруков



С. А. Домрачев



А. И. Аксенов

особенность службы главного инженера ИЯРФ сегодняшнего дня.

При создании уникальных установок и комплексов предметом особой заботы главного инженера непременно становится сопровождение строительства зданий и создание инженерной инфраструктуры. В последние годы курирование проектных и строительно-монтажных работ приобретает главенствующее значение. Естественно, работы по содержанию и эксплуатации

существующей экспериментальной базы всегда остаются в прежних объемах и даже расширяются по мере ввода в эксплуатацию новых зданий и сооружений.

КОЗАЧЕК Алексей Викторович –

главный инженер ИЯРФ

ПАВЛОВ Владимир Станиславович –

заместитель директора ИЯРФ по производству

Воспитание высококлассных профессионалов

С. В. ФРОЛОВА

...На кафедре (в вузе) должно быть только несколько технических работников, а весь цвет, все рабочее тело кафедры – почасовики, т. е. крупные реально действующие ученые в этой области. В результате получается «штучная» подготовка студентов.

Член-корреспондент

РАН М. П. Кирпичников

В 2011 г. на основании решения Ученого совета НИЯУ МИФИ на физико-техническом факультете СарФТИ создана кафедра ядерной и радиационной физики. Ее основная задача – подготовка квалифицированных специалистов в области ядерной и радиационной физики для работы на предприятиях ядерно-оружейного комплекса страны, в частности, в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Базовым подразделением кафедры является Институт ядерной и радиационной физики РФЯЦ-ВНИИЭФ. Руководит кафедрой директор ИЯРФ, доктор физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН Николай Валентинович Завьялов.

Кафедра является выпускающей и проводит реализацию основных программ высшего образования: бакалавриата и магистратуры по направлению «Прикладные математика и физика». Специализация на кафедре соответствует научно-техническим направлениям, по которым работают исследовательские коллективы ИЯРФ: экспериментальная ядерная физика, физика и техника ускорителей заряженных частиц, взаимодействие излучения с веществом, радиационная стойкость электрон-

ных приборов и электронной компонентной базы, исследовательские импульсные ядерные реакторы, измерение параметров высокоинтенсивных импульсных источников ионизирующего излучения, особенности постановки измерений при проведении полигонных испытаний.

За прошедшие годы десятки ученых и ведущих инженеров ИЯРФ читали лекции студентам, проводили лабораторные занятия, вели семинары, руководили разработкой дипломных проектов, принимали участие в работе Государственных комиссий. В настоящее время учебный процесс на кафедре обеспечивают 30 сотрудников ИЯРФ, из которых 15 штатных преподавателей (4 профессора, 8 доцентов и 3 старших преподавателя), 5 человек инженерно-технического персонала, 10 преподавателей на условиях почасовой оплаты.

На кафедре организовано обучение по 29 дисциплинам специализации, среди которых физика атомного ядра и элементарных частиц; физика твердого тела; современные проблемы естествознания и устойчивого развития; прохождение излучения через вещество; дозиметрия и радиационная экология; физика и техника ускорителей; технология полигонных испытаний; физика плазмы; ядерные реакторы; ядерная электроника; разрушение металлов при воздействии импульсов проникающих излучений и др.

Научно-исследовательская работа (НИР) студентов проходит непосредственно на рабочих ме-



Заседание кафедры ядерной и радиационной физики

стах отделов ИЯРФ под руководством конкретного научного руководителя из числа профессорско-преподавательского состава кафедры или ведущих сотрудников ИЯРФ. Ежегодно к руководству НИР студентов привлекаются до 30 сотрудников ИЯРФ, имеющих большой практический и педагогический опыт. В учебной деятельности кафедра широко использует экспериментальную базу ИЯРФ. Для проведения практикумов и научно-исследовательских работ студентов имеются две учебные лаборатории: лаборатория «Физики атомного ядра и ядерная электроника» и лаборатория «Ускорительной техники и радиационных исследований», оснащенные современной вычислительной техникой и измерительными приборами, уникальными установками и комплексами ИЯРФ.

В 2018 г. специалистами ИЯРФ в СарФТИ на кафедре создан информационно-вычислительный комплекс GRID, являющийся учебно-научной лабораторией «Информационно-вычислительный комплекс для удаленного доступа к детекторам и базам данных Большого Адронного Коллайдера ЦЕРН».

В процессах обучения большое внимание уделяется подготовке учебно-методических материалов. Некоторые из этих материалов (публикации в журналах и книгах) ориентированы на обобщение научных данных и передачу опыта молодым сотрудникам, другие просто выпускаются в виде пособий для обучения студентов.

Многие годы профессором кафедры является доктор физ.-мат. наук С. Н. Абрамович, он автор нескольких выпусков пособий для студентов в виде учебно-методических материалов по курсу «Физика атомного ядра».

Лекции студентам читает доктор физ.-мат. наук, г.н.с., профессор кафедры Ю. Я. Нефедов. Под его редакцией выходят сборники трудов семинаров и конференций.

Процесс выращивания специалистов – это многолетний, напряженный и кропотливый труд, но интегральная эффективность действий по воспитанию научных кадров во многом зависит от решения системных вопросов по организации научной деятельности ВНИИЭФ и ЯОК в целом. Отбор лучших научных кадров для работы на кафедре, организация учебного процесса с максимальным использованием уникальной экспериментальной базы, специальная подготовка (выпуск) учебной литературы – такая целенаправленная и хорошо организованная работа обязательно еще даст плоды. Надежда сохраняется, пока существует эффективная организация коллективного труда ученых и преемственность в делах воспитания научных кадров, от наставничества до работы кафедры – это те положительные особенности, которые заимствуются нынешними руководителями науки в ИЯРФ.

Первый выпуск бакалавров состоялся на кафедре в 2015 г., первый выпуск магистров – в 2017 г. За время работы кафедры подготовлено 47 бакалавров и 28 магистров, из них 26 выпускников получили диплом с отличием.

На сегодняшний день из 28 выпускников-магистров 26 человек являются сотрудниками РФЯЦ-ВНИИЭФ (ИЯРФ, КБ-12, ИЛФИ, КБ-2).

ФРОЛОВА Светлана Владимировна –
кандидат физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник

Зинаида Матвеевна Азарх

Ю. А. АСТАЙКИНА



З. М. Азарх

Зинаида Матвеевна Азарх (15.05.1917 – 14.11.2004) была специалистом высокой квалификации в области рентгеноструктурного анализа материалов и ряда специальных разделов физики твердого тела. Более 20 благодарностей, в том числе от Президента РФ (31.08.1999 г.), за большой личный вклад в обеспечение ядерной защи-

ты государства, медали «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» (1946 г.), «За трудовую доблесть» (1955 г.), «30 лет Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» (1975 г.), «Ветеран труда» (1978 г.), «40 лет Победы в Великой Отечественной войне» (1984 г.), «Ветеран предприятия» (1984 г.).

Рассказ об этой женщине невозможен без рассказа о семье и муже, известном талантливом ученом, основоположнике советской импульсной рентгенографии, разработчике и испытателе ядерного оружия Вениамине Ароновиче Цукермане – Герое Социалистического Труда, кавалере трех орденов Ленина, двух орденов Трудового Красного Знамени, лауреате Ленинской и четырех Государственных премий, заслуженном изобретателе РСФСР.

Они познакомились, когда Зинаида оканчивала школу. Она хорошо рисовала и после школы поступила в архитектурный институт. В 1934 г. они поженились. Вскоре у мужа выявили наследственное заболевание глаз, редкое и неизлечимое – медленная потеря зрения до полной слепоты. В. А. Цукерман вспоминал: «В тот же вечер... сказал Зине: "Подумай хорошенько, прежде чем связать свою жизнь с моей. Водить слепого – не такое уж веселое занятие". Она обняла меня: "Что бы с тобой ни случилось, я тебя никогда не брошу...". Этот зарок она свято выполняет всю жизнь, оставаясь верным другом и повседневным помощником...».

Вместо того, чтобы дожидаться полной слепоты и инвалидности, было решено подгото-

вить к потере зрения, приспособиться так, чтобы максимально сохранить работоспособность. «Большую моральную помощь в это трудное время оказал Евгений Федорович Бахметев. Он говорил: "Утрата зрения – большое горе, но мне кажется, Вы сумеете преодолеть его и будете работать. У Вас разовьется пространственное воображение, Вы сможете лучше сосредоточиваться. Гомер был слепой. Эйлер был слепой. Слепота не помешала им стать великими"». Зинаида Матвеевна бросила свою специальность архитектора и перешла в рентгеновскую лабораторию мужа. К 45-ти годам (1958 г.) В. А. Цукерман полностью ослеп.

Хочется привести выдержки из писем Марины Францевны Ковалевой. Вот что она писала, обращаясь к Зинаиде Матвеевне: «О том, что Вениамин Аронович не видит, я узнала лишь на одном из наших вечеров, когда он вышел из зала сказать вступительное слово. А Вы, Зинаида Матвеевна, оставаясь на месте и напряженно следя за ним, тихонько проговорили вслед: "Левее", и он чуть изменил направление. Уже потом мне сказали, что Вениамин Аронович точно знает количество шагов до лесенки на сцену и число ступенек, чтобы все проделать самому. Позже он сам продемонстрировал мне, как узнает время, вынимая карманные часы без стекла и нащупывая пальцами положение стрелок. Скоро меня перестало поражать, как он свободно набирает номер телефона, печатает на машинке, рассказывает, как "смотрел" последний спектакль и что понравилось, а что нет».

«Милая, дорогая Зинаида Матвеевна! Мы давно не виделись, и я хочу, чтобы Вы знали, какой Вы живете в моей душе и памяти.

Самое первое впечатление – энергичная, оживленная, даже веселая женщина, очень простая и приветливая в общении. Казалось, что Вам живется легко, интересно, уверенно. Что у Вас все сбывается. О всех Ваших несчастьях, и о том, что Вениамин Аронович не видит, я узнала позднее. Вы, Зинаида Матвеевна, с каждым днем удивляли меня все больше: Вениамину Ароновичу очень хотелось, очень нужно было ощущать известную самостоятельность, и Вы помогали ему в этом, стараясь всячески затушевать свою "опеку", которая, тем не менее,

была непрерывной. За обедом вы незаметно подкладываете к его руке кусочек хлеба, ложку и вилку он нащупывает сам. Если в тарелке что-то осталось, Вы тихонько, как бы между прочим, скажете: "Веня, на юге..." – и он доест то, что на ближнем к нему крае. За чаем Вы только спросите: "Тебе печенье или сухарики?". И он на тарелочке слева от чашки найдет то, что ему хочется. Потом скажете: "Не забудь лекарство". И он уже знает, что справа возле блюда лежат таблетки. И все это под общий разговор за столом.

Предполагаю еще миллион "сигналов", изобретенных Вами, которые доступны только Вениамину Ароновичу, благодаря необыкновенной чуткости, царящей между вами. Не перечислить всех мелочей, ежеминутных забот, о которых Вам приходится помнить, чтобы все шло ровно и спокойно в жизни Вениамина Ароновича. Чтобы привычные для него вещи лежали и стояли на привычных местах, чтобы все было вовремя – и сон, и еда, и ранний выезд на работу... У Вениамина Ароновича нет проблем с транспортом – Вы прекрасно водите машину.

Обычному человеку едва ли справиться со всем, что обступает Вас, а Вы и Вениамин Аронович столько внимания уделяете еще и другим, всяким добрым, без кавычек, делам для людей, и делаете это увлеченно, изобретательно, истинно творчески.

Я бы охотно назвала Вашу жизнь героической, да Вы ведь не согласитесь с этим».

В 1937 г. у четы Цукерман родилась дочь Ирина. Во время Великой Отечественной войны семья была эвакуирована в Казань. Там они занялись изготовлением рентгеновских установок для казанских госпиталей и больниц; создали рентгенографические приборы, которые помогли наладить массовый контроль клапанов авиадвигателей; с помощью рентгеновских лучей исследовали механизм действия кумулятивных боеприпасов, измеряли с высокой степенью точности толщину стенок стволов снайперских винтовок; изучали структуры металлов с микросекундными экспозициями, вели съемки явлений при выстреле и взрыве...

По воспоминаниям В. А. Цукермана, исследования сопровождалось большим риском: «14 июля 1942 г. ... я стал снаряжать бутылки запалами... внезапно взметнулось яркое пламя. Бутылка мгновенно развалилась у меня в руках, и полкило горящей смеси оказалось на коленях. Языки пламени лизали лицо и руки...

...В медсанчасти полигона врач констатировал ожоги третьей степени на руках и коленях и вто-

рой степени – на лице. ...Врач сообщила: "Чтобы вылечить такие ожоги, нужно, по крайней мере, три месяца". Валяться так долго в больнице никак не входило в мои планы. В 20-х числах августа врач разрешила выписаться досрочно. Возможно, сказался самоотверженный уход Зины. Она появлялась в больнице, как на работе, каждый день в 9 утра. Ухаживала не только за мной, но и за другими ранеными в палате».

В январе 1943 г. по результатам экспериментов Вениамин Аронович защитил кандидатскую диссертацию. Впоследствии он скажет: «И все же, вспоминая это время сквозь призму прожитых десятилетий, надо честно признаться: мы родились в рубашке. Многие опыты по чистой случайности не завершались тяжелыми травмами. Его величество Случай часто спасал экспериментаторов от печального исхода, связанного с неконтролируемыми взрывами.

Первый такой "неуправляемый" взрыв произошел еще в Казани во время войны. 8 марта 1943 г. Я с Зиной устанавливал небольшой заряд массой около 3 граммов в тамбуре. Осталось лишь подсоединить проводники капсюля-детонатора к кабелю подрыва. Зина собиралась произвести эту несложную операцию. "Подожди немного, я еще раз проверю высокое напряжение". Не успел я включить высокое напряжение и довести его до заданной величины, как все устройство с неподключенным капсюлем взорвалось. Зина чудом избежала травмы. На этом начальном этапе работ мы не знали, что электрические наводки могут взорвать и неподключенный капсюль-детонатор». Второй случай, похожий на описанный, произошел в начале 1948 г.

В Казани дочь после перенесенной кори заболела туберкулезным бронхоаденитом, а в 1946 г., уже в Москве, ей поставили страшный диагноз: туберкулезный менингит, «летальный исход через 21 день неминуем». Началась борьба за жизнь дочери. Зинаида Матвеевна 11 месяцев провела в больнице с Ириной. Родственники и бесчисленные друзья семьи оказывали свою помощь по поиску заграничных лекарств, врачей и способов лечения. Одному из друзей, Израилю Соломоновичу (Леониду) Галынкеру, эта помощь обошлась в 7 лет лагерей за «шпионские контакты с США». Ирина была первым ребенком в нашей стране, выжившим от туберкулезного менингита. Цена победы над болезнью – полная глухота. Вся история спасения Ирины, ее дальнейшее вхождение в Мир глухих описаны Зинаидой Азарх и Вениамином Цукерманом в книге «Человек не слышит» под

псевдонимами В. Крайнин и З. Крайнина. Впоследствии Ирина окончила МВТУ им. Э. Н. Баумана, стала кандидатом педагогических наук, почетным членом Всероссийского общества глухих, известным специалистом в области образования глухих детей и взрослых, общения слепоглухих с помощью азбуки Морзе.

С тех пор самой сильной страстью В. А. Цукермана было стремление помогать людям, лишенным слуха. Он стал посвящать огромную часть своего времени и творческих сил помощи глухим. По его инициативе при Институте дефектологии Академии педагогических наук была создана лаборатория сурдотехники – первая в стране. И многие из разработанных там технологий были изобретены самим Вениамином Ароновичем. Он проводил исследования воздействия сходящихся ультразвуковых волн на нейроны мозга для того, чтобы добиться передачи звука непосредственно в соответствующие мозговые анализаторы, минуя поврежденный слуховой аппарат. А одним из наиболее значимых достижений Цукермана стало изобретение «прибора видимой речи» ВИР, преобразующего звуковую речь в световые сигналы, с помощью которого глухие могли исправлять дефекты своего произношения.

В январе 1946 г. В. А. Цукерману было присвоено звание лауреата Государственной премии за изобретение методов импульсной рентгенографии явлений при выстреле и взрыве. А в 1947 г. Ю. Б. Харитон пригласил его поучаствовать в решении атомной проблемы. Вместе с семьей В. А. Цукерман переезжает в Саров.

Чуть позже, тоже в 1947 г., по приглашению В. А. Цукермана в Саров приехал молодой специалист Константин Крупников (впоследствии он стал кандидатом технических наук, лауреатом двух Сталинских и Ленинской премий за выдающиеся научные открытия и технические достижения по использованию атомной энергии). Вот что вспоминает его сын Константин: «Работа в середине 1949 г. была как никогда напряженной, и мой папа, почти никогда не болевший всю свою долгую жизнь чем-то хуже насморка, не заметил, как заразился брюшным тифом; крайнее переутомление способствовало болезни..., слег с огромной температурой в забытии и с довольно сомнительным прогнозом выздоровления...

Врачи делали все возможное, и кто-то из них обмолвился Зинаиде Матвеевне, что, как раз по опыту Первой мировой, помогает теплый куриный бульон. Правда, свежий бульон нужен по-

стоянно, ежедневно, сначала только по одной столовой ложке, медленно и постепенно увеличивая порцию. Сколько будет тянуться болезнь, столько дней и нужен только что сваренный бульон.

Зинаида Матвеевна каждый день покупала одну курицу в Сарове, а когда куры в Сарове кончились – в окрестных деревнях. Варила бульон, приносила в больницу, кормила Костю с ложечки, каждый раз рискуя заразиться сама (учитывая, что в феврале 1949 г. у Цукерманов родился сын Саша – Ю.А.). Папа выжил благодаря беззаветной помощи Зинаиды Матвеевны, о чем, как я теперь узнал, было неизвестно даже ее внучке Анне».

А впереди было самое страшное испытание. Юрий Нагибин в рассказе «Замолчавшая весна» пишет о встрече с семьей Цукерман: «...Вычитал... в раненых глазах... женщины, в странной судороге, порой кривившей ее крепкий добрый рот, в складках, вдруг прорезавших гладкое, прочное, не поддававшееся старению лицо. ...Конечно, не мог знать, что потерял, и совсем недавно, был сын, талантливый юноша, обещавший стать незаурядным ученым, его унесла внезапная, редкая, мучительная и неизлечимая болезнь». Сын Саша умер в возрасте 17-ти лет.

Ю. Б. Харитон вспоминал: «Вениамин Аронович был первым крупным экспериментатором, кого я привлек к работе.

Для научной, изобретательской и общественной деятельности Вениамина Ароновича характерны разнообразие интересов и целеустремленность, смелость и фантастичность идей, острое чувство реальности, а также творческое вдохновение и напряженный непрестанный труд. Около сотни печатных работ, десятков монографий, 60 изобретений, десятки миллионов рублей экономического эффекта, полсотни подготовленных кандидатов – таков итог его работы в науке и технике...

Трудно представить себе, что весь фантастический объем работ выполнен человеком, который не видит. Это звучит неправдоподобно. Вениамин Аронович, несмотря на тяжелейший недуг, сделал так много, что жизнь его хочется назвать подвигом».

В. А. Цукерман – автор и соавтор множества работ: «Разработка портативных импульсных рентгеновских аппаратов для научных исследований и применения их в промышленности и медицине», «Создание приборов для рентгеноструктурного анализа на базе радиоизотопа железо-55 для измерения толщин тонких пленок,

рентгенографических исследований и изучения пород на планете Венера»; «Разработка нового способа нейтронного инициирования ядерных зарядов»; «Разработка, создание и применение вакуумных и гелиевых каналов вывода излучений для подземных ядерных физических опытов» и др. Его коллегами по изобретательству и техническим предложениям были академики, талантливые теоретики, физики-экспериментаторы, инженеры и просто одаренные умельцы без всяких званий. В силу ряда причин некоторые научно-технические предложения, имеющие большое научное и прикладное значение, не были оформлены авторскими свидетельствами.

Закончу свой рассказ словами Вениамина Ароновича: «Как оценить ту роль, которую сыграла Зина в моей судьбе? Мои заботы стали ее заботами, успехи – общими... Трудно рассказывать о человеке, который привычно всю жизнь рядом с тобой и является как бы продолжением тебя самого. Но твердо знаю: без Зины я бы не сделал и половины того, что удалось свершить».

P.S. Когда статья уже была готова, я получила письмо от внучки Зинаиды Матвеевны Анны: «Я понимаю, что Вы пользовались, в основном, материалами книги «Люди и взрывы» и сборником воспоминаний под редакцией моей бабушки. К сожалению, я не увидела многих совершенно уникальных черт, присущих ей – например, артистизм, то, что она постоянно читала вслух дедушке, что часто вечерами они выбирали какие стихи читать и обязательное чтение прозы перед сном... Ю.Б. восхищался ее чтением, и не он один, вместе они хором читали Гейне на немецком... Несмотря на свою непубличность, бабушка с актерами обсуждала чтение стихов для вечеров в КИВ и Доме ученых. О ее роли как члена художественного совета ДУ тоже я ничего не нашла. А то, что она всегда модно одевалась, шила платья на заказ у знакомых, любила украшения, но все – бижутерия, у нее не было ни одного золотого кольца, даже обручального. Гостеприимство безграничное, дом был открыт для всех, двери не запирались и здесь постоянно кого-то кормили, все репетиции, читки сценариев проходили в доме на Набережной. Удивительная энергия и стойкость – лыжи зимой и азартные поиски грибов и ягод летом, она это безумно любила и до полночи могла возиться с разными заготовками. Обожала землю и цветы – сажала, холила и лелеяла свой цветник. Она прекрасно чувствовала живопись и скульптуру, сама отлично рисовала, у

нее были хорошие акварели, но на это у нее уже не было времени. Ходила на все художественные выставки и взахлеб рассказывала о том, что видела, дедушке, так же как и комментировала при совместном просмотре все спектакли и кинофильмы. Наверное, поэтому все поражались, когда дедушка пересказывал знаменитый спектакль «Мастер и Маргарита» на Таганке – как будто своими глазами видел голую спину Нины Шацкой на сцене! В науке, которая сейчас называется тифлокомментирование, и чему обучают сейчас в университетах, ей не было равных. Она была в чем-то авантюристкой – первой опробовала кинокамеру, бесстрашно ездила на «Победе», а потом на «Волге» (1961 г.) – от Грузии до Урала, исколесила всю Прибалтику. У нее были чудесные фото – они соперничали с Ю.Б. у кого лучше, а для меня сидение с бабушкой в ванне с красным фонарем и распечатка фотографий – одно из лучших воспоминаний детства и молодости. Главное – договориться или «замкнуть» дедушку на какого-нибудь докторанта или просто на общение с Бахрахом, а сами мы вдвоем выбираем бумагу, вытягиваем снимки под бабушкин счет: "Раз-два-три – не хватит, наверное, четыре. Анюта, все!"

Она 11 лет прожила без дедушки, очень и очень достойно, отлично держалась до последнего. Когда приехала ко мне на несколько недель в Англию, она была естественна и активна, могла общаться без проблем самостоятельно на своем отнюдь не разговорном английском (занималась техническими переводами с английского и немецкого). Ей уже было трудновато долго ходить, но она не могла пропустить ни одну художественную галерею, с удовольствием и легко общалась с новыми людьми... В ней не было никакой спеси, она искренне дружила с женой лесника Мордовского заповедника, была близка с нашей помощницей тетей Шурой, да много еще можно было бы написать».

Да, много еще можно было бы написать...

АСТАЙКИНА Юлия Анатольевна –
старший научный сотрудник КБ-3 РФЯЦ-ВНИИЭФ

Роль аналитической химии в разработках РФЯЦ-ВНИИЭФ

А. А. КАЛИНИНА, К. Б. ЖОГОВА

Создание ядерного оружия в СССР потребовало организации целой индустрии производства специальных материалов – конструкционных, функциональных, специальных: делящихся, взрывчатых, композиционных и др. На всех этапах жизненного цикла изделий химико-аналитические методы исследований применялись для контроля качества используемых материалов и при разработке новых технологий изготовления материалов с определенными заданными свойствами. К чистоте материалов предъявлялись жесткие требования, что повлекло за собой необходимость



В. Р. Негина – первый начальник химико-аналитического отдела

разработки и освоения уникальных методов химического анализа.

В ноябре 1957 г. в физическом секторе был создан специализированный отдел прикладной и аналитической химии под руководством Валентины Романовны Негинной. В то время отдел состоял из двух лабораторий. Одной руководила В. Р. Негина, вторую, которая состояла из двух групп: спектрального и газохроматографического анализа, возглавляла Ольга Федоровна Дегтярева.



О. Ф. Дегтярева – начальник лаборатории

Основные задачи отдела: химико-аналитическое сопровождение технологий изготовления материалов, используемых при разработке и изготовлении изделий; синтез материалов, применяемых в конструкциях отдельных узлов и при проведении физических исследований; разработка, совершенствование и внедрение на опытном и серийном производствах методик количественного химического анализа материалов.

Основы школы химиков-аналитиков заложили известные ученые сектора: В. Р. Негина, О. Ф. Дегтярева, В. Н. Замятнина, Э. А. Козырева, Е. П. Крашенинникова и др.

За первые десять лет работы отделом были освоены методы: потенциометрия, кондуктометрия, колориметрия и объемный анализ, ионообменная хроматография, спектральный эмиссионный анализ, спектрофотометрический анализ, электронная микроскопия, газохроматографический анализ, пламенно-фотометрический анализ, ИК-спектрометрия.

В 1970-х гг. для прогнозирования состояния микроклимата в изделиях был проведен большой объем работ по изучению газыделения из конструкционных материалов. В результате разработаны несколько типов устройств, регулирующих состояние микроклимата. Основные исследования по этому направлению проведены Т. М. Львовой, Л. Е. Цебуховской, О. Ф. Дегтяревой, В. В. Назаровым, М. П. Созником, Е. Г. Орликовой, Г. П. Кустовой, Т. М. Макаровой, Е. И. Малышевой, М. И. Кочемасовой под руководством нач. отдела С. И. Владимировой.

Конец 1980-х гг. связан с новым этапом в деятельности института – развитием конверсионных направлений и международной деятельности. Под руководством нач. отдела В. И. Сухаренко выполнены работы по созданию передвижных лабораторий и разработаны для них методики химико-аналитического анализа объектов окружающей среды (воздуха, почвы, воды), выполнен комплекс работ по выделению и очистке технических алмазов из шихты, полученной в результате взрывных экспериментов.

В середине 1990-х гг. под руководством нач. отдела М. П. Созника коллектив взялся за решение очередной важной задачи – обеспечение производства электролита для химических источников тока. Были разработаны технологии синтеза и методики анализа новых материалов. У истоков работ стояли Н. А. Лисовенко, Н. Л. Золотухина, Т. В. Карельская и др. Зна-

чимым направлением в работах отдела являлось и является сейчас химико-аналитическое сопровождение серийного производства специальных составов. Разработаны и внедрены в серийное производство более 20 методик химического анализа. В работах активное участие принимали Н. М. Крекнина, М. М. Пророк, Т. А. Пермякова, Г. А. Зотикова, Л. Н. Садчикова, А. Е. Николаева, Л. Г. Сеницына.

За время существования отдела химиками-аналитиками выполнен огромный объем работ. В области исследования конструкционных материалов проведен анализ большого количества металлов, сплавов, гидридов металлов как на содержание основных компонентов, так и на примесный состав. В области анализа специальных полимерных и композиционных материалов разработаны методики определения элементного состава матрицы, наполнителя и микропримесей. Кроме того, на всех стадиях технологического цикла изготовления материалов осуществлялось химико-аналитическое сопровождение работ. Жесткие требования к надежной работе узлов на основе специальных составов обусловили комплексный подход к исследованию исходных материалов, определению в них основного вещества и примесного состава, однородности и целевых продуктов горения.

Разработаны методы получения жидких и газовых сред для оптических квантовых генераторов, что позволило обеспечить материалами физические стенды и установки. Работы отдела востребованы и в настоящее время.

На всех стадиях разработки изделий контроль качества материалов представлял и представляет одно из важнейших направлений.

Достаточно широкий перечень задач, с самого начала требовавший химико-аналитического сопровождения, в настоящее время непрерывно расширяется как в связи с совершенствованием конструкторских и технологических решений и

созданием новых типов изделий, так и со сменой поставщиков и изменением технологий производства материалов. Сейчас эти задачи решаются в отделе на базе химико-аналитического комплекса, насчитывающего более 30 единиц современного химико-аналитического оборудования. Сотрудниками отдела разработано более 400 методик измерений состава конструкционных материалов. Методики измерений объединены в электронную базу данных. Кроме того, на базе химического отдела организованы и успешно функционируют производственные участки для выпуска серийной продукции: компонентов перспективных химических источников тока, материалов для устройств, регулирующих состояние микроклимата.

За 65 лет отдел аналитической и прикладной химии стал уникальным научно-техническим комплексом с современной измерительной и производственной базой для решения сложных и актуальных задач. Сейчас в отделе успешно и плодотворно работает много талантливых молодых специалистов, что дает основание надеяться на успехи этого направления в будущем.

ЖОГОВА Кира Борисовна –

кандидат хим. наук, начальник отдела

КАЛИНИНА Анна Алексеевна –

кандидат хим. наук, старший научный сотрудник



Научно-популярный журнал для всех, кто интересуется историей создания ядерного оружия, новыми направлениями развития современной физики, наукоемкими технологиями

Учредитель –
ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), г. Саров. Зарегистрирован Госкомитетом РФ по печати за № 12751 от 20.07.94 г.

С содержанием журналов можно ознакомиться на сайте РФЯЦ-ВНИИЭФ www.vniief.ru

Адрес редакции:
607188, г. Саров Нижегородской обл., пр. Мира, 37, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Тел.: (831-30) 775-85,
факс: (831-30) 776-68,
e-mail: volkova@vniief.ru

Индекс подписки
в Объединенном каталоге
«Пресса России» 72249

Фотографии из альбома семьи Цукерман



Зинаида Азарх, Москва, 1933 г.



Супруги Цукерман, 1940 г.



Супруги Цукерман с дочерью Ириной, 1945 г.



Зинаида Азарх с дочерью Ириной, 1947 г.



С дочерью Ириной и сыном Сашей, 1966 г.



Зинаида Азарх



С внучкой Анной и таксой Фомой, фото Ю. Б. Харитона, 1976 г.

ИЯРФ – ЭТО МЫ!

Все, что сделано и чего достиг ИЯРФ – результат труда большого коллектива единомышленников, людей различных профессий, статуса и возраста – ветеранов и нынешних сотрудников института

26 лауреатов Ленинской премии

лауреата Государственной премии 62

22 лауреата премии Правительства РФ

доктора наук 24

77 кандидатов наук

заслуженных деятелей науки и техники 6

2 стенда с размножающими системами

физических установок свыше 50

5 импульсных исследовательских реакторов